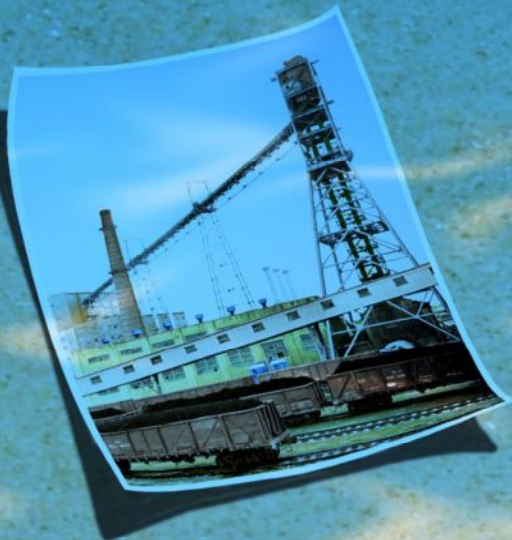
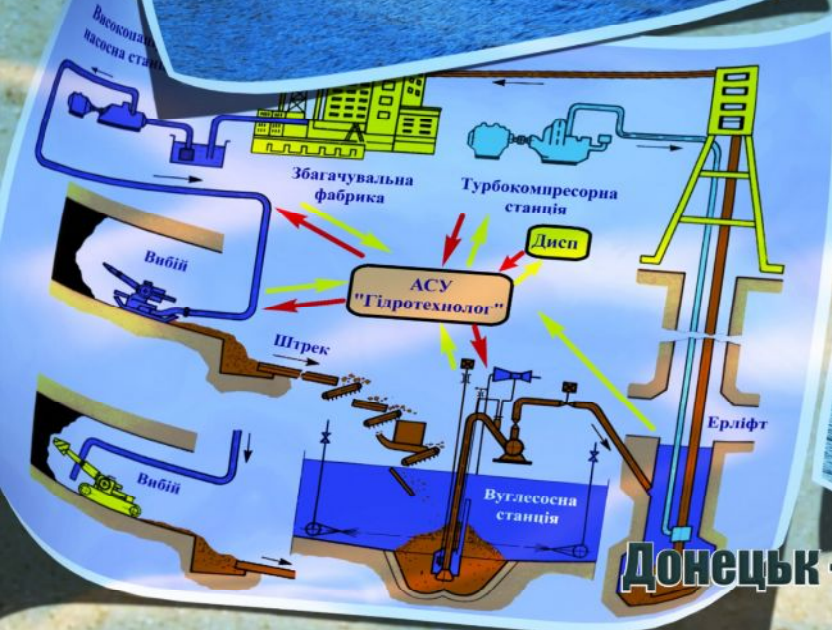




М. Г. Бойко
В. М. Моргунов
Л. М. Кози́ряцький
О. В. Федоров

Гідромеханізація

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Донецьк - 2011



БОЙКО Микола Григорович

завідувач кафедри енергомеханічних систем ДонНТУ, академік УТА, доктор технічних наук, професор, Лауреат Державної премії України, Заслужений діяч науки й техніки України.

Автор понад 350 наукових робіт, у т.ч. 9 монографій та навчальних посібників та 85 авторських свідоцтв та патентів.

Наукові інтереси: теорія роботи комбайнів для видобування вугілля, механічне та гідролічне руйнування вугілля та порід, гідромашини



КОЗИРЯЦЬКИЙ Леонід Микитович

кандидат технічних наук, професор, заступник завідувача кафедри енергомеханічних систем ДонНТУ.

Автор понад 100 наукових публікацій, у т.ч. 5 монографій та навчальних посібників, близько 20 авторських свідоцтв на винаходи.

Наукові інтереси: гідроліка, гідромашини, гідромеханізація, гідротранспорт, ерліфтний гідропідйом твердої фракції, шахтний водовідлив



МОРГУНОВ Віктор Михайлович

кандидат технічних наук, доцент кафедри енергомеханічних систем ДонНТУ.

Автор понад 60 наукових публікацій, у т.ч. 1 навчального посібника та 13 авторських свідоцтв на винаходи.

Наукові інтереси: гідромеханізація та автоматизація гідромеханізованих процесів, гідромашини, гідропневмотранспорт



ФЕДОРОВ Олег Васильович

кандидат технічних наук, доцент кафедри енергомеханічних систем ДонНТУ.

Автор понад 30 наукових публікацій, у т.ч. 1 патенту України.

Наукові інтереси: механічне та гідролічне руйнування вугілля та порід гірничими машинами, гідролічний транспорт гірської маси

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»

*90-річчю ДонНТУ
присвячується*

**М. Г. Бойко
В. М. Моргунов
Л. М. Козиряцький
О. В. Федоров**

ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЯ

*Рекомендовано Міністерством освіти
і науки України як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів*

Донецьк
ДВНЗ «ДонНТУ»
2011

УДК 622.232.5 + 621.879.45
Г46

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Інженерна механіка», лист № 1/11-1723 від 02.03.11 р.

Рецензенти:

З. Л. Фінкельштейн, завідувач кафедри прикладної гідромеханіки Донбаського державного технічного університету, доктор технічних наук, професор;

В. І. Самуся, завідувач кафедри гірничої механіки Національного гірничого університету, доктор технічних наук, професор;

А. К. Семенченко, завідувач кафедри гірничих машин Донецького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор.

Гідромеханізація: навчальний посібник / Бойко М. Г.,
Г46 Моргунов В. М., Козиряцький Л. М., Федоров О. В. – Донецьк:
ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. — 554 с.

ISBN 978-966-377-114-4

Наведені загальні відомості та термінологія з гідромеханізації гірничих робіт. Викладені технологічні основи гідромеханізованої розробки корисних копалин, технологічні схеми та системи відкритої, підземної та підводної розробки, описані перспективні напрямки застосування гідромеханізації.

Розглянуті теоретичні та практичні аспекти технологічних процесів комплексної гідромеханізації гірничих робіт: гідромоніторингового та підводного розмиву, видобування землесосними снарядами, водопостачання гідромеханізованих гірничих підприємств, гідравлічного транспорту гірської маси, зневоднювання гірської маси та прояснення технологічної води в умовах відкритої та підземної розробки родовищ корисних копалин. Наведені розрахункові методики та описані конструктивні рішення обладнання для виконання вказаних процесів.

УДК 622.232.5 + 621.879.45

ISBN 978-966-377-114-4

© Бойко М. Г., Моргунов В. М.,
Козиряцький Л. М., Федоров О. В., 2011

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ.....	9
1.1 Загальні відомості. Основні терміни і поняття.....	9
1.1.1 Загальні відомості.....	9
1.1.2 Основні терміни і поняття при відкритому і підводному способах розробки	12
1.1.3 Основні терміни і поняття при підземному способі розробки.	14
1.2 Область і умови застосування гідромеханізації.....	15
1.2.1 Характеристика області застосування гідромеханізації	15
1.2.2 Вплив властивостей породи на ефективність процесів гідромеханізації	20
1.3 Розкриття і системи гідромеханізації при відкритому способі розробки родовищ	24
1.3.1 Способи розкриття родовищ	24
1.3.2 Системи відкритої гідравлічної розробки.....	32
1.4 Технологічні схеми та системи розробки при гідромеханізації підземних гірничих робіт	40
1.4.1 Технологічні схеми гідромеханізації підземних робіт	40
1.4.2 Системи підземної гідравлічної розробки	45
1.4.3 Сучасні технологічні схеми підземної розробки.....	57
1.5 Перспективні напрямки застосування гідромеханізації.....	63
1.5.1 Видобування корисних копалин зі дна морів та океанів	63
1.5.2 Транспорт водовугільного палива на далекі відстані	76
1.5.3 Видобування твердого палива зі шламонакопичувачів	80
1.5.4 Видобування сапропелів та пелоїдів	83
2 ГІДРОМЕХАНІЗОВАНА РОЗРОБКА ПОРІД	89
2.1 Гідромоніторний струмінь і розрахунок його параметрів	89
2.1.1 Поняття про струмінь, його формування	89
2.1.2 Використання струменів води при гідромеханізації гірничих робіт	89
2.1.3 Класифікація водяних струменів	91
2.1.4 Структура струменя.	94
2.1.5 Формування струменя у проточному каналі гідромонітора та у насадці.....	96

2.1.6	Динамічні й структурні характеристики струменя	99
2.1.7	Параметри затопленого струменя.....	104
2.1.8	Воронка граничного розмиву.....	105
2.2	Розробка вугілля і порід гідромоніторами.....	107
2.2.1	Загальні відомості.....	107
2.2.2	Організація гідромоніторного розмиву порід.....	108
2.2.3	Витрати води й напори, потрібні для розмиву порід.....	113
2.2.4	Розрахунок гідромонітора	114
2.2.5	Обвалення укосів і глибина врубу	116
2.2.6	Визначення висоти уступу і довжини фронту робіт	120
2.2.7	Визначення параметрів гідромоніторної виїмки вугілля....	122
2.3	Технічні засоби струминного руйнування порід	125
2.3.1	Гідромонітори	125
2.3.2	Гідромоніторні агрегати	139
2.3.3	Механогідравлічні машини.	144
2.3.4	Гідроімпульсні машини	151
2.4	Розробка порід усмоктуванням. Землесосні снаряди	162
2.4.1	Загальні відомості.....	162
2.4.2	Розмив порід у процесі усмоктування.....	162
2.4.3	Землесосні снаряди. Загальні відомості. Класифікація.	166
2.4.4	Конструкція землесосного снаряда	169
2.4.5	Ґрунтозабірні пристрої землесосних снарядів.....	177
2.4.6	Робочі переміщення землесосних снарядів	193
2.4.7	Технологія розробки родовищ землесосними снарядами	203
3	ТЕХНОЛОГІЧНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ	212
3.1	Загальні відомості. Схеми водопостачання.....	212
3.1.1	Водопостачання при гідромеханізації відкритих робіт	213
3.1.2	Водопостачання при гідромеханізації підземних робіт.....	219
3.2	Розрахунок водопроводів і вибір насосів	221
3.2.1	Розрахунок водопостачальної мережі	221
3.2.2	Вибір насоса та визначення його робочого режиму	229
3.2.3	Запобігання гідравлічних ударів при експлуатації гідроустановок.....	240
3.3	Конструктивне виконання систем водопостачання	244
3.3.1	Насосні станції.....	244
3.3.2	Водопроводи і їхнє трасування.....	246
3.3.3	Трубопровідна арматура.....	250

4 ГІДРАВЛІЧНИЙ ТРАНСПОРТ ГІРСЬКОЇ МАСИ.....	255
4.1 Загальні відомості. Фізичні основи гідротранспорту	255
4.1.1 Поняття про гідравлічну крупність часток	255
4.1.2 Рух гідросуміші у вертикальному трубопроводі.....	258
4.1.3 Рух гідросуміші у горизонтальному трубопроводі	262
4.2 Розрахунок гідротранспорту сипких матеріалів	266
4.2.1 Гранулометричний склад сипкого матеріалу	266
4.2.2 Класифікація гідросумішей	269
4.2.3 Порядок розрахунку гідротранспортної установки	272
4.2.4 Інженерні методи розрахунку гідротранспорту	278
4.2.5 Розрахунок параметрів гідротранспортування у вертикальних і похилих трубопроводах.....	284
4.2.6 Розрахунок параметрів безнапірного гідротранспорту	286
4.3 Відцентрові насоси для гідросумішей.....	296
4.3.1 Основні положення теорії лопатевих машин.....	296
4.3.2 Особливості конструкції відцентрових насосів для гідросумішей.....	307
4.3.3 Типи відцентрових насосів для гідросумішей	326
4.3.4 Експлуатація насосів для гідросумішей	358
4.4 Спеціальні засоби напірного гідротранспорту.....	363
4.4.1 Об'ємні насоси.....	363
4.4.2 Струминні насоси (гідроелеватори)	380
4.4.3 Ерліфти.....	384
4.4.4 Високонапірні гідротранспортні установки	411
4.5 Землесосні установки і завантажувальні апарати	413
4.5.1 Землесосні установки.....	413
4.5.2 Усмоктувальні пристрої.....	416
4.5.3 Завантажувальні апарати	419
4.6 Контрольно-вимірювальні прилади та автоматизація	424
4.6.1 Контроль основних параметрів технологічних процесів....	424
4.6.2 Автоматизація процесів гідромеханізації	438
5 ЗНЕВОДНЮВАННЯ ГІРСЬКОЇ МАСИ ТА ПРОЯСНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВОДИ	450
5.1 Засоби згущення та зневоднювання гірської маси	450
5.1.1 Загальні відомості.....	450
5.1.2 Гідроциклони та гідрокласифікатори.....	452
5.1.3 Грохоти.....	457
5.1.4 Зневоднювальні транспортери та елеватори.....	460
5.1.5 Центрифуги	465
5.1.6 Згущувачі	468

5.2 Гідровідвали	470
5.2.1 Призначення, розташування і класифікація гідровідвалів	470
5.2.2 Ємність гідровідвалу і початкове обвалування	474
5.2.3 Розрахунок параметрів укладання породи при намиві	481
5.2.4 Технологія гідровідвалоутворення	488
5.2.5 Прояснення та видалення відпрацьованої води.....	497
5.2.6 Особливості намиву шламосховищ	504
5.2.7 Контрольні заходи і запобігання аварій	509
5.3 Зневоднювання гірської маси та прояснення технологічної води у підземних умовах.....	511
5.3.1 Основні вимоги.....	511
5.3.2 Устаткування для зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води.....	511
5.3.3 Технологічні схеми зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води.....	522
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	531
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	536
ДОДАТКИ	540
Додаток А. Класифікація порід за труднощами розробки гідромоніторами і земснарядами.....	540
Додаток Б. Рекомендовані значення еквівалентної шорсткості для труб з різних матеріалів.....	541
Додаток В. Коефіцієнти місцевого опору.....	542
Додаток Г. Сортамент трубопроводів	544
Додаток Д. Технічні характеристики насосів типів К і Д	546
Додаток Е. Характеристики ґрунтових насосів і вуглесосів.....	548
Додаток Ж. Електродвигуни	552
Додаток З. Технічні характеристики компресорів.....	553

ВСТУП

Сучасні економічні умови висувають жорсткі вимоги до ефективності технологічних процесів підприємств, потребують глибокого аналізу та опрацювання перспективи їхнього розвитку. Від правильності рішень, що приймаються, залежить собівартість товарної продукції або робіт, які виконуються підприємством, і, як наслідок, їхня конкурентоспроможність.

Одним з перспективних напрямків розвитку технології гірничих робіт є *комплексна гідромеханізація*, під якою розуміють гідромеханізацію, тобто здійснення за допомогою потоку води, основних технологічних процесів підприємства: руйнування породного масиву або видобування корисної копалини, транспортування та переробки, ведення закладних та замулювальних робіт, видалення та розміщення у відвалах пустих порід та відходів збагачення корисних копалин. Перспективним є застосування гідромеханізації в інших галузях — для доставки будівельних матеріалів, наміву гребель і дамб, прокладання каналів, видалення шлаків від теплоенергетичних установок.

Виробничий досвід експлуатації вітчизняних та зарубіжних гідромеханізованих гірничих підприємств (гідрошахт, кар'єрів) показав їхню більш високу ефективність у порівнянні з “сухими” комплексно-механізованими підприємствами. Продуктивність праці на таких підприємствах вище у 1,5 ... 2 рази, обладнання більш надійне, рідше виходить з ладу. Для гідромеханізованих підприємств (особливо, підземних) характерним є значно менший рівень травматизму працівників. Комплексна гідромеханізація усіх технологічних процесів підприємства створює сприятливі умови для автоматизації, спрощує контроль та керування виробничими процесами, дозволяє побудувати комплексно-автоматизоване підприємство, у якому весь технологічний цикл контролюється та керується з єдиного центра. Такі автоматизовані системи дають змогу досягти найвищих показників ефективності виробництва — продуктивності праці, якості продукції, найменшої її собівартості.

Розвитку комплексної гідромеханізації гірничих та будівельних робіт приділяють значної уваги як в Україні, так і в Росії, країнах ближнього та дальнього зарубіжжя. Особливих успіхів в цьому напрямку досягли вчені та інженери США, Японії, КНР, Німеччини, Фінляндії, Канади, Польщі та інших промислово розвинених країн. Вдосконалення технології та засобів гідромеханізації ведеться у напрямках створення нових технологічних схем виймання, транспорту-

вання та переробки корисної копалини, підвищення продуктивності гідровідбійки, вдосконалення існуючих та створення нових засобів видобування та гідротранспорту, підвищення надійності обладнання для гідротранспорту, автоматизації та програмного керування гідромеханізованими підприємствами.

У навчальному посібнику викладені основи гідромеханізації технологічних процесів при веденні відкритих, підземних та підводних робіт з видобування корисних копалин. Розглянуті технологічні схеми та особливості технології ведення таких робіт. Викладені теоретичні питання та методики розрахунку параметрів окремих технологічних процесів гідромеханізації — руйнування гірських порід напірними струменями, транспортування гірської маси напірними та безнапірними потоками, її згущення, зневоднювання та укладання у відвали, прояснення технологічної води, водопостачання гідромеханізованих підприємств. Наведені конструкції та характеристики основного технологічного устаткування.

При підготовці посібника автори використовували матеріали, опубліковані у відкритій вітчизняній та зарубіжній пресі, результати досліджень, виконаних під керівництвом професорів Гейера В. Г., Груби В. І., та Тимошенко Г. М. у галузевих науково-дослідних лабораторіях Донецького національного технічного університету: лабораторії гідропідйому вугілля і породи та комплексної автоматизації гідрошахт, та лабораторії підйому корисних копалин зі дна Світового океану, а також матеріали провідних галузевих науково-дослідних інститутів та досвід промислової експлуатації гідрошахт Донбасу та Кузбасу. Автори висловлюють подяку професорам Малєєву В. Б. та Кононенко А. П., доцентам Коломійцю В. С., Малигіну С. С., Оверко В. М., Селіврі С. О., Яковлеву В. М., Яценко А. Ф., Геммерлінгу О. А., інж. Березинському Г. М., Зуйкову А. Л. та всьому колективу кафедри енергомеханічних систем ДонНТУ за допомогу в створенні посібника.

Посібник призначений для підготовки інженерів з галузей знань “Розробка корисних копалин”, “Машинобудування та матеріалообробка” та інших галузей, де можливе застосування гідромеханізації. Також ця книга може бути використана як довідковий посібник з питань гідромеханізації для фахівців гірничих та інших підприємств.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ

1.1 Загальні відомості. Основні терміни і поняття

1.1.1 Загальні відомості

Гідромеханізація — це один з видів комплексної механізації гірничих робіт, у якому всі або частина робочих процесів виконується за рахунок енергії потоку води.

Потоком води здійснюється розробка гірської породи, її транспортування, укладання у відвал чи профільоване земляне спорудження, налив або транспортування до переробного комплексу.

Розробка родовищ корисних копалин способом гідромеханізації застосовується в різних областях виробничої діяльності: при видобуванні вугілля і торфу, рудних і нерудних корисних копалин, будівельних матеріалів, при підводному видобуванні розсипних корисних копалин із дна морів і океанів. При цьому використовують три способи ведення гірничих робіт: *відкритий, підземний і підводний*.

При розробці корисних копалин розрізняють два види ведення гірничих робіт: *розкривні (підготовчі)*, що забезпечують доступ до корисної копалини, та *видобувні (очисні)*, пов'язані з її безпосереднім добуванням. Ці роботи характеризуються наступними процесами:

розмив — руйнування гірського масиву напірним струменем води, що створюється спеціальним пристроєм — *гідромонітором*, до якого вода під тиском подається від джерела технологічного (енергетичного) водопостачання;

транспортування гірської маси в потоці води від вибою до збагачувального комплексу, або у відвал;

зневоднювання гірської маси чи збагаченого продукту;

укладання порожніх порід у відвал або вироблений простір;

обробка промислових вод для оборотного водопостачання або скидання в зовнішню гідрографічну мережу (моря, озера, ріки і т.д.). При видобуванні корисних копалин гідромеханічним способом вода може бути використана також для супутнього збагачення корисної копалини.

При гідромеханізації гірничих робіт вода, що надходить від джерела (насосної станції), подається по трубопроводу високого тиску до гідромонітора, що забезпечує розмив гірського масиву.

Струмінь води, руйнуючи породу або розмиваючи гірську масу, утворює *гідросуміш* — суміш твердих часток з водою, — яка транспортується до споживача чи у відвал.

Транспортування гідросуміші може бути самопливне або напірне. **Самопливне** транспортування, яке здійснюється лише за рахунок сил гравітації, є можливим тільки при відповідному рельєфі місцевості або профілі гірничих виробок — при транспортуванні зверху униз та якщо є необхідний перепад рівнів. **Напірне** транспортування здійснюється за допомогою спеціальних насосів або інших джерел енергії, і можливе при будь-якому рельєфі.

Потік гідросуміші, що надійшов із трубопроводу на *місце намиву*, розтікаючись тонким шаром по раніше намитому ґрунті, має незначну швидкість, унаслідок чого частки ґрунту, швидкість яких зменшується в міру віддалення від випуску, поступово осаджуються — відбувається складування видобутого твердого.

Таким чином, при гідромеханізації створюються умови, при яких той самий потік води робить усі послідовні операції гірничих робіт, утворюючи єдиний технологічний процес. Основними **перевагами** гідравлічного способу розробки, у порівнянні з іншими видами механізації, є:

- *малоопераційність і потоковість* технологічного процесу — процеси руйнування, гідротранспорту й укладання порід у відвал проходять безупинно та одночасно;

- можливість супутнього *збагачення* корисної копалини в процесі розмиву, гідротранспорту і складування гірської маси за рахунок енергії потоку води;

- малі обсяги *капітальних робіт* і будівництва гірничих підприємств (кар'єрів, шахт);

- висока *продуктивність* праці та більш висока *безпека* ведення гірських робіт;

- конструктивна простота, надійність і невеликі габарити *основного устаткування*.

До *недоліків* цього способу відносяться:

- висока *енергоємність* робіт (5,5...30 кВт·год/т);

- залежність процесу руйнування гірського масиву від багатьох факторів;

- можливість *перездрібнювання* корисної копалини вище припустимих меж під час його транспортування;

- необхідність відчуження під *гідровідвали* значних площ землі;

- високі (4% і більше) експлуатаційні втрати корисної копалини;
- низька продуктивність праці при розробці гірських масивів, що важко руйнуються, а також при відкритих роботах в зимовий період;

- істотний *абразивний знос* гідротранспортного устаткування.

Недоліки гідротехнології можуть бути усунуті за рахунок удосконалення технології й устаткування.

При визначенні **ефективності** застосування гідромеханізації гірничих робіт необхідно враховувати:

- фізико-механічні властивості порід, що руйнуються;
- гірничо-геологічні умови (потужність і кут падіння пластів, наявність порушень);
- кліматичні умови розробки;
- наявність території для розташування гідровідвалів;
- наявність джерел водо- й енергопостачання, вартість енергії.

Наука про **гідромеханізацію** гірничих робіт включає:

- теорію гідравлічного руйнування порід;
- теорію гідротранспорту порід;
- теорію осадження твердих фракцій та прояснення промислових вод;
- теорію машин для гідравлічного руйнування і гідротранспорту порід;
- теорію виїмки і побіжного збагачення корисних копалин при гідровидобутку;
- теорію керування гідромеханізованими процесами.

Найбільш важливими **задачами в області розвитку технології гідромеханізації** є наступні:

- удосконалення методів гідравлічної розробки порід, що важко розмиваються, і міцних порід;
- створення методів гідравлічної виїмки і гідротранспорту із застосуванням потужного та надійного виймального і транспортного устаткування;
- створення засобів регулювання, автоматизації і контролю технологічних процесів розмиву, гідравлічної виїмки і гідротранспорту гірської маси.

1.1.2 Основні терміни і поняття при відкритому і підводному способах розробки

Кар'єр — сукупність відкритих гірничих виробок, призначених для відкритого видобування корисних копалин. Основні гірничотехнічні характеристики кар'єру: розміри кар'єрного поля, капітальні і розрізні траншеї, уступи і підуступи, площадки уступів, фронт робіт, заходки, блоки, вибої уступів, робочі зони кар'єру.

Кар'єрне поле — родовище або його частина, що розробляється одним кар'єром.

Борти кар'єру — бічні поверхні, що обмежують кар'єр. Борт кар'єру, де ведуться гірничі роботи, називається робочим.

Уступ — частина товщі гірських порід у кар'єрі, що має поверхню у формі сходинки і розробляється самостійними засобами виїмки і транспортування. Уступ обмежується по висоті *верхньою і нижньою площадками*.

Підуступ — частина робочого уступу, що розробляється самостійними засобами виїмки і загальними для уступу засобами гідротранспорту.

Укіс уступу — поверхня, що обмежує уступ з боку виробленого простору і з'єднує верхню і нижню площадки уступу.

Торець уступу — похила чи вертикальна поверхня між верхньою і нижньою площадками уступу вкrest його простягання.

Вибій уступу — поверхня укусу чи торця уступу, що є безпосереднім об'єктом виїмки.

Заходка (при гідромоніторній розробці) — частина уступу по його ширині, що розробляється без пересувки основного гідротранспортного устаткування. Іноді заходку по довжині розділяють на **блоки**.

Фронт робіт гідромонітора — частина блоку, що розробляється одним гідромонітором.

Фронт робіт уступу — частина заходки по довжині, підготовлена для розробки.

Фронт робіт кар'єру дорівнює загальній довжині фронтів його уступів.

Робоча зона кар'єру — сукупність уступів, що знаходяться в одночасній розробці.

Робоча площадка уступу — площадка уступу, де розташовують устаткування (гідромонітори, засоби розпушування порід, землесоси 1-ї станції підйому та їхні комунікації).

Початковий котлован — виробка, що служить для початкового розташування гідромеханічного устаткування і створення первісного фронту робіт.

Розрізна траншея — траншея, яку проводять на уступі для створення первісного фронту робіт.

Капітальна траншея — траншея, проведена для встановлення вантажотransпортного зв'язку між окремими горизонтами і спорудженнями на поверхні.

Гідровідвал — гідротехнічна споруда, призначена для прийому гідросуміші, виділення, зневоднювання та складування гірської маси, прояснення та повернення у технологічну систему відпрацьованої води.

Первинна дамба обвалування — насипне спорудження, що служить для забезпечення наміву порід першого ярусу.

Упорна призма — периферична частина гідровідвала, що утворилася при надводному намиві з найбільш великих часток порід. Упорна призма включає всі дамби обвалування і дренажні пристрої.

Проміжна зона гідровідвала — частина гідровідвала, що знаходиться між упорною призмою і ядром.

Ядро гідровідвала — внутрішня частина гідровідвала з пилювато-глинистих фракцій, що осаджені у підводних умовах.

Ставок-відстійник — водойма, що утворюється на гідровідвалі і служить для водопостачання й осадження дрібних фракцій.

Пляж — похила поверхня між дамбою обвалування і ставком, утворена при надводному намиві.

Поверхня наміву — площа, на якій відбувається відкладення часток порід у результаті руху по ній потоку пульпи.

Ярус наливних робіт — шар порід, що наливается з одного положення пульповоду.

Робоча зона наливного пульповоду — площа, займана породою, що укладається на гідровідвалі з одного положення наливного пульповоду (без переукладання труб).

Цикл наміву — сукупність операцій наміву шару на задану величину.

Земснаряд — машина для виїмки порід із дна водойми. Земснаряд може плавати або переміщуватися по дну водойми. На відміну від драги він не має збагачувальної установки.

Висота робочого уступу земснаряда — середня потужність товщі порід, що одночасно розробляється земснарядом.

Робочий блок земснаряда — частина заходки, що розробляється одним земснарядом без переключення плавучого пульповоду.

Вибій земснаряда — поверхня робочого уступу, що є безпосереднім об'єктом впливу робочого органа земснаряда.

Робочий горизонт уступу земснаряда — найбільш низька позначка робочого положення усмоктувального трубопроводу і його розпушувального пристрою.

Майна — частина водойми, що не замерзає, призначена для ведення робіт у зимових умовах.

1.1.3 Основні терміни і поняття при підземному способі розробки.

Гідрошахта (гідродільниця) — сукупність підземних виробок, призначених для підземного видобування корисних копалин з частковою або повною гідромеханізацією процесів виїмки і транспортування гірської маси.

Основними *гірничотехнічними характеристиками* гідрошахти є:

- розміри шахтного поля;
- потужність і кут падіння пластів;
- капітальні і допоміжні гірничі виробки (штреки, квершлагги, бремсберги, ухили, штреки, що акумулюють, збійки, гезенки, печі вибої, заходки);
- вироблений простір і т.д.

Основна гірничотехнічна термінологія на гідрошахтах аналогічна шахтам зі звичайною технологією, тому зупинимось лише на особливих термінах, властивих тільки гідрошахтам і гідродільницям.

Штрек, що акумулює — похила виробка для самопливного гідротранспорту гірської маси з вибоїв одного ярусу.

Головний штрек, що акумулює — те ж, для транспорту гірської маси з панелі.

Піч — виробка, пройдена в товщі пласта по його падінню, що служить для транспортування гідросуміші до штреку, що акумулює.

Просік — збійка між печами, що забезпечує вентиляцію.

Блок — складова частина ярусу.

Ходова піч — виробка, що служить для доставки матеріалів і пересування людей до вибою.

Пульпопускна піч — те ж, для спускання гідросуміші.

Транспортна піч — те ж, для спускання вантажів.

Виймальна ніч — місце установки гідромонітора при здійсненні відбійки.

Заходка — простір, що відпрацьовується за одну установку гідромонітора.

Поверх — частина шахтного поля, обмежена штреком, що акумулює, і вентиляційним штреком.

Ярус — частина шахтного поля, обмежена верхнім вентиляційним штреком і головним штреком, що акумулює (включає кілька поверхів).

Панель — частина шахтного поля, що включає кілька ярусів.

1.2 Область і умови застосування гідромеханізації

1.2.1 Характеристика області застосування гідромеханізації

Початок застосування гідромеханізації на відкритих гірничих розробках сягає у глибоку давнину. Літературні джерела вказують, ще в першому столітті до н. е. римляни використовували воду при видобуванні золота. У теперішні часи гідромеханізація широко застосовується в різних галузях господарської діяльності: при грабарствах, при будівництві каналів і гідротехнічних споруджень, у вугільній промисловості, при розробці рудних і нерудних родовищ і т.д. Характеристика області застосування гідромеханізації приведена у таблиці 1.1.

Гідромеханізація гірничих, будівельних або гідротехнічних робіт полягає у виконанні комплексу технологічних операцій: видобування, транспортування, складування, збагачення та ін. Поділ гірничих робіт, що виконуються при гідромеханізації відкритих і підземних розробок, по виду і призначенню, наведено у таблиці 1.2.

Гідравлічну видобування вугілля підземним способом відноситься до специфічних способів гідромеханізації гірничих робіт.

Дослідно – промислові роботи зі створення гідрошахти були проведені в 1934 – 1937 р. на шахтах ім. Леніна та № 4 Кізеловського вугільного басейна. У 1938 р. почалося застосування гідровидобування в Кузнецькому вугільному басейні (шахта ім. М. І. Калініна).

У Донбасі перша дослідно-промислова гідрошахта була побудована в 1939 р. у тресті Орджонікідзевугілля.

Промислове впровадження гідровидобування у СРСР почалося в 1952 – 1953 р. пуском гідрошахт Тирганської і Зарічної в Кузбасі. В 1965 – 1967 р. у Кузнецькому і Донецькому басейнах були введені

в експлуатацію перші великі гідрошахти з завершеним технологічним циклом гідровидобування вугілля: у Кузбасі – Ювілейна, виробничою потужністю 3 млн. т, та Інська – 1,2 млн. т на рік; у Донбасі – Червоноармійська та ім. 50-річчя СРСР по 1,2 млн. т на рік кожна.

Гідравлічна технологія використовувалася також при розробці родовищ інших корисних копалин. Наприклад, у 1930 р. її було застосовано на Шахтинській копальні для підземного видобутку розсипного золота. У 1938 – 1941 р. проводилися дослідно-промислові роботи з гідровидобування марганцевої руди на шахтах № 8 і № 12 тресту «Нікопольмарганець», однак промислового застосування ця технологія не одержала.

Виробничий досвід показав, що продуктивність праці на гідрошахтах у 1,5...2,0 рази вище, ніж на шахтах зі звичайною технологією.

Гідравлічна технологія видобування вугілля може застосовуватися у широкому діапазоні гірничо-геологічних умов:

- потужність пласта — від 0,3 до 60 м зі значними змінами на ділянці;
- кути залягання пластів — від 0 до 90° (у межах ділянки цей показник може мінятися);
- міцність вугілля – від дуже міцних і в'язких до дуже слабких із заляганням прошарків і твердих включень.

Область доцільного застосування гідровидобування вугілля визначається наступними умовами:

1. **Наявність технічної води.** Мінімальна питома витрата води, необхідна для гідротранспорту вугілля, дорівнює 3...4 м³ на тонну гірської маси, а для гідровідбійки вугілля стаціонарним струменем — 6...10 м³. Обсяг води, що відповідає питомій витраті, необхідний лише у початковий період робіт. Надалі вода для гідровидобування від зовнішнього джерела потрібна тільки для поповнення її втрат у системі циркуляції (звичайно 10...15 %). На шахтах утрати компенсуються шахтним припливом або додатковою подачею від найближчих озер, рік чи спеціальних свердловин.

2. **Якість води.** У районах розробки вугілля можливий приплив агресивних вод (кислих або лужних), що руйнують метал. Такі води не використовують для гідровидобутку, а одержують з інших джерел.

3. **Кут падіння пластів.** За умовами застосування найбільш ефективного безнапірного гідротранспорту гідровидобуток вугілля переважно вести на пластах з кутом падіння більше 5...6°. При кутах падіння менш двох градусів необхідний напірний гідротранспорт від

вибоїв, а при кутах від 2 до 6 градусів необхідний напірний гідротранспорт від виймальних ділянок. Існує приклад дослідної гідравлічної розробки пласта марганцевої руди, що залягає горизонтально, на шахтах Нікопольського родовища. Гідротранспорт руди від вибою здійснювався гідроелеваторами, а по горизонтальним виробкам до ствола і на денну поверхню — землесосами. Таким чином, гідровидобування може застосовуватися при будь-яких кутах падіння, але найбільш ефективно – при кутах більше п'яти градусів.

4. **Потужність пластів.** Можлива гідравлічна розробка будь-яких пластів, у тому числі і “неробочих”, потужністю 0,3...0,5 м, однак найкращі показники одержують при розробці пластів середньої потужності і потужних.

5. **Глибина розробки** — не обмежена. Створені вуглесоси для видачі пульпи із шахт глибиною 200 м, а при послідовному включенні до 400 м. За допомогою багатосекційних ерліфтів гідропідйом вугілля із шахт можливий з глибин до 1000 метрів і більше.

Таблиця 1.1 – Застосування гідромеханізації в різних галузях промислового виробництва

Галузь промислового виробництва	Роботи, що виконуються
Гірничо-промисловість	Гідророзкривні, гідрозакладні і замулювальні роботи; видобування вугілля, золота, олова, алмазів, марганцю, ільменіту, рутилу, цирконію, залізної руди, кобальту, нікелю, урану, гірничо-хімічної сировини, піску, гравію, глини
Будівельно-промисловість	Проведення виїмок, зведення земляних споруджень, намив площ
Гідротехнічне будівництво	Проведення каналів, намив гребель, випрямлення русел рік і відводів вододжерел
Іригаційне і сільсько-господарське будівництво	Будівництво водоймищ, зрошувальних і осушувальних каналів, вузькопрофільних дамб і гребель, очищення каналів, ставків і водоймищ
Транспортне будівництво	Зведення земляної полотнини залізниць, підхідних насипів до мостів, транспортних споруджень, каналів, аеродромів, портових площ; днопоглиблювальні і кесонні роботи
Транспорт	Гідротранспортування корисних копалин і інших вантажів (у тому числі на великі відстані).

Таблиця 1.2 – Поділ гірничих робіт, що виконуються способом гідромеханізації, по виду і призначенню

Види робіт	Призначення робіт	Об'єкти гідромеханізації	Процеси, що виконуються
Відкриті гірничі роботи	Розкривні і гірничо-будівельні роботи	1. Проходка капітальних траншей 2. Проходка розрізних траншей 3. Видалення розкривних порід	1. Розмив породного масиву гідромоніторами 2. Розробка порід з їхнім попереднім розпушенням 3. Розробка порід земснарядами 4. Самопливне гідротранспортування 5. Напірне гідротранспортування 6. Гідравлічне укладання порід у відвал
	Видобувні роботи на пластових і на розсіпних родовищах	1. Проведення підготовчих виробок 2. Розробка і гідротранспортування корисних копалин	1. Розмив корисної копалини з попереднім розпушуванням або без нього 2. Напірне або самопливне гідротранспортування 3. Побіжне та звичайне збагачення і зневоднювання корисних копалин 4. Складування корисних копалин
Підземні роботи	Гірничо-будівельні роботи	1. Проходка стволів 2. Проведення капітальних виробок	1. Розмив порід з попереднім розпушенням або без нього 2. Гідротранспортування самопливне або напірне, гідропідйом породи
	Видобувні роботи	1. Проведення підготовчих виробок 2. Очисні роботи	3. Розмив корисних копалин часто з попереднім розпушенням. 4. Переважно самопливне транспортування в межах виймальної ділянки
		3. Гідротранспортування до шахтного ствола з наступним гідропідйомом	1. Гідропідйом за допомогою високонапірних вуглесосів або рудососів, ерліфтів 2. Побіжне і спеціальне збагачення. 3. Зневоднення, у деяких випадках сушіння
Спеціальні гірничі роботи	Гідрозакладні і замулювальні роботи	1. Гідравлічна подача й укладання порід у вироблений простір або у підземні виробки	1. Розмив порід з розпушуванням або без нього 2. Напірне або самопливне гідротранспортування поза межами підземних виробок 3. Пульпоутворення і гідротранспортування в межах шахти. 4. Гідравлічне укладання породи у вироблений простір

6. **Міцність вугілля** не обмежує застосування гідровидобування, але вимагає підвищення робочого напору води або застосування інших способів руйнування гірського масиву.

7. **Потреба в електроенергії.** Гідравлічна розробка вугілля є механізованим процесом. Витрати електричної енергії на одну тону вугілля, що добувається і збагачується, при гідровидобуванні складають 30 кВт·год і більше, проти 20 кВт·год на звичайних шахтах. Це викликано більш високою енергоємністю гідровідбійки та гідротранспортування вугілля в порівнянні з механічними засобами.

Розробка високоефективних засобів гідровідбійки імпульсними струменями і застосування засобів підйому і транспорту гідросумішей високої концентрації дозволяє знизити витрати електроенергії.

8. **Кліматичні умови** вимагають витрат на теплоізоляцію споруджень гідрокомплексу поверхні і на підігрів повітря, що подається у шахту для провітрювання при веденні робіт у зимовий період.

Застосування гідромеханізації в складних умовах — на тонких, дуже порушених, багатих на газ і схильних до самозаймання пластах, при слабких бічних породах, дуючій підшві, технічно можливе, але повинно бути обґрунтовано техніко-економічними розрахунками.

При розробці гідравлічним способом вугільних родовищ з високим вмістом фюзена — сажистого компонента (бурі вугілля), одержують великий вихід тонких шламів, що ускладнюють зневоднювання. Гідравлічна розробка такого вугілля не є бажаною.

Підводячи підсумки, можна відзначити позитивні і негативні сторони гідровидобутку вугілля.

Переваги: малоопераційність, простота, гнучкість, безперервність і однорідність процесу; менший обсяг капітальних витрат; менші терміни будівництва шахт; більш висока продуктивність праці; можливість виїмки вугілля без кріплення очисних виробок, можливість повної автоматизації виробничих процесів — так само, як і в умовах відкритої гідророзробки, дозволяють одержати високі техніко-економічні показники.

Недоліки: здрібнювання вугілля при гідротранспортуванні, що ускладнює зневоднювання вугілля; несприятливі умови роботи гідромоніторщиків у вибоях, які не переведені на дистанційне керування, високі технологічні втрати при виїмці вугілля без обмеження очисного простору; забруднення водою шламовими водами; великі витрати електроенергії.

1.2.2 Вплив властивостей породи на ефективність процесів гідромеханізації

Найбільш істотний вплив на ефективність процесів гідромеханізації мають фізико-механічні властивості порід. Вони визначають вибір методів здійснення і параметрів гідравлічних процесів гідромеханізації (засоби руйнування та транспорту, питома витрата води, напір, потрібний для руйнування, параметри гідротранспорту порід), вибір основного технологічного устаткування і послідовність технологічних операцій; впливають на знос основного устаткування.

Основні властивості порід, які необхідно враховувати при гідравлічному способі розробки, наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики порід, які враховуються при гідравлічному способі розробки

Технологічні процеси	Характеристики порід, що враховуються при проектуванні
Розмив і відбійка порід гідромонітором	Петрографічний склад, щільність, міцність на роздавлювання, коефіцієнт зчеплення, кут внутрішнього тертя, розмокання, пластичність, гранулометричний склад, коефіцієнт фільтрації, пористість, характер тріщинуватості
Розробка порід земснарядами	Гранулометричний склад, щільність, петрографічний склад, коефіцієнт зчеплення, кут внутрішнього тертя, пластичність, прилипання, форма часток, окатаність, засміченість сторонніми тілами (наприклад, коренями рослин)
Гідротранспортування порід	Гранулометричний склад, щільність, гідравлічна крупність, форма часток, що транспортуються, здрібнюваність при транспорті, абразивність
Укладання порід у відвали і намівання споруджень	Гранулометричний склад, водовіддача, здатність водотримання, гідравлічна крупність, щільність, коефіцієнт фільтрації, кут внутрішнього тертя, коефіцієнт зчеплення, кут укоосу при наміві
Гідравлічна закладка виробленого простору	Те ж, що і при гідротранспортуванні, відсоток виносу дрібних фракцій, повітропроникність, коефіцієнт усадки, здрібнюваність при гідротранспортуванні
Побіжне збагачення корисних копалин	Те ж, що і при розмиві порід, здрібнюваність при гідротранспортуванні

Гранулометричний склад порід характеризує відсотковий вміст часток по крупності і визначається гранулометричним аналізом, що може проводитися ситовим або седиментаційним методами.

При проектуванні гідромеханізованих робіт необхідно встановити середньозважений діаметр твердих часток, $d_{\text{ср}}$ який є основною характеристикою гранулометричного складу. При відомому гранулометричному складі $d_{\text{ср}}$ визначається по залежності

$$d_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i, \quad (1.1)$$

де P_i – ваговий вміст фракцій порід даного діапазону крупності; d_i – середній діаметр часток i -ї фракції (визначається середньоарифметичне значення граничних діаметрів даної групи фракцій).

При визначенні гранулометричного складу виділяються наступні фракції (мм): понад 100; 100...60; 60...40; 40...20; 20...10; 10...5; 5...2; 2...1; 1...0,5; 0,5...0,25; 0,25...0,10; 0,10...0,05; 0,05...0,01; 0,01...0,005 і менше 0,005.

Від гранулометричного складу залежить **гідравлічна крупність** часток, під якою розуміють швидкість падіння часток у спокійній воді.

Гідравлічна крупність часток залежить від форми, розмірів і щільності часток, в'язкості і температури води, рис. 1.1.

При стиснутому падінні, тобто у випадку падіння часток у воді, що містить зважені частки, швидкість падіння буде залежати, крім того, від концентрації пульпи й інших факторів. Гідравлічна крупність часток у потоці, що рухається, значно зменшується.

При проектуванні процесів гідромеханізації враховують середньозважену гідравлічну крупність, що визначається по формулі:

$$v_{0\text{с}} = \sum_{i=1}^n v_{0i} \cdot P_i, \quad (1.2)$$

де v_{0i} – середня гідравлічна крупність i -ї фракції.

Відносна водовіддача — кількість води, віддана зразком породи, що наливається, з початку водовіддачі (у відсотках від повної водовіддачі). Інтенсивність водовіддачі особливо ретельно досліджується при гідрозакладних роботах. Для цього породу наминають у спеціальні мірні ящики, які оснащено приймальними ємностями для вимірювання кількості води, що відділяється. Через рівні проміжки часу визначають кількість води, що віддається, до повної водовіддачі.

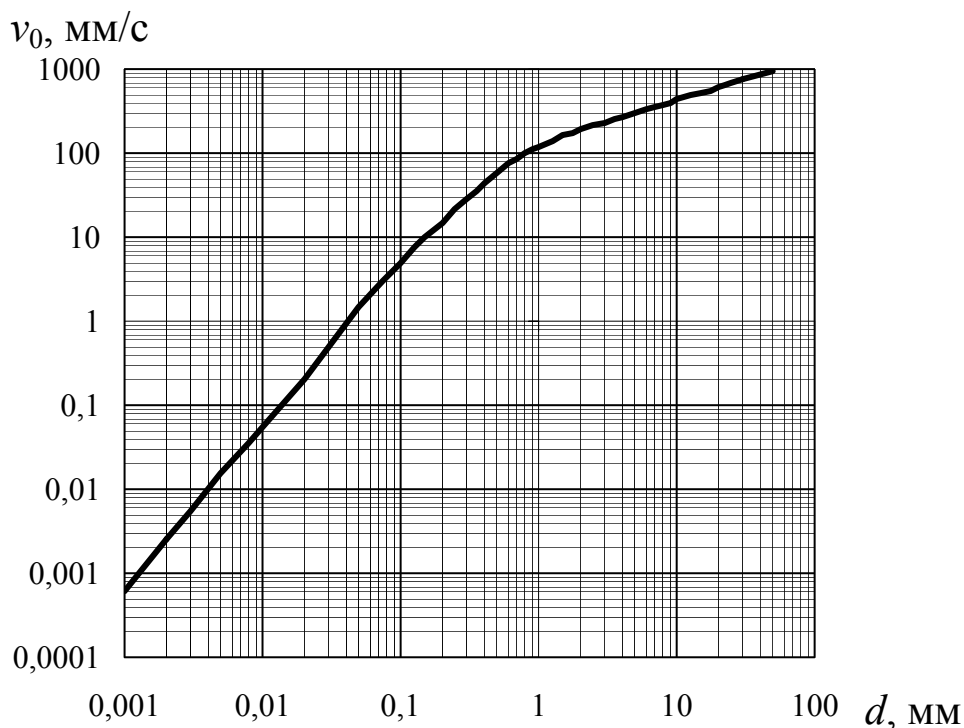


Рисунок 1.1 – Залежність гідралічної крупності v_0 від діаметра d часток породи щільністю 2600...2800 кг/м³

Здатність водоутримання масиву, що намивається, визначається по різниці вологості породи в цілику чи в насипному виді і вологості породи після припинення процесу водовіддачі з масиву, що намивається.

Здрібнювання породи при гідротранспортуванні характеризує інтенсивність її руйнування при русі в напірному трубопроводі. Ступінь здрібнювання залежить від структури породи, її фізико-механічних властивостей, швидкості руху і питомої витрати води.

Здатність порід окисляти воду визначається по показнику концентрації водневих іонів у водяній витяжці із суміші породи і води – pH .

Незв'язні породи розмиваються водою при порівняно невеликих напорах. Руйнування глинистих порід залежить значною мірою від їхнього зчеплення, пористості і пластичності. Дані, що характеризують зміну питомої витрати води при розмиві в залежності від зчеплення породи, приведені у табл. 1.4.

Зі збільшенням коефіцієнта фільтрації і розмокання порід умови розмиву поліпшуються. Збільшення здатності водоутримання породи викликає погіршення процесу відстою її у відвалі. Збільшення зчеплення породи вимагає збільшення питомої витрати води.

Збільшення пластичності і щільності породи викликає необхідність збільшення напору і витрати води на розмив.

На знос гідравлічного устаткування впливають абразивні властивості і гранулометричний склад порід, а також ступінь окатаності їхніх часток.

Абразивність гірських порід залежить від міцності, твердості і гостроти вершин мінеральних зерен. Розрізняють твердість окремих компонентів гірських порід (мінеральних зерен та цементу, що скріплює), табл.1.5, і агрегатну твердість, що залежить від властивостей цементуючої речовини і молекулярних зв'язків між компонентами. Твердість гірської породи полімінерального складу визначається по формулі:

$$T = \sum_{i=1}^n \mu_i \lambda_i, \quad (1.3)$$

де μ_i – твердість i -го мінералу, що складає породу; λ_i – об'ємний вміст i -го мінералу.

Таблиця 1.4 – Питома витрата води при розмиві порід

Порода	Зчеплення, МПа	Витрата води, м ³ , на розмив 1 м ³ породи
Пилуваті піски	0,004...0,008	4...6
Супіски	0,007...0,042	4...10
Суглинки	0,019...0,068	10...16
Глини	0,037...0,082	12...18
Жирні глини	0,047...0,094	17...20

Таблиця 1.5 – Твердість порід: (по шкалі Мооса)

Мінерал	Твердість	Мінерал	Твердість
Тальк	1	Польовий шпат	6
Гіпс, кам'яна сіль	2	Кварц	7
Вапняковий шпат	3	Топаз	8
Плави́ковий шпат	4	Корунд	9
Апатит	5	Алмаз	10

Таблиця 1.6 – Розподіл порід по абразивності:

Твердість зерен по шкалі Мооса	Піски середньозернисті			Піски грубозернисті			Піщано-гравійна суміш		
	добре обкатані	мало-обкатані	необкатані	добре обкатані	мало-обкатані	необкатані	добре обкатані	мало-обкатані	необкатані
4	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1,0	0,75	1,0	1,5
5	0,5	0,75	1,0	0,75	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0
6	0,75	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0	1,25	2,0	3,0
7	1,0	1,5	2,0	1,25	2,0	3,0	1,5	3,0	5,0

Для врахування впливу обкатаності часток на знос устаткування, породи розділяють на обкатані, середньої обкатаності й гострогранні, табл. 1.6. Вважається, що найбільш сприятливими є породи з формою, що наближається до кулястої.

Поділ порід по категоріях, класах і по труднощам їхньої розробки гідромоніторами і земснарядами приведено в додатку А.

1.3 Розкриття і системи гідромеханізації при відкритому способі розробки родовищ

1.3.1 Способи розкриття родовищ

Під **розкриттям** родовища розуміють проведення виробок, що відкривають доступ з поверхні землі до корисної копалини або від однієї частини родовища до іншої. Виробки, що розкривають, створюють *вантажотransпортний зв'язок* між горизонтами розробки (робочими площадками уступу) і технічними спорудженнями на поверхні: землесосними станціями, збагачувальними фабриками, залізничними станціями, а також забезпечують підготовку фронту робіт.

При відкритому способі розробки без застосування гідромеханізації вантажотransпортний зв'язок звичайно здійснюється через капітальні траншеї. На відкритих же розробках із застосуванням гідромеханізації основний обсяг гірської маси переміщається по трубопроводах, що дозволяє значно зменшити обсяги робіт із проведення капітальних і підготовчих виробок. У цьому випадку вироб-

ками, що розкривають, і одночасно підготовчими, звичайно є розрізні траншеї.

Спосіб розкриття родовища визначається потужністю покладу корисної копалини і товщі порід, що покривають, а також кутом нахилу пласта. Вибір способу розкриття в значній мірі залежить від гірничогеологічних і гідрологічних умов родовища.

Професором Є. Ф. Шешко запропоновано класифікацію способів розкриття на відкритих розробках. В основу класифікації способів розкриття при гідравлічному способі розробки покладений принцип розташування, призначення і числа основних і підготовчих виробок, таблиця 1.7.

У випадку розкриття окремими траншеями при самопливному транспортуванні пульпи, рис. 1.2, кожний уступ розкривається самостійною *пульпоприймальною траншеєю*. Пульпоприймальна траншея може перейти в лоток, покладений на естакаді. Кожний розкривний горизонт в окремих випадках може мати свою ділянку гідровідвала.

При напірному гідротранспортуванні пульпи розкриття здійснюється переважно окремими внутрішніми траншеями. У цьому випадку горизонти розробляються тільки за допомогою *розрізних траншей*. Такий спосіб розкриття застосовують при необхідності швидкого введення в роботу розкривного і видобувного устаткування.

Загальні траншеї можуть бути застосовані для розкриття покладів на великій глибині, рис. 1.3 і при розробці родовищ на косогорі з застосуванням самопливного транспортування.

При розробці родовищ на косогорі часто зменшується довжина транспортних комунікацій у зв'язку з можливістю розташування відвалів у безпосередній близькості від уступів, що розробляються.

При *безтраншейному* розкритті устаткування встановлюється без проведення розрізних траншей, рис. 1.4. У цьому випадку при самопливному транспортуванні пульпи проводять тільки пульпоприймальні канали, що надалі можуть переходити у лотки.

У випадку глибокого залягання родовищ іноді економічно доцільним є розкриття *підземними виробками*, рис. 1.5, у яких встановлюються гідротранспортні засоби. В ході розвитку робіт підземні виробки частково, а в деяких випадках і цілком ліквідуються.

При комбінованому способі розкриття можливе сполучення окремих способів розкриття відповідно до умов залягання родовищ.

Таблиця 1.7 Класифікація способів розкриття

Індекс	Спосіб розкриття	Варіанти	Сутність способу
I	Окремими незалежними виробками	I-А. Розкриття окремими внутрішніми і зовнішніми траншеями при самопливному транспортуванні	Кожен уступ розкривається окремими водоводами і гідротранспортними комунікаціями
II	Загальною траншеєю	II-А. Розкриття загальною траншеєю зовнішнього чи внутрішнього закладення при самопливному транспортуванні	Всі уступи розкриваються однією загальною траншеєю; комунікації гідротранспортних агрегатів можуть бути окремими і загальними
III	Безтраншейне розкриття	III-А. Розкриття без проведення розрізних траншей при самопливному транспортуванні III-Б. Безтраншейне розкриття при напірному гідротранспортуванні	
IV	Підземними виробками	Розкриття підземними виробками, де монтуються землесоси, трубопроводи, водоводи	
V	Комбінований	Сполучення різних способів	

У залежності від розмірів устаткування, що розташовується у вибої, кута укосу вибою і безпечної відстані устаткування від укосу, обсяг котловану для забезпечення гідроустановкам необхідного фронту робіт можна визначити простим розрахунком по елементах перетину котловану.

Довжина розрізної траншеї визначається межами родовища або межами якої-небудь його частини з урахуванням необхідного розносу бортів.

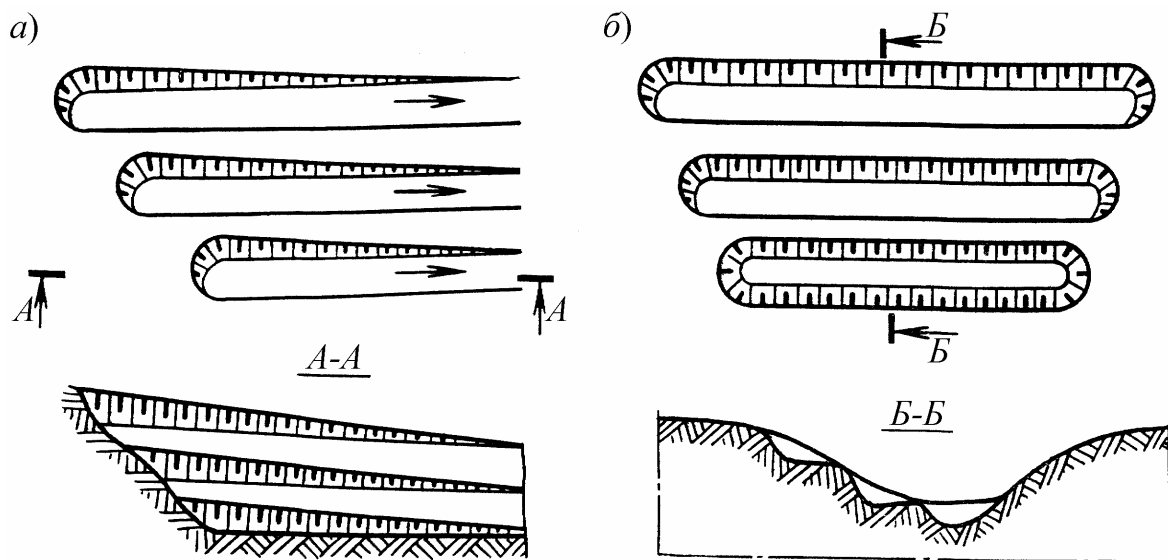


Рисунок 1.2 – Схема розкриття родовища окремими траншеями при самопливному (а) і напірному (б) гідротранспортуванні

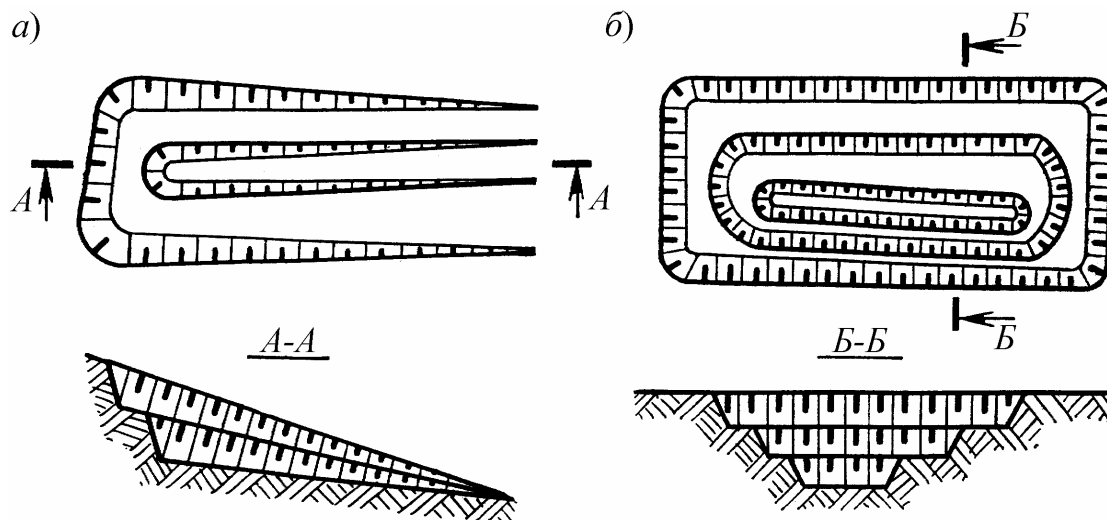


Рисунок 1.3 – Схема розкриття родовища загальною траншеєю при самопливному (а) і напірному (б) гідротранспортуванні

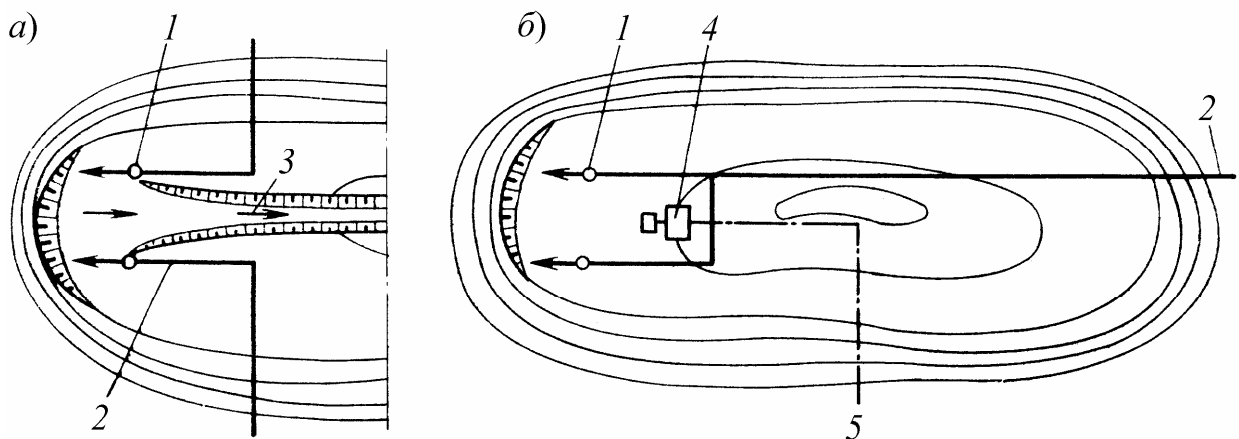


Рисунок 1.4 – Схема безтраншейного розкриття родовища при самопливному (а) і напірному (б) гідротранспортуванні: 1 – гідромонітор, 2 – водовід, 3 – канава, 4 – землесосна станція, 5 – пульпопровід

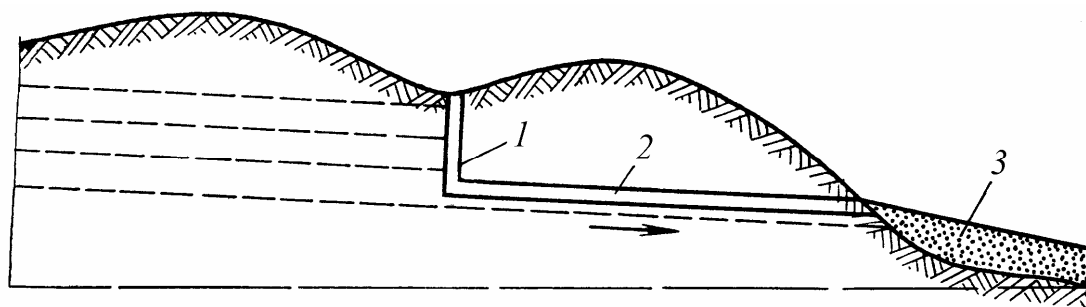


Рисунок 1.5– Схема розкриття родовища підземними виробленнями:

1 – шурф, 2 – штольня, 3 – відвал

При проведенні розрізної траншеї необхідно прагнути до того, щоб обсяг її був мінімальним і щоб при наступній роботі кар'єру забезпечувалися мінімальне число переукладань трубопроводів, мінімальна відстань від насосної станції до ділянок, що розробляються, і від землесосів до відвалів, укладання пульповодів при мінімальному обсязі будівельних робіт, мінімальний обсяг недомиву.

При **розробці родовищ земснарядом** метою розкриття є не тільки забезпечення доступу від поверхні до родовища і вантажо-транспортного зв'язку, але і створення *водойми*, що забезпечує нормальні умови експлуатації устаткування. У табл. 1.8 приведено класифікацію способів розкриття при використанні землесосних снарядів.

Розкриття **початковим котлованом**, рис. 1.6, найбільш поширено на заплавних і інших родовищах, де вода у водоймі забезпечується за рахунок поверхневих чи ґрунтових вод. Під котлованом розуміється замкнута відкрита гірська виробка, довжина якої не більше ніж у 3...5 разів перевищує ширину.

Місце розташування початкового котловану повинне забезпечувати сприятливі умови для монтажу земснаряда (зручність під'їзду, можливість роботи підйомно-транспортного устаткування, створення необхідних приміщень і інших умов) і водоприплив у котлован при пуску земснаряда в експлуатацію.

Взимку земснаряд монтується на льоді і спливає після того, як лід розтане. При недостатній товщині льоду в котловані або при монтажі в літніх умовах земснаряд монтується на березі на стапелі, а потім за допомогою поліспастів зіштовхується на воду.

Розміри котловану приведені в табл. 1.9. Обсяг котловану може бути трохи зменшений при доданні йому в плані форми сектора з кутом не менше 60° і радіусом, який на 6 м перевищує довжину

Таблиця 1.8 – Розкриття кар’єрних полів при розробці земснарядями

Спосіб розкриття	Варіанти розкриття		
	по типу і кількості розкривних виробок	по розташуванню виробок	по способу забезпечення водою
I. Початковим котлованом	1. Окремими котлованами (на кожний уступ) 2. Груповими котлованами (на кілька уступів) 3. Загальним котлованом (на всі уступи)	1. Котлованами зовнішнього закладення 2. Котлованами внутрішнього закладення 3. Котлованами центрального закладення	1. За рахунок поверхневих або ґрунтових вод 2. Самопливною подачею з вододжерела 3. Закачуванням води у котлован
II. Траншеями	4. Загальною траншеєю 5. Кількома траншеями	4. Траншеєю зовнішнього закладення 5. Траншеєю зовнішньо-внутрішнього центрального закладення 6. Те ж, флангового закладення	4. За рахунок вододжерела, з акваторії якого проходять траншею
III. Заводненням поверхні родовища	6. За рахунок обвалування на площі кар’єру 7. Підйомом рівня води у річці греблею	7. Обвалуванням центрального розташування 8. Обвалуванням флангового розташування —	5. Закачуванням води у обвалований простір 6. За рахунок підйому рівня води у річці греблею
IV. Безтраншейне розкриття	8. Без розкривних виробок при наявності водойми	—	7. За рахунок води у водоймі
V. Комбіноване розкриття	Комбінація способів розкриття		

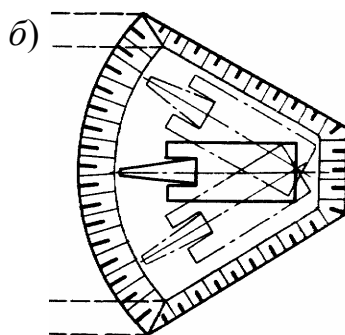
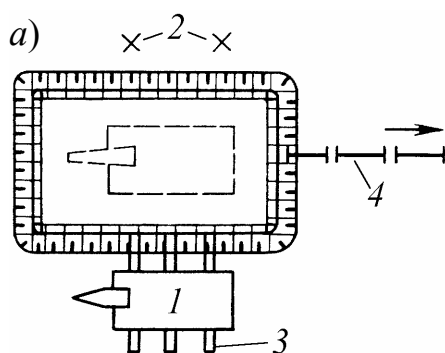


Рисунок 1.6 – Схема розкриття родовища початковим котлованом прямокутної (а) і секторної (б) форми при відпрацюванні кар'єрного поля земснарядом: 1 – земснаряд; 2 – лебідки; 3 – стапель; 4 – пульпопровід

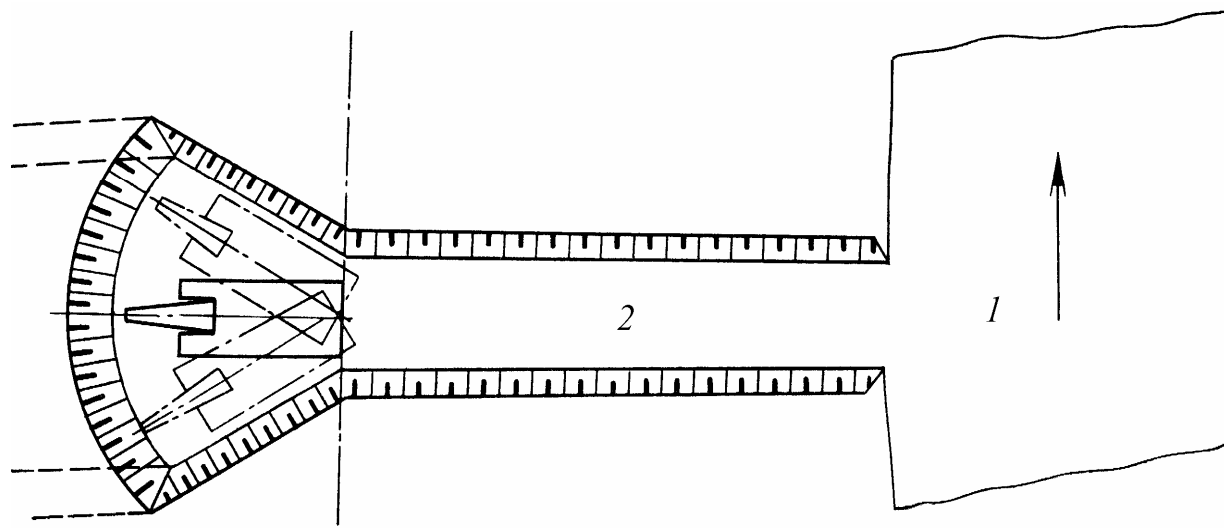


Рисунок 1.7 – Схема розкриття родовища траншеєю при відпрацюванні кар'єрного поля земснарядом: 1 – річка, водоймище; 2 – траншея

земснаряда з породозабірним пристроєм у горизонтальному положенні. Обсяг води у котловані повинний забезпечити не тільки роботу земснаряда, але і заповнення водою всієї системи подачі пульпи і водоскиду.

Після введення земснаряда в експлуатацію він поглиблює котлован до оцінки дна кар'єру й розширює його. При використанні декількох земснарядів раціонально вводити їх у експлуатацію послідовно, здійснюючи їхню зборку на одному стапелі.

Таблиця 1.9 – Мінімальні розміри початкового котловану

Продуктивність земснаряду по воді, м ³ /год.	Глибина, м	Ширина по дну, м	Довжина по дну, м
До 1300	2,0	20	30
1300 ... 2200	2,5	20	40
2200 ... 4000	3,5	25	50
Більше 4000	4,5	30	55

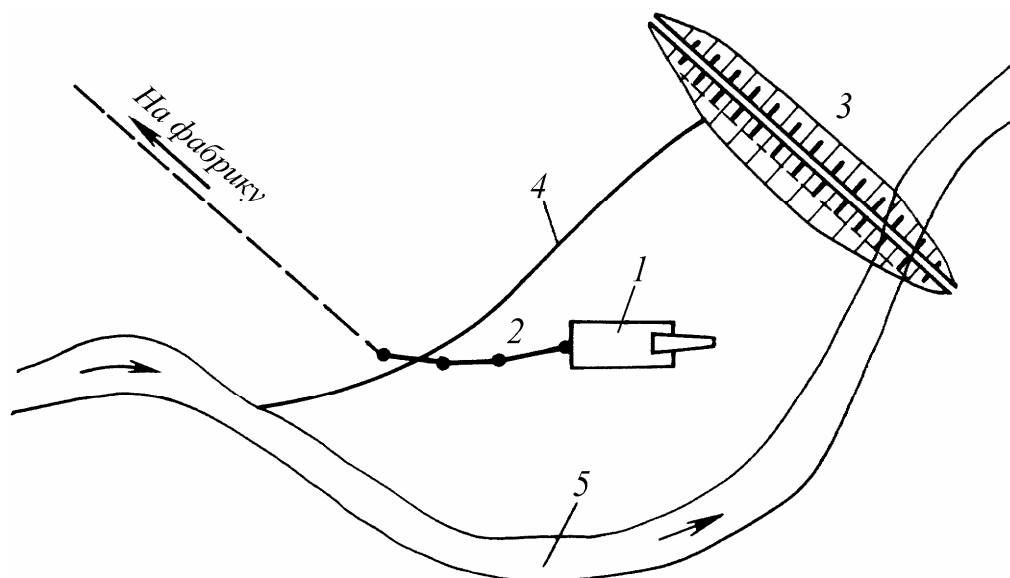


Рисунок 1.8 – Схема розкриття родовища шляхом заводнювання його поверхні підйомом рівня води у річці при відпрацюванні кар'єрного поля земснарядом:
1 – земснаряд; 2 – пульпопровід; 3 – дамба; 4 – межа заводнювання; 5 – річка

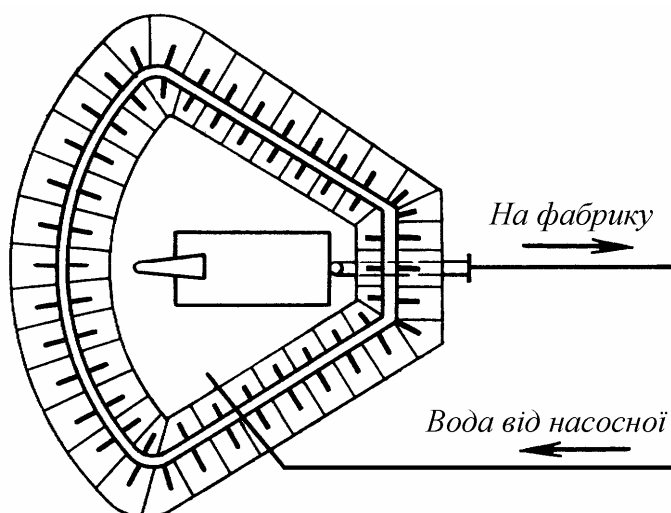


Рисунок 1.9 – Схема розкриття родовища обвалуванням ділянки заводнювання при відпрацюванні кар'єрного поля земснарядом

Розкриття **траншеями**, рис. 1.7, як правило, застосовується на родовищах, розташованих близько від річок або інших джерел. У цьому випадку можуть мати місце сприятливі умови зборки земснарядів на спеціальних стапелях суднобудівних заводів. Перевагою схеми розкриття траншеями є спрощення запуску земснаряда, оскільки немає необхідності накопичення води для його роботи. Траншея або проходить земснарядом, або відкопується екскаватором-драглайном.

Після введення земснарядів на родовище траншея пересипається дамбою, у тіло якої укладаються труби, через які надходить вода з ріки в кар'єр чи з кар'єру в ріку при коливаннях рівня.

Траншеї і котловани можуть закладатися як у контурі кар'єрного поля (*внутрішні*), так і поза його межами (*зовнішні*). Останнє більш властиво розкриттю траншеями. Виробки, що розкривають, можуть розташовуватися як *на флангах*, так і *в центрі* кар'єрного поля. При центральному розташуванні створюється можливість для двокрилої схеми розробки і для одночасного введення двох земснарядів.

Розкриття *заводненням площі кар'єру*. Земснаряд збирається на родовищі, а рівень води у вододжерелі (річці) піднімається за рахунок зведення греблі. Земснаряд починає роботу, спливаючи по мірі підйому рівня води, рис. 1.8. Коли складно або неможливо підняти рівень води в джерелі, ділянка роботи земснаряда обваловується і заповнюється водою, рис. 1.9. У цьому випадку насосна станція повинна мати продуктивність, що перевищує утрати води при роботі земснаряда.

Безтраншейне розкриття широко застосовується при розробці руслових родовищ.

При використанні земснарядів спосіб розкриття вибирається з урахуванням особливостей прийнятої схеми розробки й охорони навколишнього середовища. Наприклад, при введенні земснаряда у заплаву ріки доцільно використовувати час паводку, що дозволить не тільки скоротити обсяг гірничо-капітальних робіт, але й виключити утворення мутності, яка є небезпечною для рослин і тварин.

1.3.2 Системи відкритої гідравлічної розробки

Під *системою відкритої гідравлічної розробки родовищ* розуміється ведення робіт з розмиву, гідротранспортування й укладання розкривних порід у відвали, які знаходяться у взаємозв'язку з видобувними роботами в часі й у просторі. Основні ознаки системи розробки визначаються способом виконання розкривних робіт.

Технологія відкритої гідравлічної розробки родовищ визначається *способом розмиву порід і способом гідротранспортування*. Спосіб гідротранспортування порід поза робочим горизонтом визначає основні елементи системи розробки. Від способу розмиву порід залежить висота уступу, розміри робочих площадок, потужність розкривного устаткування. При взаємному урахуванні усіх факторів спосіб гідротранспортування порід є найбільш важливим. Тому він застосовується як основна ознака класифікації систем розробки пластових родовищ, яку запропоновано Г.А. Нурком, табл. 1.10.

Таблиця 1.10 – Класифікація схем відкритої розробки

Індекс системи розробки	Система розробки	Індекс варіанта	Варіант системи розробки	Спосіб транспортування породи поза робочим горизонтом
А	Похилими шарами із самопливним транспортуванням пульпи	A_1	З розмивом породи гідромоніторами з верхньої чи нижньої площадки уступу без розпушення, рис. 1.10	Самопливний із застосуванням лотків або пульпоприймальних каналів
		A_2	Те ж, з попереднім розпушенням, рис. 1.11	
		B_3	Те ж, з верхньої або нижньої площадки уступу, рис. 1.12	
		B_4	З розмивом породи в спеціальних пересувних установках при екскаваторному розпушенні, рис. 1.13	
		B_5	Те ж, у навалах при механічному розпушенні, рис. 1.14	
А – Б	Із самопливно-напірним транспортуванням пульпи	$A_1 - B_3$ $A_2 - B_4$ $A_2 - B_5$	З розмивом породи без розпушення і з попереднім розпушенням, рис. 1.15	Самопливний із застосуванням лотків або пульпоприймальних каналів і напірний із застосуванням землесосів
		$B - B_6$	З розмивом породи за рахунок усмоктування землесосом з механічним розпушенням або без нього, рис. 1.16	Напірний із застосуванням плаваючого і сухопутного пульпопроводів
Б – В	Спеціальна із застосуванням плаваючих землесосних установок	$B - B_7$	З розмивом породи плаваючими гідромоніторними установками, рис. 1.17	

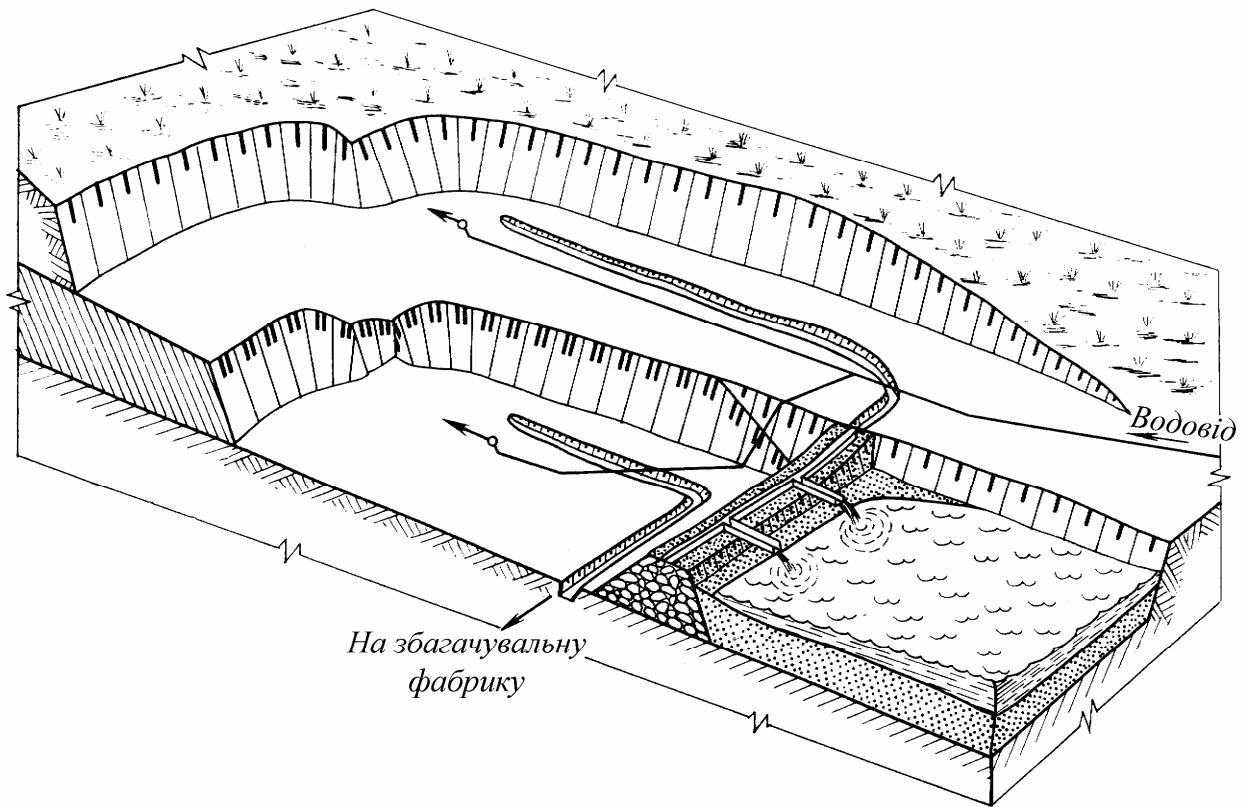


Рисунок 1.10 – Система розробки A_1

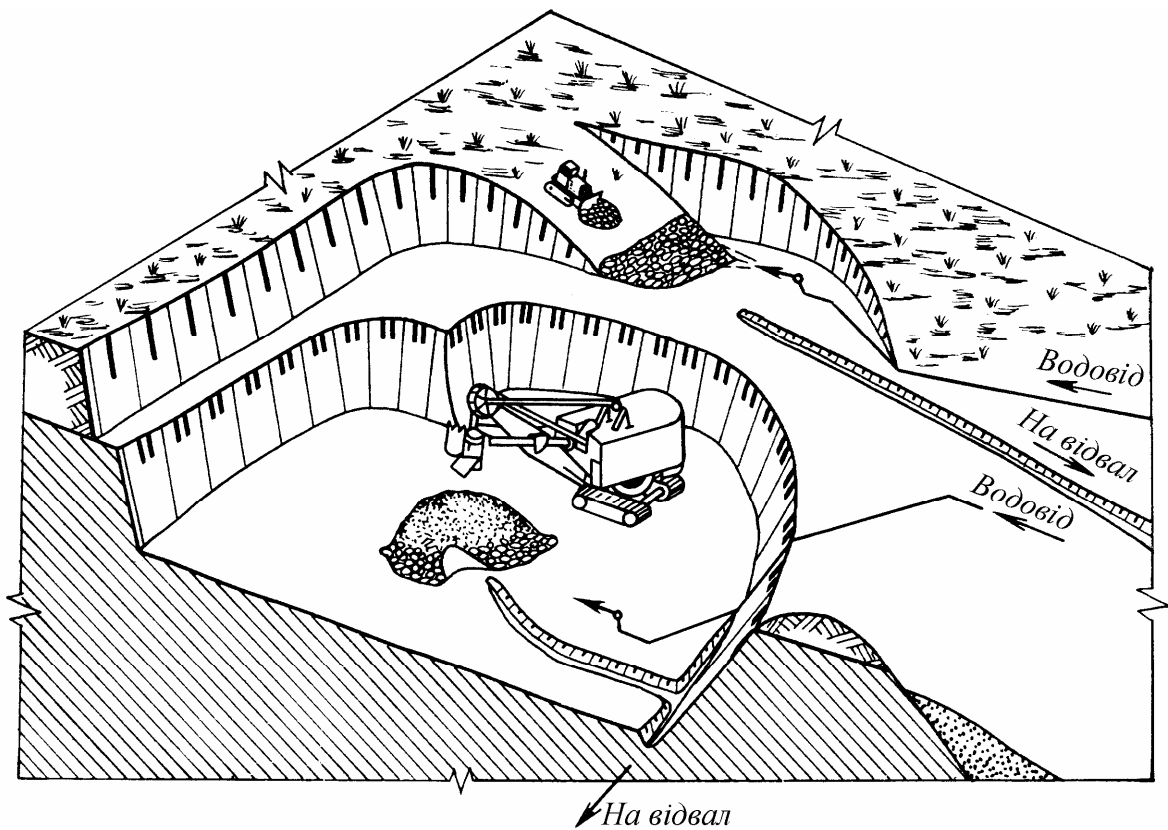


Рисунок 1.11 – Система розробки A_2

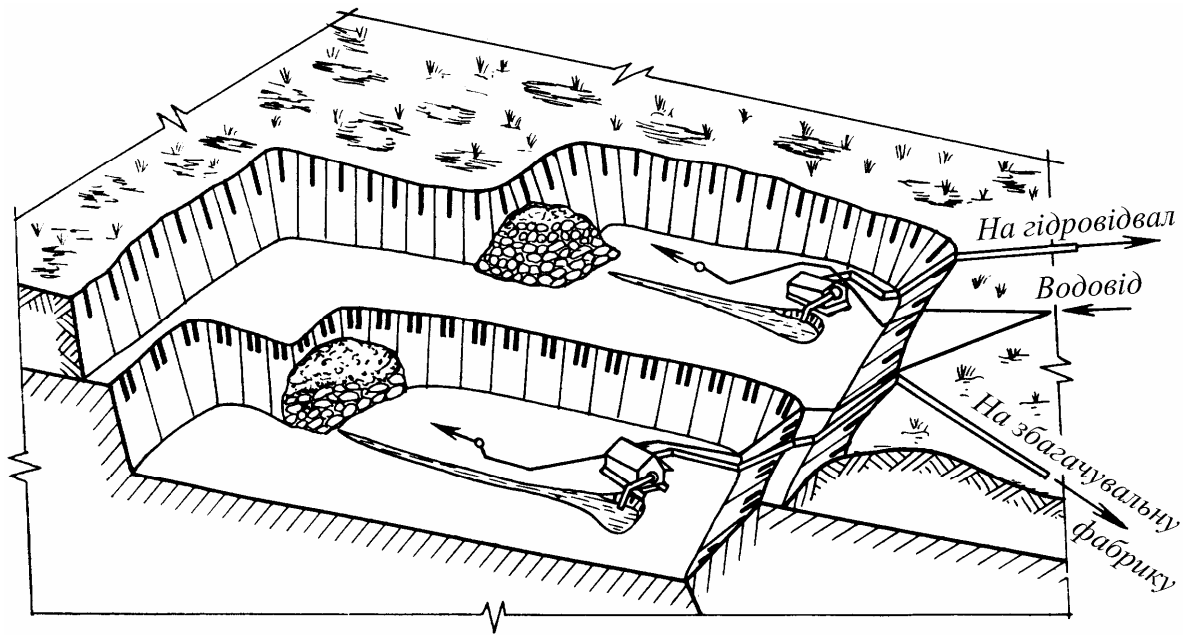


Рисунок 1.12 – Система розробки B_3

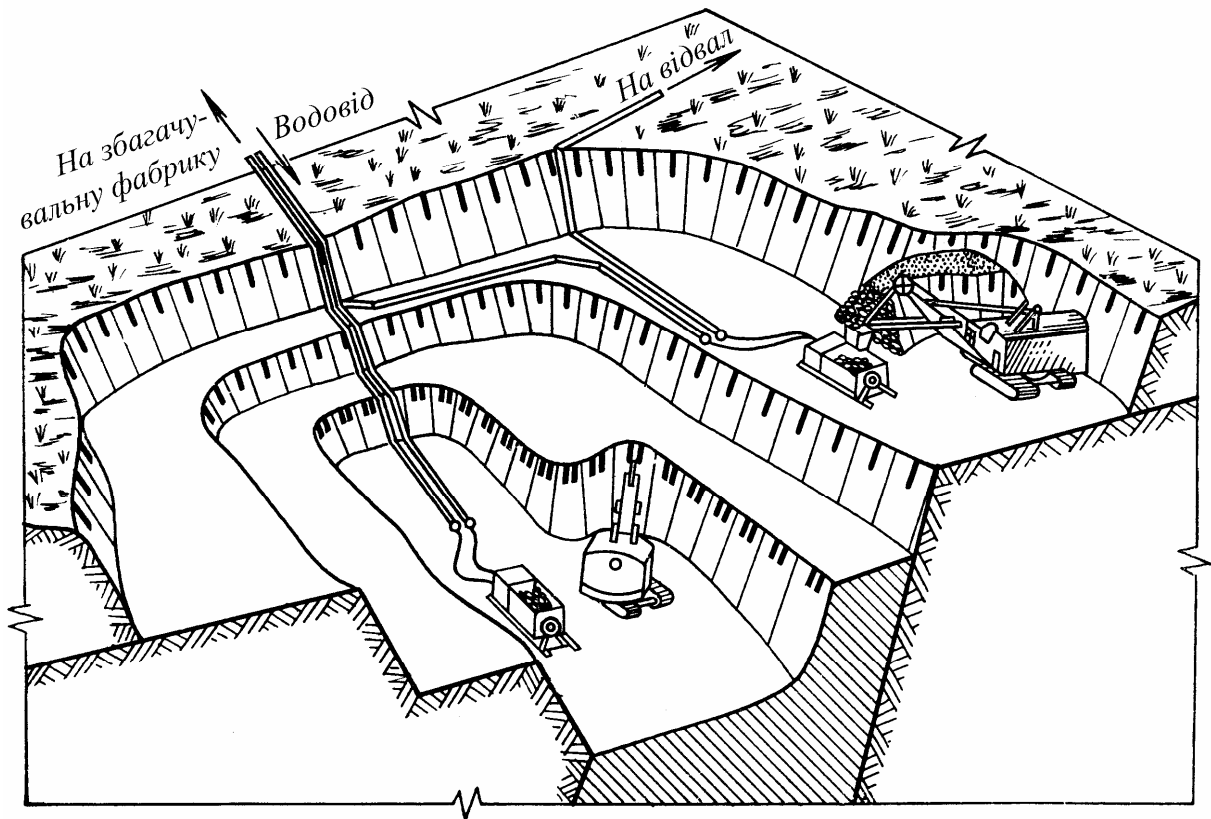


Рисунок 1.13– Система розробки B_4

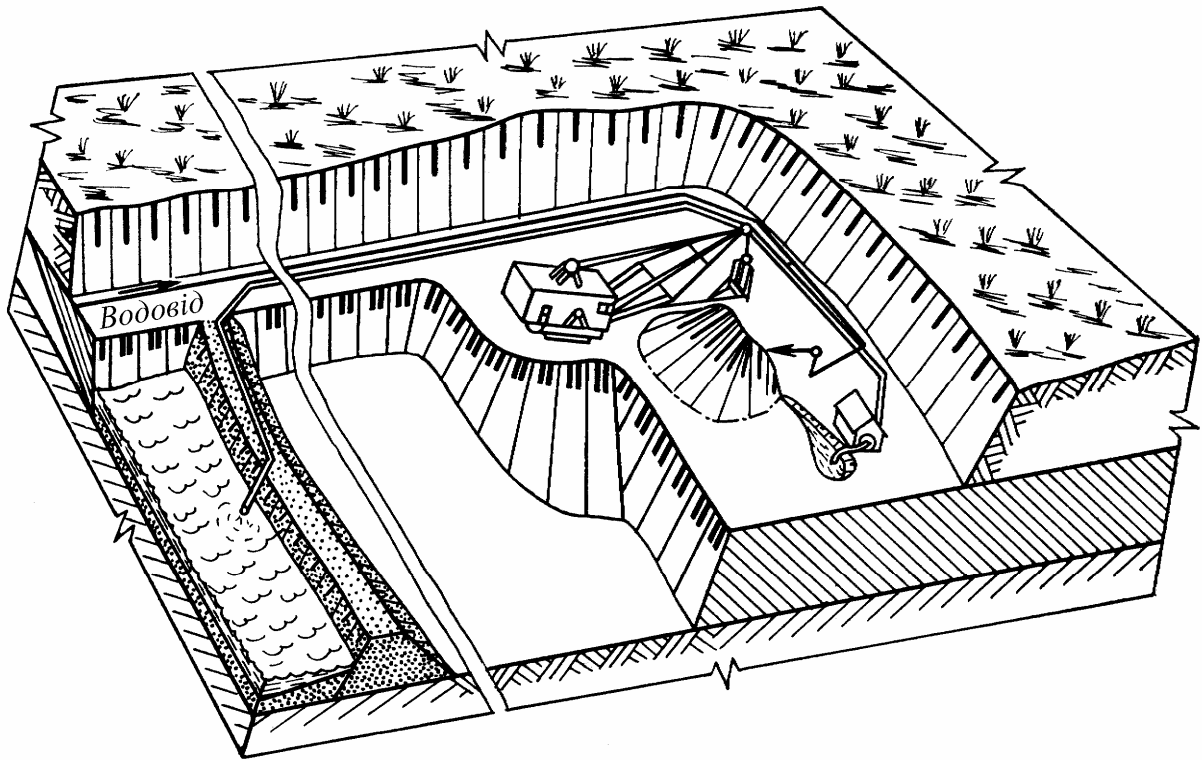


Рисунок 1.14– Система розробки B_5

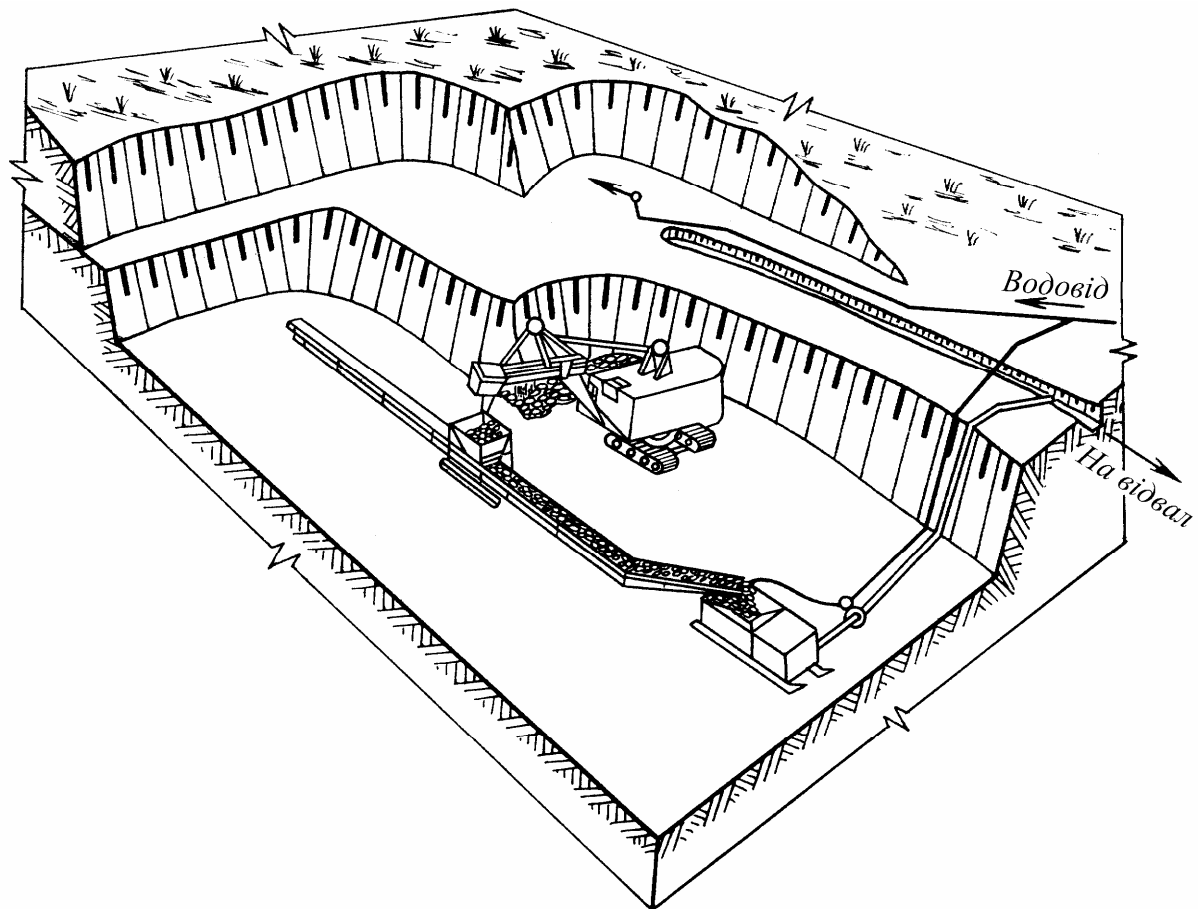


Рисунок 1.15 – Система розробки $A - B$

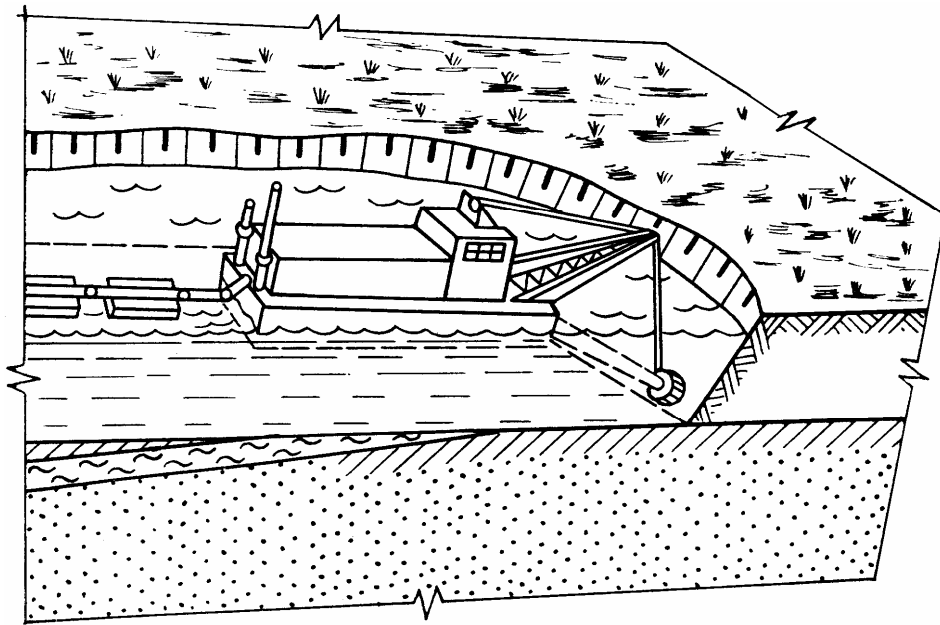


Рисунок 1.16 – Система розробки $B - B_6$

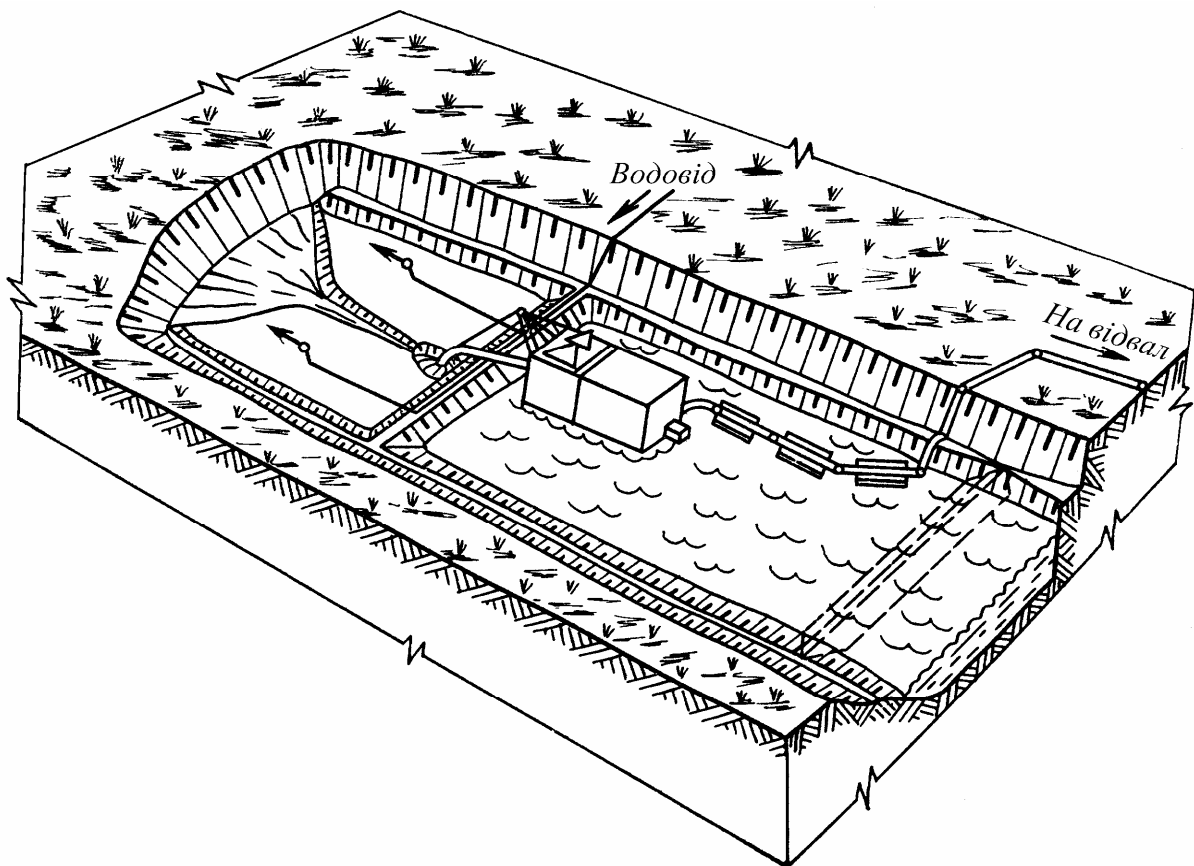


Рисунок 1.17 – Система розробки $B - B_7$

Система розробки із *самопливним транспортуванням* характеризується простотою і є найбільш економічною. Система розробки з *напірним гідротранспортуванням* менш економічна. Її параметри залежать від потужності розкривного і транспортного устаткування.

На вибір параметрів систем розробки істотний вплив робить характер сповзання масиву, що підробляється, ширина розвалу заваленої породи, глибина врубу, довжина фронту підрізування, висота уступу.

При визначенні області застосування тієї чи іншої системи розробки родовища необхідно враховувати обсяг промислових запасів і характер залягання корисної копалини, річну продуктивність кар'єру, обсяг підготовчих робіт і необхідний темп просування фронту робіт, рельєф місцевості і можливість розташування гідровідвалів, фізико-механічні властивості розкривних порід, гідрогеологічні, гідрологічні і кліматичні умови.

Систему розробки *A* можна застосовувати за умови

$$\frac{H_1 - H_2}{L} \geq i_{\min}, \quad (1.4)$$

де H_1, H_2 – геодезичні рівні нижньої площадки уступу та місця подачі пульпи; L – довжина шляху транспортування; $i_{\min}$ – мінімальний ухил для самопливного гідротранспортування породи.

Система розробки *B* може бути застосована при будь-якому рельєфі місцевості.

Характер залягання корисної копалини впливає на вибір системи розробки. При пологішому заляганні корисної копалини застосовується переважно система *B* і, в рідких випадках, система *A – B*. При похилому заляганні можливе застосування систем *A* та *B*. Істотне значення тут має можливість розміщення гідровідвалів за умовами самопливного гідротранспортування порід. При крутому заляганні корисної копалини застосування систем *B – B* є складним. Сприятливим фактором для застосування гідравлічного способу є таке залягання корисної копалини, при якому можливе ведення робіт по підняттю пласта з мінімальним недобором.

Найбільш економічною є система *A*, при якій не потрібні землесоси й пульпопроводи — використовуються лотки або канали, зменшуються простоти гідромоніторів і екскаваторів у зв'язку з відсутністю пересувок устаткування, знижується витрата електроенергії. Якщо прийняти показники системи *A* за 100%, то для системи *B* годинна

продуктивність праці робітника складатиме 65%, а витрата електроенергії на виїмку 1 м^3 породи — 170%.

При порівнянні систем розробки B_3 , B_4 і B_5 варто враховувати витрати електроенергії на розмив породи, витрати на збирання недомиву, витрати води на розробку і доведення пульпи до відповідної консистенції, трудомісткість робіт і інтенсивність просування фронту робіт. Якщо прийняти питомі витрати води при системі B_3 за 100%, то при системах B_4 і B_5 вони складатимуть відповідно 25 і 35%.

Витрати на збирання 1 м^3 недомиву більше, ніж витрати на розмив 1 м^3 породи. Система B_4 дозволяє вести розробку без недомиву. Крім того, при цій системі зменшується час на пересувку землесосного агрегату — пересувної землесосної установки з бункером-змішувачем. Просування фронту робіт залежить від тривалості циклу робіт, яке при системі B_4 звичайно менше, ніж при системі B_3 , але більше, ніж при системі B_5 . Це зумовлено тим, що екскаватор при попередньому розпушуванні породи в ряді випадків має залишати недомив для забезпечення транспортування пульпи. Однак, при цьому поліпшуються умови використання устаткування і збільшується його продуктивність. Система B_5 забезпечує більшу продуктивність устаткування, ніж система B_3 .

Основна перевага застосування системи B у порівнянні із системою B полягає в тому, що земснаряди здатні працювати в умовах обводнених родовищ. Перевагою системи B_6 є відсутність насосних установок. Недолік системи — необхідність спеціального обводнювання родовищ і здійснення складних підготовчих робіт, мала ефективність у зв'язних породах. Система B_7 забезпечує більш високу годинну продуктивність гідротранспорту по породі за рахунок високої консистенції пульпи — 1 : 4, у порівнянні з 1 : 11 для системи B_6 .

Перспективними схемами механізації на розкривних роботах є схеми із застосуванням комплексу машин безупинної і циклічної дії і гідравлічного транспорту, що забезпечують стійкість технологічного процесу. Це підтверджується досвідом використання роторного екскаватора в сполученні з гідротранспортом на Лебединському кар'єрі Курської магнітної аномалії і досвідом розробки напівскельних порід екскаваторами циклічної дії з наступним гідротранспортуванням на вугільних кар'єрах Кузбасу (Росія).

1.4 Технологічні схеми та системи розробки при гідромеханізації підземних гірничих робіт

1.4.1 Технологічні схеми гідромеханізації підземних робіт

При гідромеханізації гірничих робіт розрізняють:

— **комплексну гідромеханізацію**, коли всі операції по відділенню корисної копалини від гірського масиву і його транспортуванню здійснюються за рахунок енергії води, що рухається;

— **комбінований спосіб**, коли ряд операцій (гідротранспорт, гідропідйом) здійснюються з використанням гідравлічної енергії, а руйнування гірського масиву здійснюється механічним чи буро-підривним способом.

Спосіб ведення гірничих робіт вибирається на основі техніко-економічного обґрунтування, табл.1.11. Принципову технологічну схему гідромеханізації гірських робіт на прикладі гідровидобутку вугілля представлено на рис.1.18.

Розмаїття гірничо-геологічних умов, у яких працюють діючі гідрошахти, а також різниця в якості і марочному складі вугілля, що видобувається, обумовлюють істотні розходження технологічних схем гідрошахт. Нижче розглянуті найбільш типові приклади технологічних схем гідрошахт.

Гідрошахта Ювілейна (Росія). Особливостями технологічної схеми гідрошахти Ювілейна, рис. 1.19, є:

— наявність двох самостійних блоків шахти з об'єднаним загальним поверхневим комплексом, що складається з центральної насосної і пульпоперекачувальної станцій, центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ), комплексу прояснення і повернення оборотної технічної води;

— розробка пластів вугілля з марками Ж і Г, що обумовлює необхідність створення роздільного відпрацювання, гідротранспорту і передачі на ЦЗФ одночасно двох шахтних видач;

— доставка відбитого вугілля до центральної камери гідропідйому безнапірним гідротранспортом, а також із двох уклонних полів перекачувальними вуглесосами;

— транспортування видобутого вугілля по магістральному трубопроводу довжиною 11 км на Західносибірський металургійний завод.

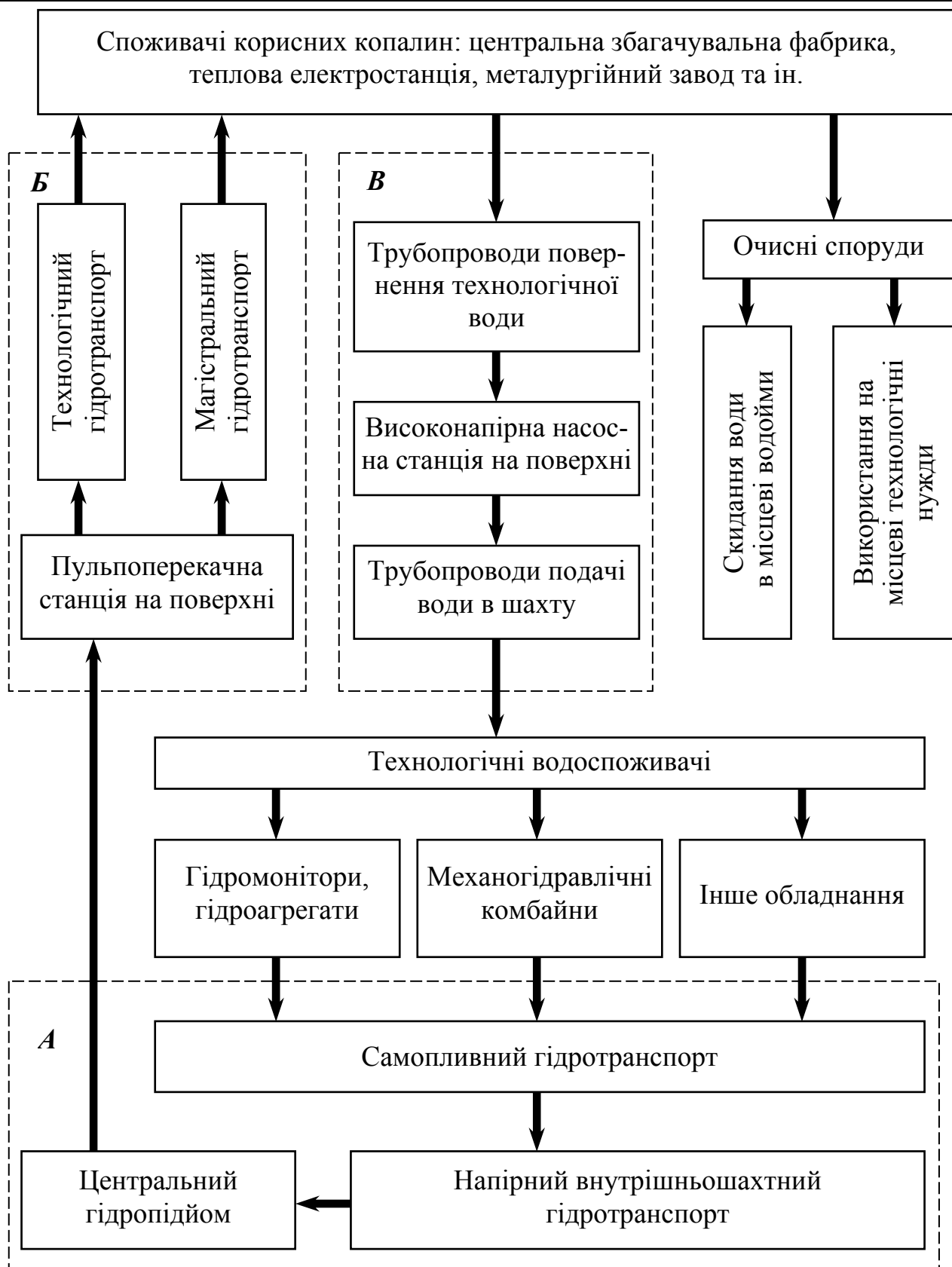


Рисунок 1.18 – Принципова технологічна схема гідравлічного видобутку:
 А – внутрішньошахтний транспорт; Б – зовнішній транспорт;
 В – технологічне водопостачання

Таблиця 1.11 – Гірничо-геологічні умови застосування систем розробки вугілля

Система розробки і спосіб відбивання	Гірничо-геологічні умови застосування систем розробки і способів відбивання вугілля					
	Кут залягання пласта, градус	Потужність пласта, м	Будова пласта	Міцність вугілля	Стійкість порід, що вміщують	Порушеність пласта
Короткі очисні вибої						
Гідравлічне відбивання при тиску води, МПа: 10 15 20	—	Більше 0,4	—	1,1 1,4 —	—	—
Механогідравлічне відбивання сучасними комбайнами	8 ... 15	0,8...3,0	Без колчеданів і інших твердих включень	—	Не нижче середньої стійкості	—
Проектованими комбайнами (прогноз)	8 ... 25	0,4...0,8		—		—
Машинами комбінованого відбивання	8 ... 25	—		—		—
Лави						
Комплексна механізація	0 ... 15	0,7...3,0 без значних відхилень	Без колчеданів і інших твердих включень	До 3	Не обмежена при залишенні пачки вугілля в покрівлі	Поле по простяганню без порушень не менше 800...1200 м

Прочерк означає, що дана умова не є обмежуючою, тобто показник може бути будь-яким

Гідрошахта Тирганська (Росія). Особливістю технологічної схеми гідрошахти Тирганська, рис. 1.20, є виділення з пульпи, що надходить з вибою, крупних сортів, які зневоднюються і видаються на поверхню звичайними видами транспорту. Дрібне вугілля (менше 3 мм) з водою видається вуглесосами по пульпопроводам на комплекс, що зневоднює.

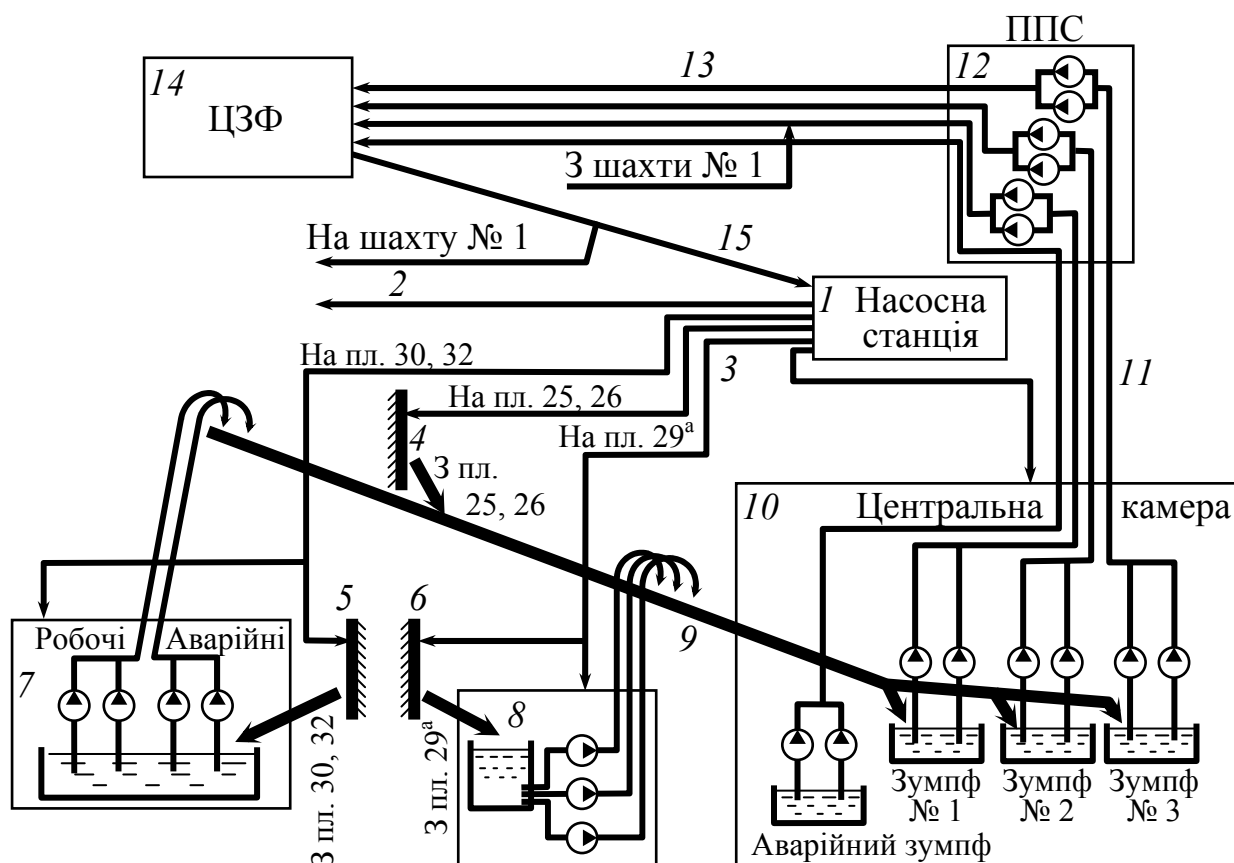


Рисунок 1.19 – Схема гідрошахти Ювілейна: 1 – високонепірна насосна станція; 2, 3 – високонепірні водопроводи на блоки № 1 і №2 відповідно; 4, 5, 6 – вибої; 7, 8 – камери гідропідйому в уклонних полях; 9 – система самопливного гідротранспорту; 10 – центральна камера гідропідйому; 11 – пульпопроводи; 12 – перекачувальна станція на поверхні; 13 – магістральні пульпопроводи на ЦЗФ Західносибірського металургійного заводу; 14 – збагачувальна фабрика; 15 – водопроводи повернення технічної води

Така схема дозволяє уникнути здрібнення вугілля під час гідротранспортування вуглесосом, а також покращує умови роботи вуглесоса.

Відпрацьована вода повертається у шахту, при чому тиск, необхідний для роботи гідромонітора, створюється двома послідовно включеними насосами — перший на поверхні, другий під землею.

Гідрошахта Червоноармійська (Україна). Особливістю технологічної схеми гідрошахти Червоноармійська є використання у якості підйомної установки односекційного ерліфта, який забезпечує видачу пульпи із шахти на висоту 400 м і передачу її на збагачувальну фабрику, рис. 1.21. Транспортування пульпи від вибоїв до зумпфів ділянкових вуглесосних станцій — самопливне, далі до зумпфа ерліфтів — напірне. Розташування повітровіддільника ерліфта на копрі висотою 70 м дозволяє здійснити також самопливне транспортування пульпи

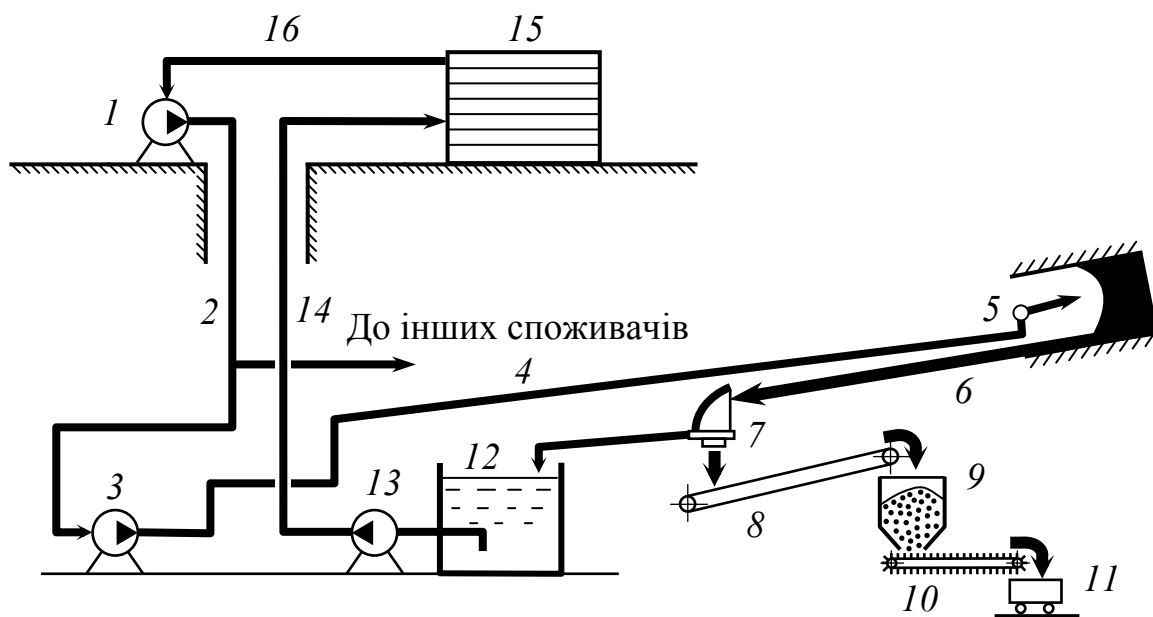


Рисунок 1.20 – Схема гідрошахти Тирганська: 1 – насосна станція на поверхні; 2 – водопровід технологічної води середнього напору; 3 – підземна насосна станція; 4 – водопровід високонапірної технологічної води (10...16 МПа); 5 – гідромонітор; 6 – ділянковий пульпопровід; 7 – сито типу СДО; 8 – скребковий конвеєр; 9 – бункер вугілля класу +3 мм; 10 – живильник; 11 – підземне відвантаження зневодненого вугілля; 12 – зумпф готової гідросуміші; 13 – вуглесос гідропідйому; 14 – пульпопровід гідропідйому; 15 – комплекс, що зневоднює; 16 – водопровід повернення технологічної води

до збагачувальної фабрики. Ерліфтний гідропідйом має більшу надійність та пропускну здатність у порівнянні з підйомом пульпи вуглесосами, але збільшує витрати електроенергії — для живлення ерліфтів стисненим повітрям встановлено потужну компресорну станцію, яка складається з десяти турбокомпресорів *K-500-61-1*.

Розмаїття гірничо-геологічних умов, можливість застосування різних технічних і технологічних рішень у залежності від споживчих вимог на вугілля, що видобувається, створюють ряд можливих сполучень засобів відбивання, транспортування і підйому вугілля при гідравлічній технології видобутку.

Основними процесами при гідромеханізації для будь-якого способу розробки є: руйнування гірського масиву і відділення корисної копалини, гідротранспорт гірської маси, збагачення, технологічне водопостачання, укладання породи у відвали.

На рис. 1.22 показано узагальнену схему можливих сполучень варіантів технологічних рішень у залежності від гірничо-геологічних і технічних факторів і вимог на якість вугілля у споживача.

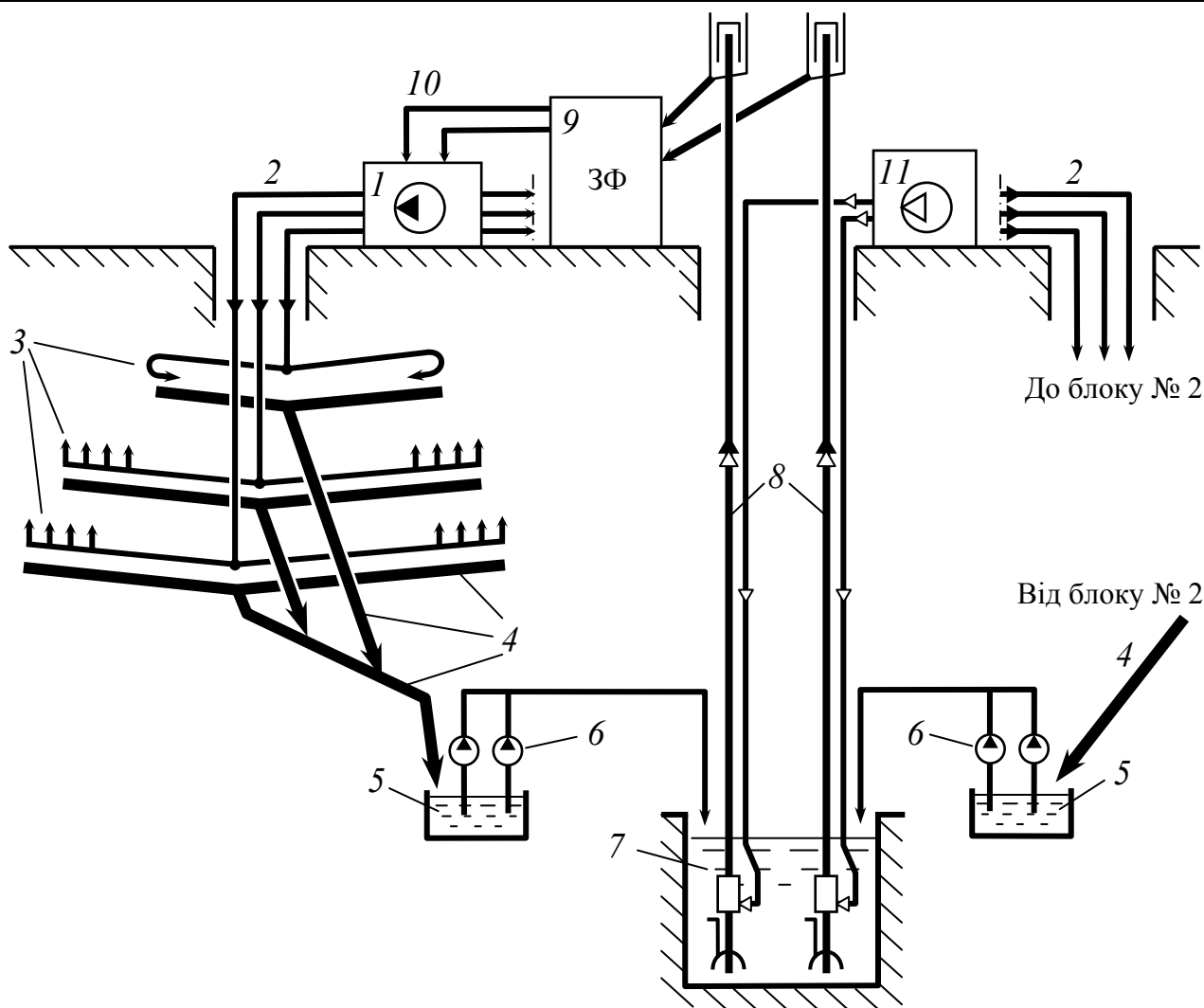


Рисунок 1.21 – Схема гідрошахти Червоноармійська: 1 – високонапірна насосна станція; 2 – високонапірні водопроводи; 3 – вибої; 4 – система самопливного транспорту; 5 – зумпфи ділянкових вуглесосних станцій; 6 – ділянкові вуглесосні станції; 7 – зумпф ерліфтів; 8 – ерліфти; 9 – збагачувальна фабрика; 10 – водопроводи повернення технологічної води; 11 – компресорна станція

1.4.2 Системи підземної гідравлічної розробки

В умовах гідрошахт дистанційна виїмка гідромоніторами в очисних вибоях без присутності в них людей і без кріплення привибиїного простору реалізується при системах розробки короткими стовпами по простяганню або по падінню, оскільки розмір очисного вибою при гідровідбійці не перевищує ефективної довжини струменя.

Геометрична основа елементів системи і всієї системи в цілому визначається гірничо-геологічними умовами і способом очисної виїмки. Системи розробки при гідромеханізації принципово відрізняються від систем, застосовуваних на шахтах зі звичайною технологією видо-

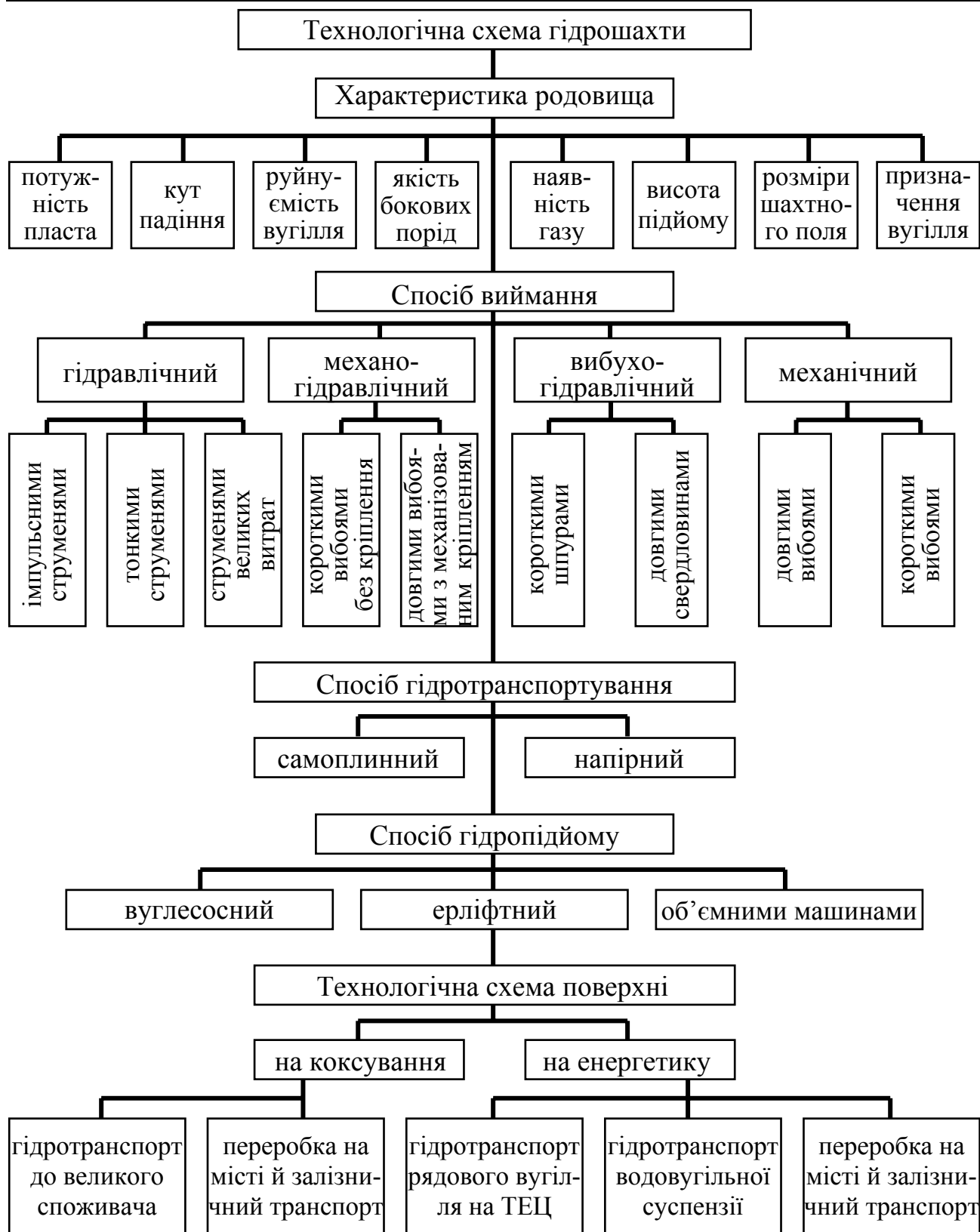


Рисунок 1.22 – Схема можливих варіантів технологічних рішень

бутку, по способу і техніці виїмки вугілля в очисному вибої, де виконується основний технологічний процес. Люди і механізми в очисному вибої відсутні.

При цьому кріплення приви́бійного простору, як правило, не робиться. При виборі системи розробки враховуються: кут падіння і потужність пласта, міцність порід, що вміщають, і вугільного пласта, газоносність родовища. За умовами транспортування корисної копалини застосування гідровидобутку найбільш ефективно при забезпеченні *безнапірного гідротранспорту* (самопливом) відбитого вугілля як в очисному вибої, так і по прилягаючих пластових виробках з кутами падіння пластів більше 6° . Потужність пласта впливає з погляду вибору способу проведення нарізних виробок. При потужності пласта менше 0,8 м необхідно відпрацювання пластів робити короткими вибоями з застосуванням гідромоніторних агрегатів і виймальних машин з дистанційним керуванням (безлюдна виїмка вугілля).

Стійкість порід, що вміщують, є одним з основних факторів, оскільки очисні роботи ведуться без кріплення виробленого простору. Підвищений обсяг нарізних виробок, проведених до ведення в них очисних робіт, сприяє ефективній дегазації вже в період підготовки виймальних ділянок. Крім того, на пластах, схильних до раптових викидів вугілля і газу, застосування дистанційної виїмки вугілля гідромоніторними агрегатами забезпечує безпечне ведення робіт.

При гідромоніторній виїмці вугілля розміри заходок залежать від робочих параметрів гідровідбійки (діаметр струменя, відстань від насадки гідромонітора до вибою, тиск води, швидкість переміщення струменя по вибою та ін.), кута падіння і потужності пласта, фізико-механічних властивостей вугілля і стійкості бічних порід. Діагональ заходки повинна дорівнювати ефективній довжині гідромоніторного струменя і площа заходки не повинна бути більше стійкої площі оголення.

Спочатку ведеться виїмка вугілля в першій заходці, розташованій наприкінці просіка, у чотири прийоми (спочатку роблять пробій порожнини) і далі в наступних за нею, рис. 1.23.

Для забезпечення безнапірного транспорту відбитого вугілля виробки, якими здійснюється гідротранспорт — печі, просіки, штреки, що акумулюють — повинні мати ухил не менше мінімального гідравлічного ухилу для безнапірного гідротранспорту вугілля: $i = 0,05 \dots 0,10$. Ухил виробки, що проходиться по пласту, залежить від кута проведення виробки у площині пласта α та кута падіння пласта β , рис. 1.24. З прямокутних трикутників ABD , BCD та ABC маємо: $BD = AB \cdot \sin \gamma$, $BD = BC \cdot \sin \beta$ та $BC = AB \cdot \sin \alpha$, звідки $\sin \gamma = \sin \alpha \cdot \sin \beta$. Оскільки $\sin \gamma = i$ — похил виробки, маємо

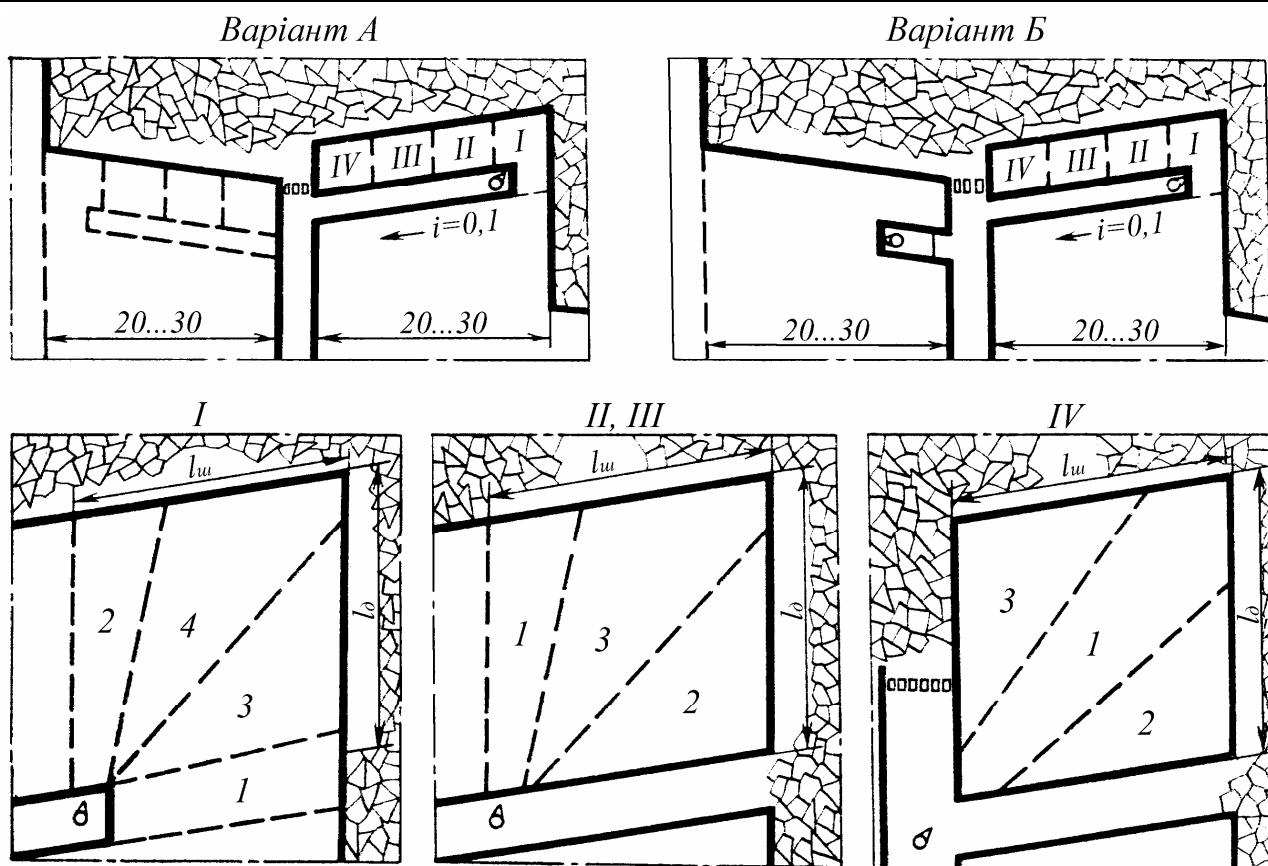


Рисунок 1.23 – Схеми виймання вугілля у заходках: *I ... IV* – порядок відпрацювання заходки; *1 ... 4* – порядок виймання вугілля в окремих частинах заходки

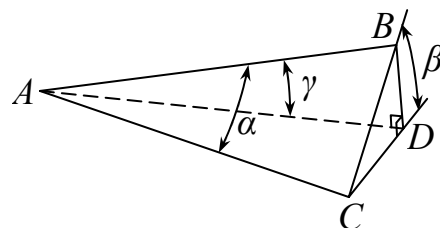
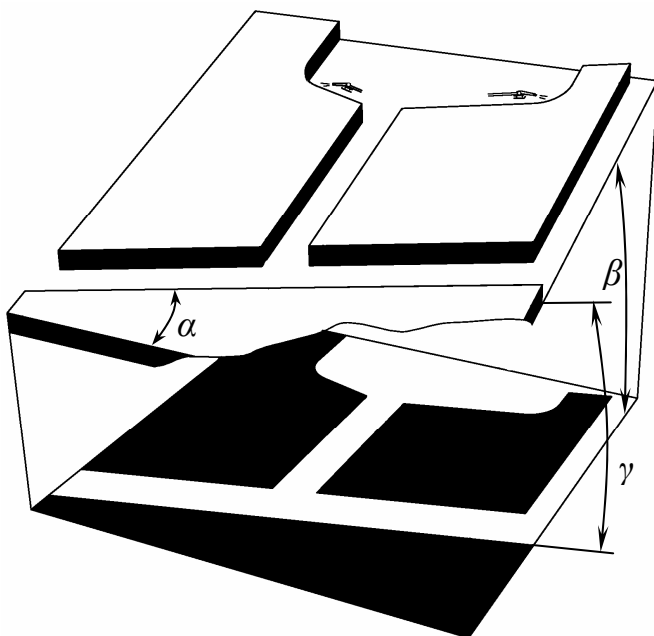


Рисунок 1.24 – До визначення кута проходження виробки з умови безнапірного гідротранспорту

$$i = \sin \alpha \cdot \sin \beta, \quad \text{або} \quad \sin \alpha = i / \sin \beta \quad (1.5)$$

Для певного пласта, що має кут падіння β , задавшись мінімальним гідравлічним ухилом $i_{\min}$, матимемо мінімальний кут проведення виробки $\alpha_{\min}$, табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Мінімальний кут проведення виробок до напрямку простягання пласта з умови гідротранспорту

Ухил $i_{\min}$ (кут γ)	Кут падіння пласта										
	3°	4°	5°	6°	7°	8°	10°	20°	30°	40°	50°
0,05 (2,9°)	73°	46°	35°	29°	24°	21°	17°	8°	6°	4°	4°
0,08 (4,6°)	—	—	67°	50°	41°	35°	27°	14°	9°	7°	6°
0,10 (5,7°)	—	—	—	73°	55°	46°	35°	17°	12°	9°	8°

Прочерк означає, що за даних умов безнапірний гідротранспорт неможливий

На пологістих пластах слід проводити виробки під значним кутом до напрямку простягання пласта. На пластах з кутом падіння менше 6° забезпечити безнапірний гідротранспорт по всіх виробках практично неможливо. На крутих пластах виробки можна проводити під кутом, що близький до мінімального гідравлічного похилу.

З численних варіантів систем розробки у Донбасі найбільш розповсюдженими в залежності від гірничо-геологічних умов є:

— на пологістих і похилих пластах — система розробки *короткими стовпами по падінню* з гідровідбійкою вугілля зі спарених печей або з виїмкою вугілля з печей і просіків;

— на крутих пластах — система розробки з *підповерховою гідровідбійкою*.

Система розробки *короткими стовпами по падінню з виїмкою вугілля з печей і просіків* упроваджена на гідрошахтах “Піонер” та “Червоноармійська”. Для підготовки виймальних стовпів між штреком, що акумулює, і вентиляційним штреком, проводяться виймальні печі, рис. 1.25. Відстань між печами 20 м. Через 30 м по підняттю печі збиваються вентиляційними просіками. Ширина печей складає 2,5 ... 3 м, а просіків — 2 ... 2,5 м. Для підвищення стійкості виймальні печі через одну проводяться з підриванням бічних порід і кріпляться неповною рамою. Очисні і нарізні роботи ведуться гідромоніторами ГМДЦ-3М або ПІ-4. Одночасно в роботі в ярусі знаходяться один очисний гідромонітор і два нарізних.

Заходки виймаються у шаховому порядку: спочатку зі сторони масиву вугілля, потім гідромонітори пересуваються униз на 3 ... 3,5 м і починається виїмка заходки зі сторони виробленого простору. В деяких випадках через слабку покрівлю виїмка заходок безпосередньо з печей неможлива. Тому спочатку проводиться збійка довжиною 2 ... 4 м, куди переноситься гідромонітор, і з неї починається

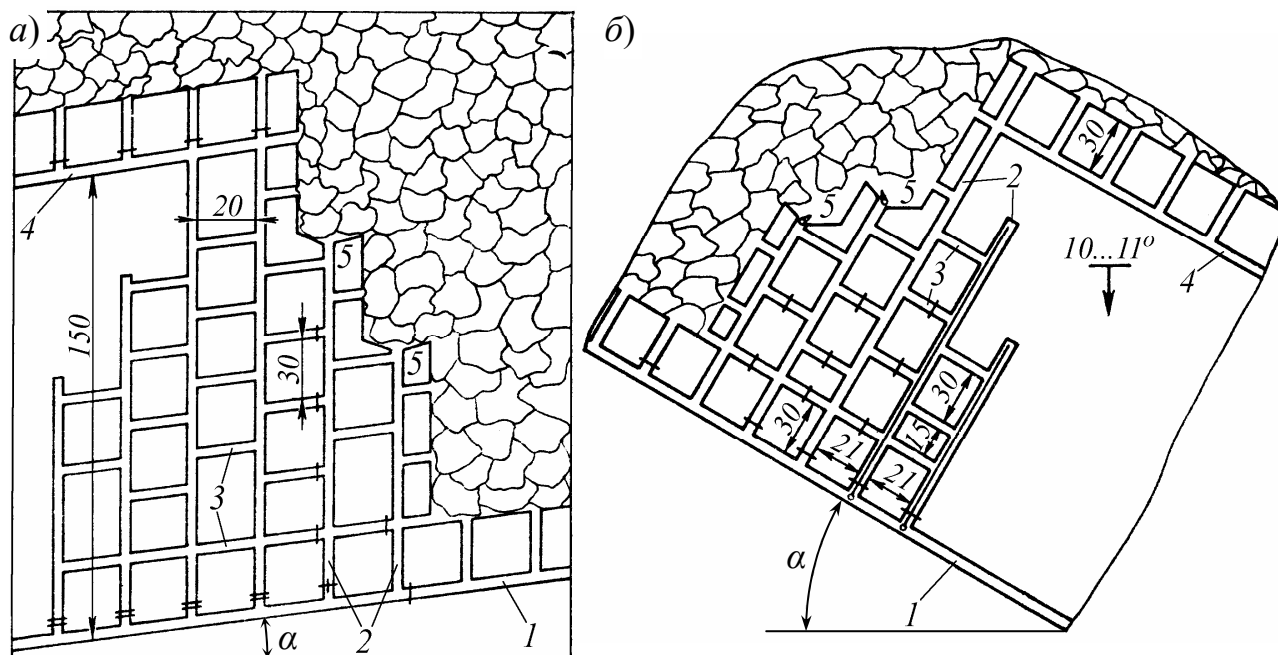


Рисунок 1.25 – Системи розробки похилих та положистих пластів короткими стовпами з вийманням з печей та просіків по падінню (а) та по діагоналі (б): 1 – штрек, що акумулює; 2 – печі; 3 – просіки; 4 – вентиляційний штрек; 5 – гідровибой

виймка цілика. Після відпрацьовування заходки гідромонітор встановлюється в печі і погашається цілик, що залишився вище збійки. Потім укорочується став і робиться пересувка гідромонітора вниз по печі для виймки заходки з протилежної сторони.

При проведенні печей, по падінню, а штреків, та просіків, — під кутом α до напрямку простягання пласта (з умови безнапірного гідротранспорту), рис. 1.25 а, цілики, що залишаються, мають форму прямокутних паралелограмів. На похилих пластах, де цей кут складає $8 \dots 20^\circ$, їхня форма близька до прямокутної. На положистих пластах, де штреки та просіки треба проходити під кутом від 20° до 45° , см. табл. 1.12, впровадження такої схеми призведе до отримання ціликів у формі витягнутих паралелограмів, які незручно виймати. Тому при вийманні положистих пластів (наприклад, пласт m_5^1 на шахті “Червоноармійська”) застосовується система розробки короткими стовпами з вийманням *по діагоналі* з печей та просіків, рис. 1.25 б. По цій схемі печі проходять перпендикулярно до штреку, що акумулює. Це дозволяє забезпечити безнапірний гідротранспорт як по печах, так і штреком, що акумулює, а також отримати цілики прямокутної форми.

При розробці крутих пластів найбільше поширення знайшла система розробки *короткими стовпами по простяганню з підповерховою гідровідбійкою*. Це зумовлено тим, що при системі під-

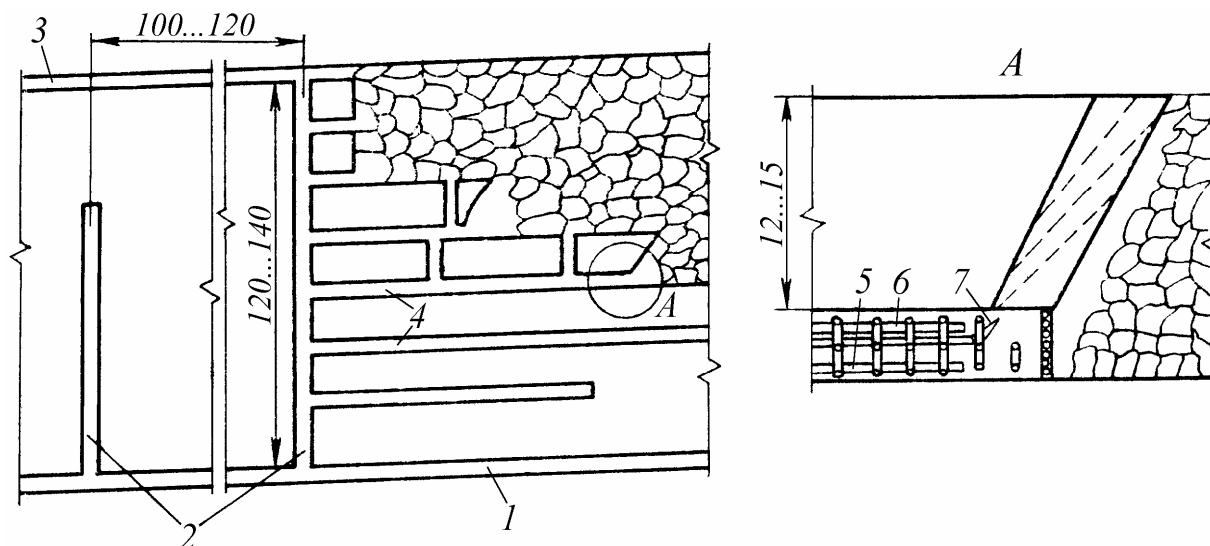


Рисунок 1.26 – Система розробки крутих пластів короткими стовпами по простяганню з підповерховою гідровідбійкою: 1 – штрек, що акумулює; 2 – блокові печі; 3 – вентиляційний штрек; 4 – підповерхові штреки; 5 – жолоб; 6 – вентиляційний став; 7 – гідромонітор

поверхової гідровідбійки в максимальному ступені використовуються переваги дистанційної виїмки вугілля гідромоніторними струменями, і відпрацювання крутих пластів здійснюється не з похилих підняткових виробок, а з горизонтальних, що є головним у підвищенні безпеки праці робітників, зайнятих на підготовчих, монтажних-демонтажних і очисних роботах.

Гідрошахта їм 50-річчя СРСР у Донбасі відпрацьовувала пласт потужністю 0,76—1,9 м з кутом падіння до 60°. При системі розробки з підповерховою гідровідбійкою ярус розкривається вентиляційним штреком та штреком, що акумулює, і по простяганню розділяється на блоки шириною 120 м проведенням блокових печей, рис. 1.26. Із блокових печей через 10 ... 15 м за підняттям проводяться підповерхові штреки. Відпрацювання здійснюється зворотним ходом.

На гідрошахтах Кузнецького басейну широко застосовуються: система розробки стовпами за простяганням з однобічною виїмкою гідромоніторами; система розробки діагональними стовпами з комбінованими заходками, при блоковій схемі підготовки; система розробки за підняттям з однобічною виїмкою механогідравлічними комбайнами і система розробки підповерховою гідровідбійкою під гнучким перекриттям, змонтованим в одній площині.

При відпрацюванні потужних положистих пластів на гідрошахтах Кузбасу найбільш широке поширення знайшли системи з виїмкою вузьких діагональних смуг однобічними заходками гідро-

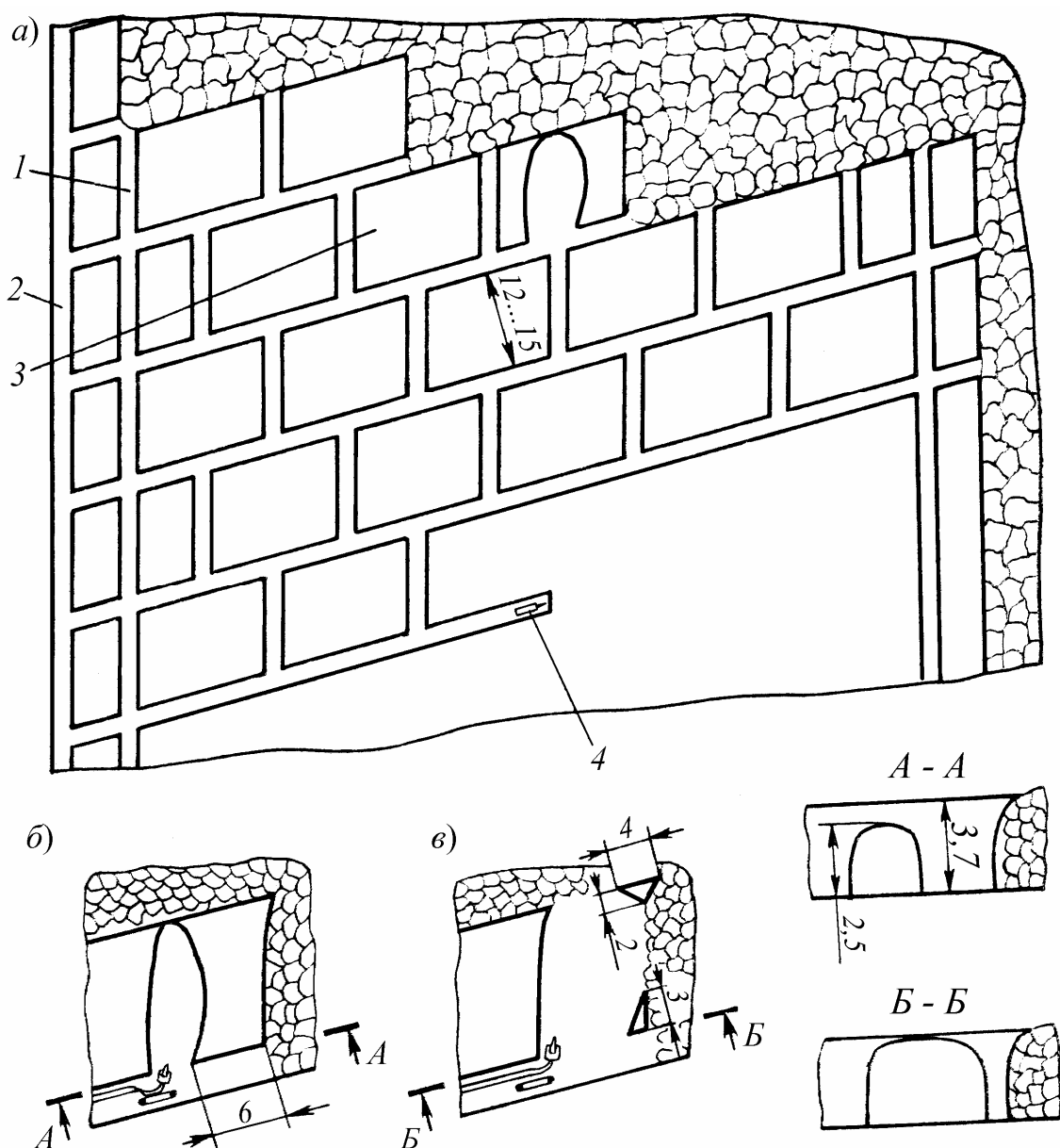


Рисунок 1.27 – Система розробки потужних положистих пластів з однією виїмкою гідромоніторами (а); проведення первинної збірки-підсікання (б) та погашення підзавальних ціликів і стеліни (в):

1 – пульпокидна піч; 2 – ходова піч; 3 – блок; 4 – комбайн К-56МГ

моніторами, рис. 1.27 а. Така система застосовується на гідрошахті «Ювілейна» при відпрацьовуванні пласта 29^А потужністю 3,5 ... 4,1 м з кутом падіння 8 ... 18°. Підготовка виймальної ділянки робиться блоками, обмеженими за падінням штреком, що акумулює, і вентиляційним штреком, за простяганням — пульпокидною і ходовою блоковими печами. Виробки проводяться за допомогою механо-гідролічного комбайна К-56МГ і кріпляться анкерами з затягуванням покрівлі металевою сіткою.

Підготовлені блоки відпрацьовуються послідовно, починаючи від границь панелі до бремсбергів. Одночасно в одній панелі в роботі може знаходитися два-три блоки.

Очисний фронт, підготовляється комбайнами *К-56МГ*, якими проводяться виймальні штреки через кожні 12 ... 15 м від пульпо-скидної печі. Для провітрювання і забезпечення запасного виходу виймальні штреки з'єднуються між собою збійками через 12 ... 15 м.

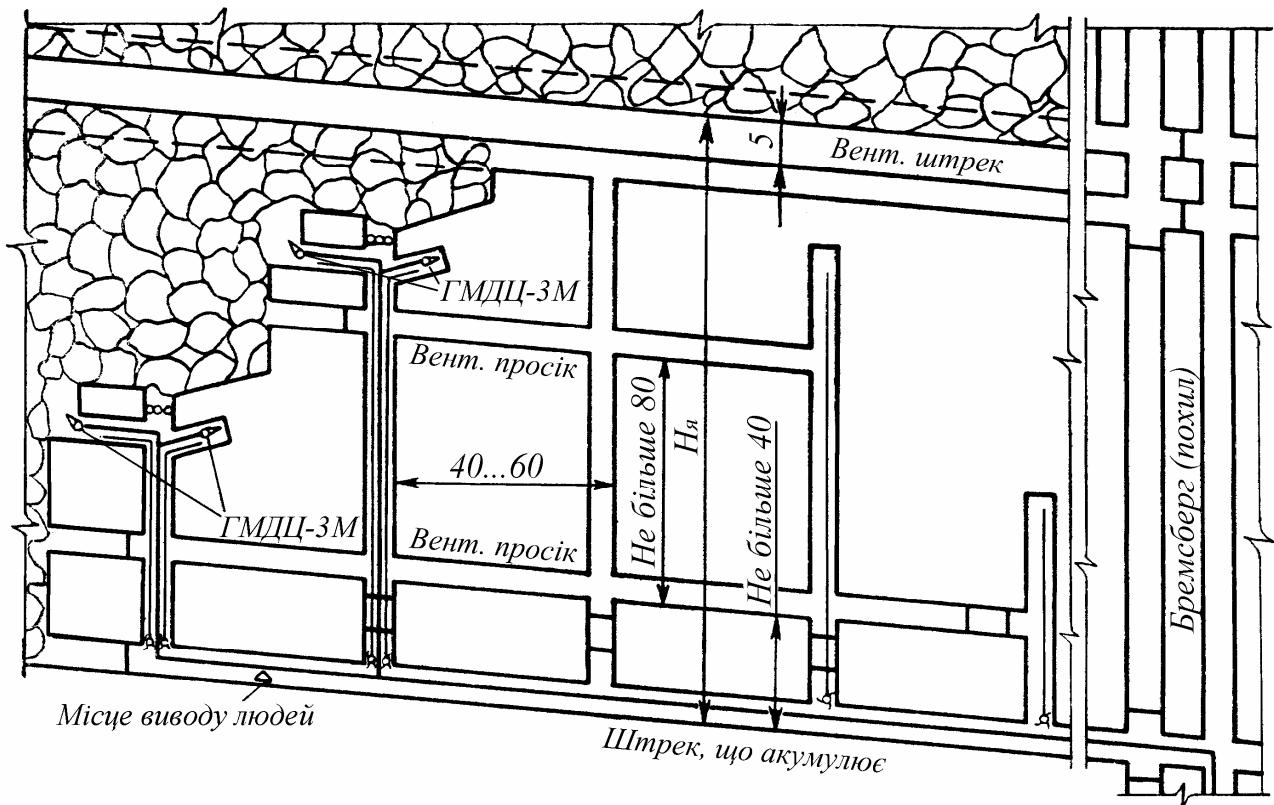
Виймка вугілля в заходці починається з відбійки первинної ніші, збійки-підсікання шириною 3 ... 4 м і висотою 1,5 ... 2 м, рис. 1.27 б. Потім висоту ніші збільшують до 3,5 м, залишаючи стелину і не розкриваючи виробленого простору попередньої заходки. В останню чергу виймаються цілики по контуру заходки і вугілля, що залишилося у стелині заходки і виймального штреку, аж до посадки покрівлі, рис. 1.27 в. Після закінчення виймки вугілля в заходці виконуються допоміжні операції — укорочування водоводу, перенесення гідромонітора, маслонасосної станції з пультом керування та їх установка на новому місці.

Ці системи розробки, як показав досвід їхнього застосування, дозволяють одержати високі техніко-економічні показники і здійснити концентрацію гірничих робіт. Вони створюють сприятливі умови для якісного резервування очисних вибоїв і максимального використання виймальної техніки і технологічної води, більш пристосовані до різних порушень і змін гірничо-геологічних умов.

Для дуже складних гірничо-геологічних умов, де через передчасне «здавлювання» нарізних вироблень виникає необхідність повторного проведення виймальних печей (нарізних вироблень) «вприсічку», значно погіршуються техніко-економічні показники, а також погіршується безпека ведення робіт. На підставі проведених досліджень, виконаних УкрНДГідровугіллям, була розроблена технологічна схема для застосування в умовах пологістих пластів потужністю 0,8 ... 1,8 м на шахтах до III категорії, включаючи пласти з кутом падіння 6 ... 20°, рис. 1.28.

Для відпрацьовування в даних гірничо-геологічних умовах технологічною схемою прийнята система розробки короткими стовпами за простяганням з виймкою вугілля гідромоніторами з просіків. При цій системі ярус за простяганням поділяється на блоки шириною 40 ... 60 м. На усю висоту ярусу за падінням пласта в центрі блоку проводиться блокова піч. Блоки розділяються на виймальні стовпи за допомогою проведення виймальних просіків за простяганням в оби-

а)



б)

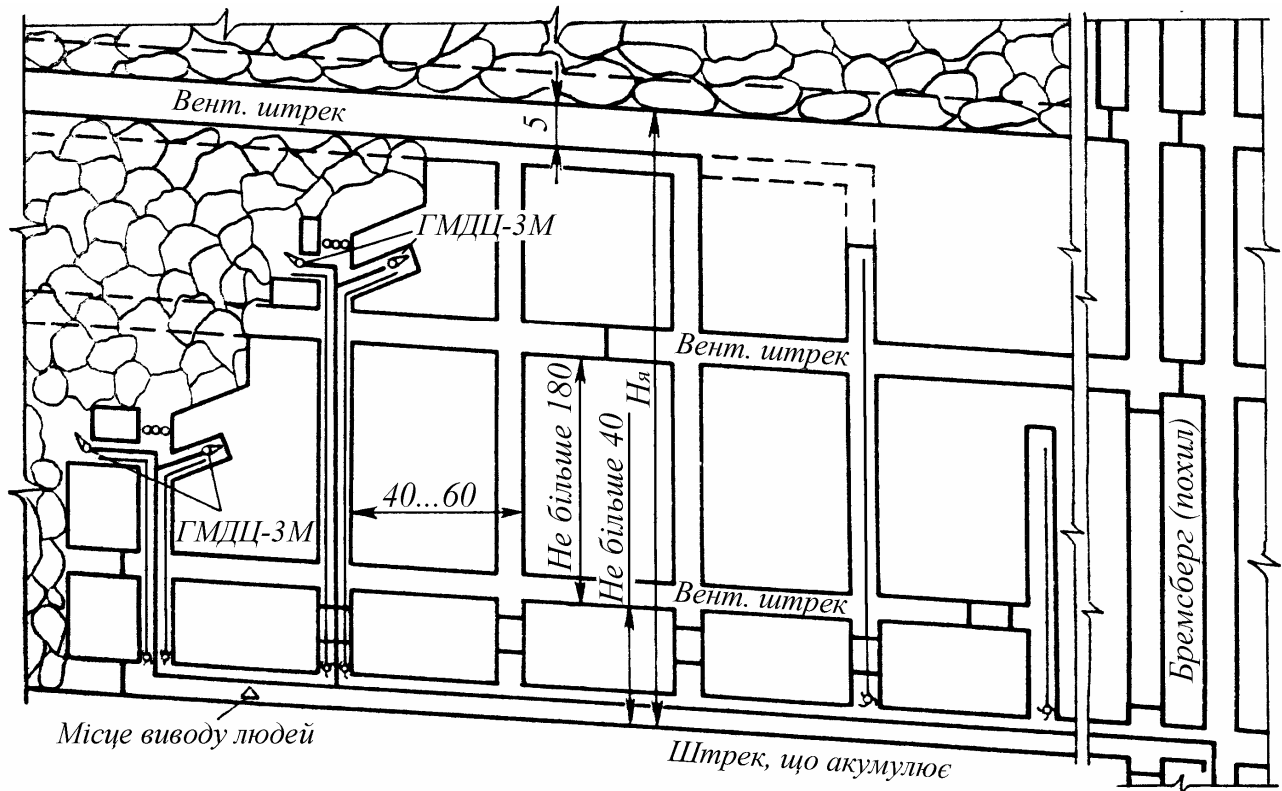


Рисунок 1.28 – Система розробки положистих пластів з нестійкими породами покрівлі: варіант I (а) та варіант II (б)

два боки від блокової печі; устя їх зміщаються за падінням друг щодо друга не менш, ніж на 3 м. Відпрацювання виймальних стовпів ведеться по черзі в спадному порядку, блоків у ярусі — зворотним ходом.

Для застосування на гідрошахтах рекомендуються два варіанти даної системи розробки, що забезпечуються розташуванням підготовчих вироблень у полі ярусу. У першому варіанті, рис. 1.28. а, вентиляційний штрек проводиться по верхній границі ярусу, а ярус за падінням розділяється вентиляційними просіками на три частини. Одна блокова піч, проведена на усю висоту ярусу, забезпечує видачу відпрацьованого повітря на вентиляційний штрек.

В другому варіанті, рис. 1.28. б, на верхній границі ярусу періодично проводиться вентиляційний просік, а вентиляційний штрек — на відстані 60 м за падінням від нього, з'єднується з вентиляційним штреком блоковою піччю, проведеною на усю висоту ярусу. Цей варіант рекомендується застосовувати при утрудненні підтримання вентиляційного штреку у верхньої границі ярусу.

Розмір виймального стовпа за підняттям рекомендується не менш 5 м, а тривалість відпрацювання виймального стовпа — не більше двох діб.

У числі перспективних є системи розробки короткими стовпами за падінням (простяганням), що передбачають дистанційну виїмку вугілля гідромоніторними агрегатами *ГВД* і *АГС* без постійної присутності людей в очисних вибоях (безлюдна виїмка).

Сутність технології свердловинного гідравлічного видобування вугілля агрегатом *АГС* полягає в тому, що струменями води зі штреку, що акумулює, робиться гідравлічне буріння свердловин за підняттям пласта до вентиляційного штреку. Після заміни на вентиляційному штреку бурового органа на виймальний зворотним ходом ведеться очисна виїмка за допомогою струменя води смугами шириною 1 м і довжиною в 6 ... 15 м у залежності від ефективності при однобічній і 15 ... 25 м при двосторонньої гідровідбійці вугілля. Керування покрівлею здійснюється за допомогою перепуску породи і залишення у виробленому просторі технологічних ціликів, рис. 1.29. Після відбійки виймального стовпа агрегат пересувають по штреку і цикл робіт повторюється. Обслуговують агрегат двоє робітників.

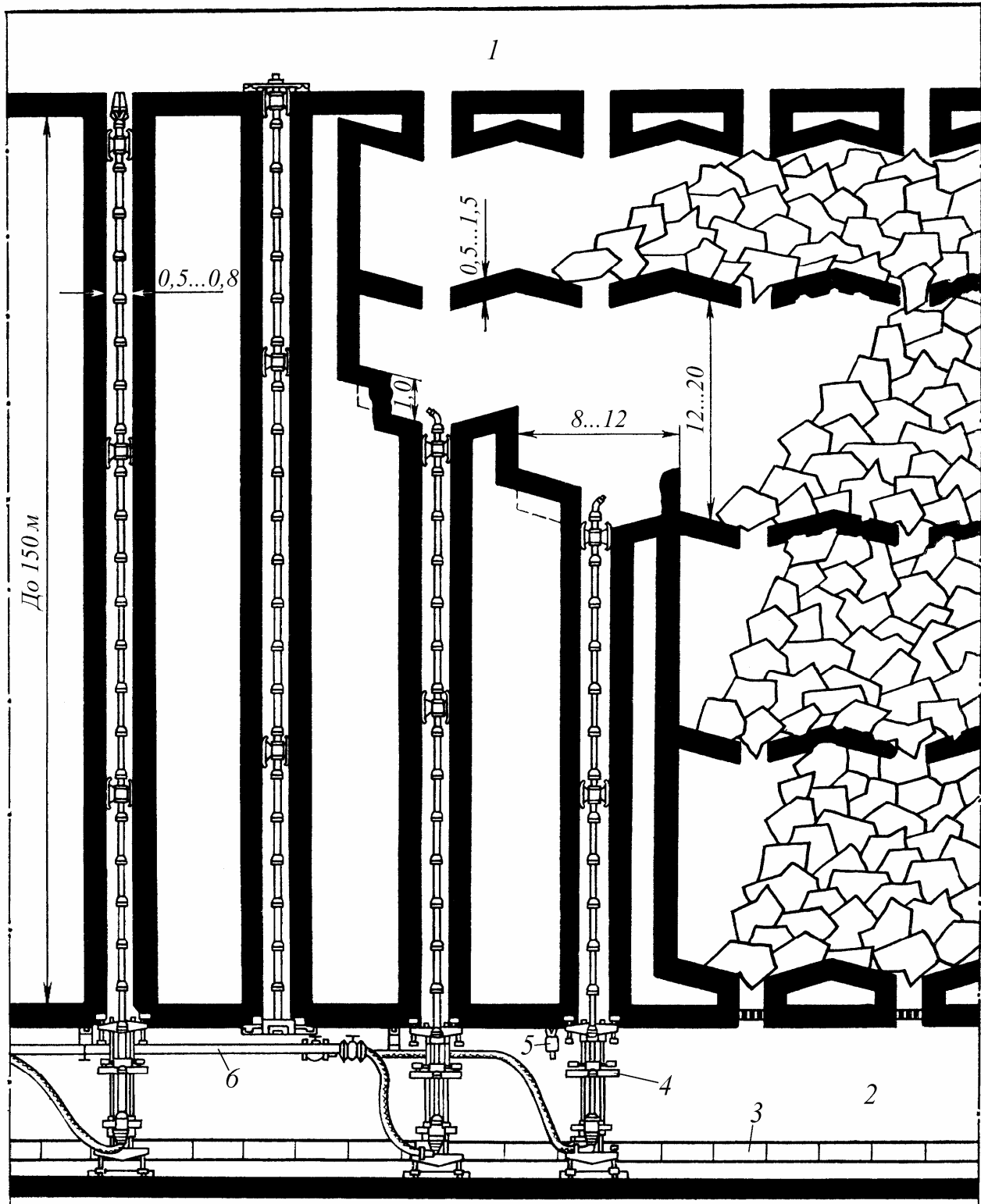


Рисунок 1.29 – Схема технології свердловинного гідравлічного виймання:
 1 – вентиляційний штрек; 2 – штрек, що акумулює; 3 – жолоб;
 4 – гідромоніторний агрегат; 5 – пульт керування; 6 – став

1.4.3 Сучасні технологічні схеми підземної розробки

На гідрошахтах Донбасу і Кузбасу випробувано безліч варіантів технологічних схем гірничих робіт у коротких вибоях. У процесі їхнього застосування окремі рішення очисної виїмки вугілля за допомогою гідромеханізації піддавалися значним змінам. На підставі проведеного великого обсягу пошуку і виробничого експерименту різних способів відпрацьовування пластів і варіантів технологічних схем приймалися для експлуатації найбільш раціональні. На підставі проведеного аналізу ефективність технологічних схем визначається величиною економічного результату стосовно виробничої сукупності витрат у визначених гірничотехнічних і природних умовах, що виражається в підвищенні продуктивності праці робітника, зниженні собівартості 1 т вугілля, поліпшенні використання капітальних вкладень, зниженні термінів підготовки виймальних ділянок і поліпшенні інших техніко-економічних показників.

У результаті багаторічного досвіду застосування і постійного удосконалювання гідравлічного способу видобування вугілля і техніко-економічних вишукувань оптимальних параметрів систем розробки й елементів очисних вибоїв у кожному окремому випадку, УкрНДГідровугіллям розроблені найбільш ефективні технологічні схеми, зображені на рис. 1.30...1.33. Як показала практика, найбільш ефективними є схеми з гідромоніторною виїмкою вугілля в очисних вибоях. Нарізні вироблення по цих схемах проводяться комбайнами «Урал-38» або гідровідбійкою.

Зростання навантаження при застосуванні технологічних схем ґрунтується на доведенні основних параметрів систем розробки до оптимальних, збільшенні просування очисних вибоїв за рахунок інтенсивного використання техніки гідровидобування при науковій організації робіт. У результаті застосування технологічних схем, якими передбачено зростання видобутку, а також наукової організації праці продуктивність праці робітника на вихід збільшується в середньому в 1,7...2,2 рази у порівнянні з рівнем, досягнутим на шахтах звичайної технології.

Таким чином, широкі впровадження технологічних схем дозволить досягти високої ефективності очисної виїмки вугілля в коротких вибоях, поліпшити планування гірських робіт і підвищити їхню інтенсифікацію і концентрацію, знизити експлуатаційні втрати вугілля і поліпшити інші якісні і кількісні показники роботи гідродільниць та гідрошахт.

Таблиця 1.13 – Характеристика та умови застосування технологічних схем підземної розробки вугілля

Показник	Технологічна схема			
	рис. 1.30	рис. 1.31	рис. 1.32	рис. 1.33
Потужність пласта, м		рис. 1.31 0,8 ... 2,0	рис. 1.32	рис. 1.33 0,3 ... 2,0
Кут падіння, градус		6 ... 15	35 ... 90	10 ... 80
Міцність вугілля		До 1,5		До 1,0
Безпосередня покрівля		Від нестійкої до стійкої		Від середньої стійкості до стійкої
Безпосередня підшва		Від слабкої до міцної		Середньої міцності
Пилогазовий режим		Пласти, небезпечні по газу й пилу		
Багатогазність, м ³ /т		До 20		
Схема підготовки	Панельна		Поверхова, панельна	Без обмежень
Система розробки	Короткі стовпи по падінню		Довгі стовпи по простяганню	Панельна
Спосіб виймання	Гідромоніторна відбійка з печей і проскіків		Підповерхова гідро-моніторна відбійка	Короткі стовпи по падінню
Спосіб керування покрівлею	Повне обвалення			Безлюдне виймання агрегатом АГС
Довжина вибою, м	7 ... 9		10 ... 18	8 ... 15
Висота стовпа (ярусу, поверху), м	150 ... 250		150 ... 200	50 ... 150
Місячне просування ярусу (поверху), м	100 ... 140		75 ... 95	65 ... 150
Добовий видобуток, т	1000...1600		900 ... 1200	500 ... 800
Продуктивність праці робітника на вихід, т	29 ... 37		20 ... 28	26 ... 38

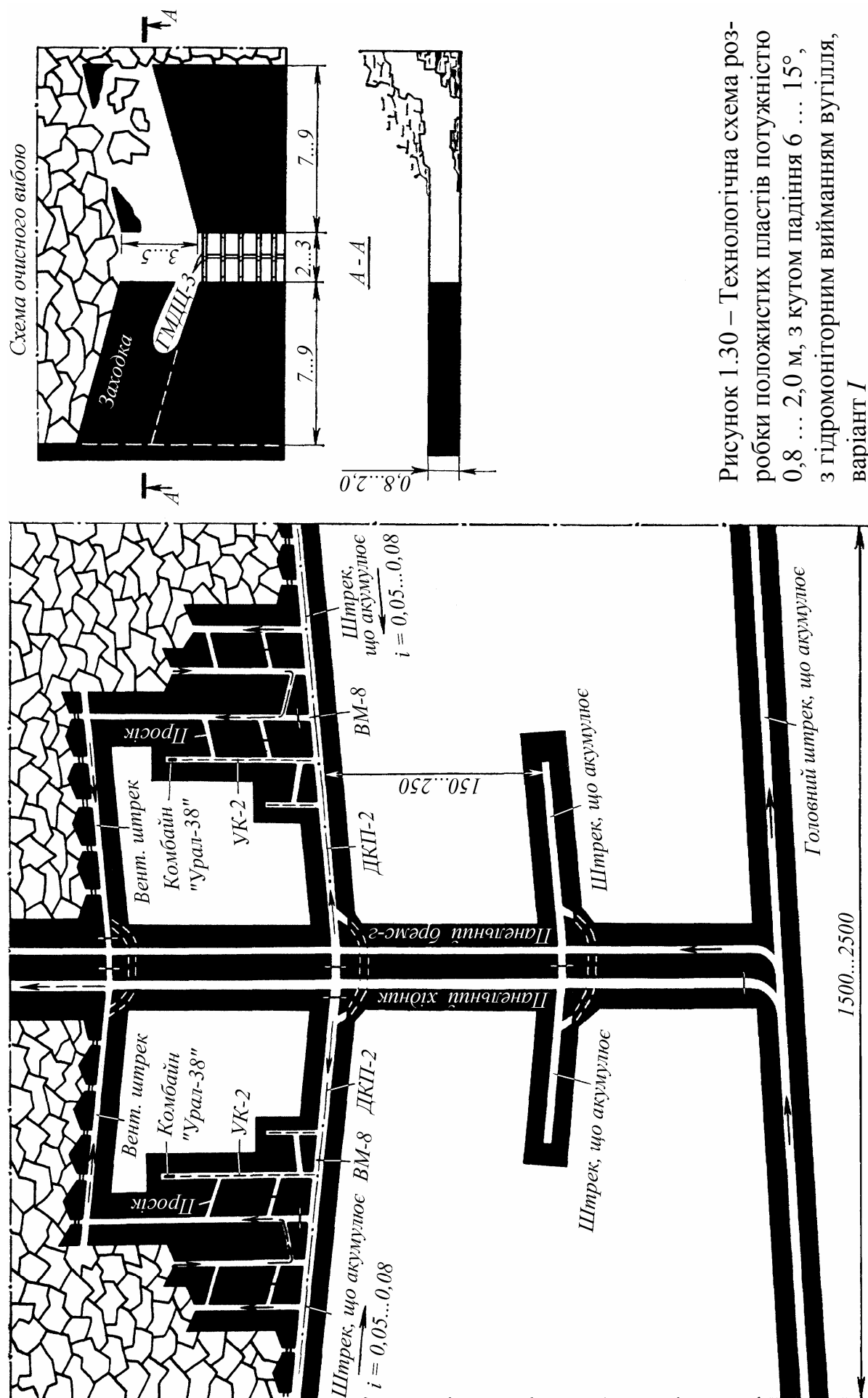


Рисунок 1.30 – Технологічна схема розробки пологістих пластів потужністю 0,8 ... 2,0 м, з кутом падіння 6 ... 15°, з гідромоніторним вийманням вугілля, варіант I

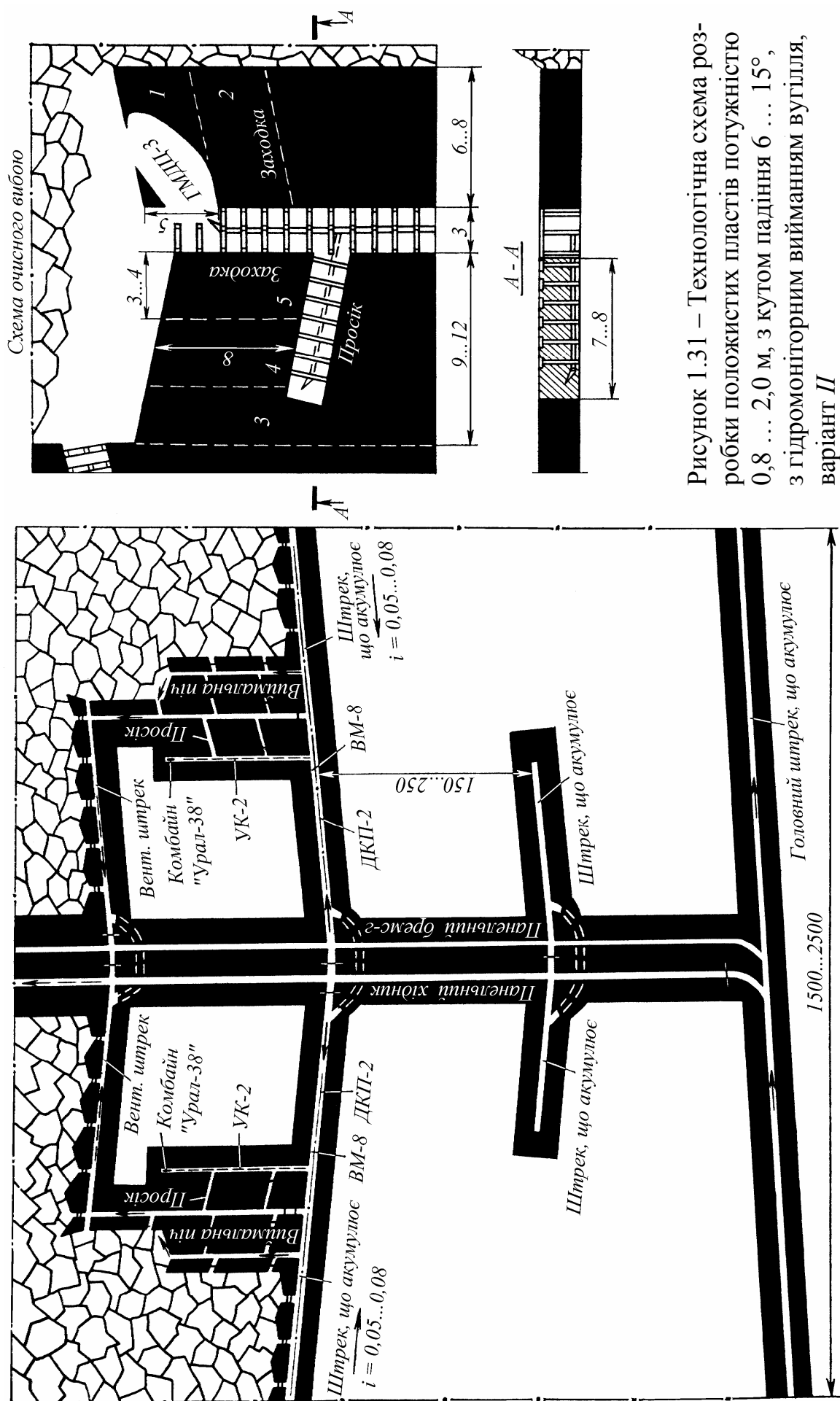


Рисунок 1.31 – Технологічна схема розробки пологистих пластів потужністю 0,8 ... 2,0 м, з кутом падіння 6 ... 15°, з гідромоніторним вийманням вугілля, варіант II

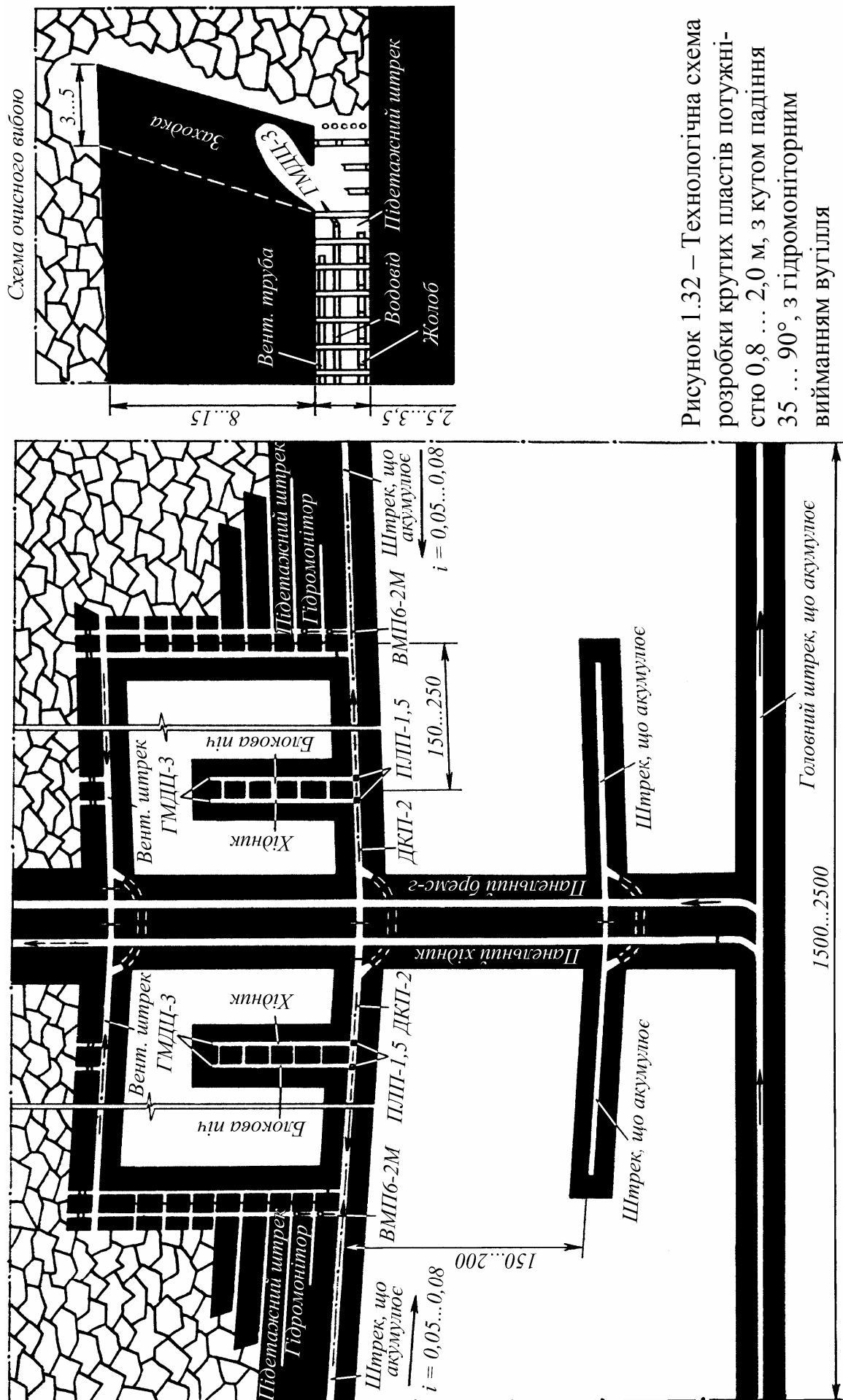


Рисунок 1.32 – Технологічна схема розробки крутих пластів потужністю 0,8 ... 2,0 м, з кутом падіння 35 ... 90°, з гідромоніторингом вийманням вугілля

1.5 Перспективні напрямки застосування гідромеханізації

1.5.1 Видобування корисних копалин зі дна морів та океанів

Незважаючи на значні запаси мінеральної сировини в материкових родовищах, усе більша увага фахівців приділяється проблемі видобування корисних копалин зі дна морів і океанів, які є великими потенційними і перспективними джерелами сировинних ресурсів.

Як показують результати пошуково-розвідувальних робіт і геологічних вишукувань, на дні Світового океану виявлені значні за обсягом родовища твердих корисних копалин. Так наприклад, у районах континентального шельфу при глибині моря до 200 м розташовані родовища нерудних і будівельних матеріалів (піску, гравію), розсіпів кольорових металів (олова-каситериту, цирконію, рутилу, золота, платини й ін.), а в глибоководних ділянках океанічного дна (3000 ... 6000 м) виявлені поклади поліметалевих руд, з яких можна витягати такі метали як марганець, мідь, нікель, кобальт, молібден, ванадій, свинець, цинк, титан, цирконій і деякі інші.

За підрахунками фахівців, при сучасних витратах і цінах на сировину, розробка родовищ будівельних матеріалів і кольорових металів із дна океану є рентабельною. Відпадає необхідність проведення розкривних робіт, прокладки і будівництва транспортних комунікацій. Функції гірничодобувного і збагачувального підприємств виконує один або кілька спеціальних плавзасобів. Є можливість порівняно швидкого переміщення усього видобувного комплексу від одного родовища до іншого. Підводне видобування не потребує відчуження та подальшої рекультивації сільськогосподарських угідь. Наявність води у необмеженій кількості сприяє застосуванню гідромеханізації.

Однак, ведення гірничих робіт на шельфі та на дні океану ускладнюється залежністю від погодних умов, наявністю на акваторії ділянки моря, що розробляється, хвиль, потужних течій, занесенням вироблень на дні моря, розмивом відвалів. Також проблемою є необхідність виїмки і скидання порід у середовищі життєдіяльності морської фауни і флори.

Зараз найбільш активно освоюються поклади корисних копалин континентального шельфу, але низкою закордонних фірм ведуться, дослідні роботи з видобутку поліметалевих руд із глибин океану до 5000 м.

Система розробки підводного родовища повинна забезпечувати безпечну, економічну і повну виїмку кондиційних запасів корисної копалини з дотриманням правил охорони навколишнього середовища. У табл. 1.14 дана класифікація систем розробки підвідних горизонтальних і пологістих розсипів, побудована відповідно до класифікації систем відкритих гірських розробок і специфічних особливостей підвідного видобутку корисних копалин із дна морів і океанів.

Таблиця 1.14 – Системи розробки підводних родовищ

Система розробки	Варіанти (по напрямку виїмки в плані)	Підваріанти по розташуванню відвалів
I Розкривна	1. Подовжня однобортна	А. Безвідвальна
II Безрозкривна	2. Подовжня двобортна	Б. З внутрішніми відвалами
III Комбінована	3. Подовжня блокова	В. З зовнішніми відвалами
	4. Поперечна однобортна	Г. З внутрішніми і зовнішніми відвалами
	5. Поперечна двобортна	
	6. Віялова	
	7. Радіальна	
	8. Кільцева	
	9. Сполучення перерахованих вище	

У наведеній класифікації системи розробки розділені на три групи: розкривні, безрозкривні і комбіновані. Це пов'язано з тим, що підвідні родовища корисних копалин у багатьох випадках залягають безпосередньо на морському дні і не перекриті порожніми породами (*поверхневі родовища*). Якщо підвідні родовища перекриті шаром порожніх порід (*поховані родовища*), то виникає необхідність їхнього видалення, що викликає визначені зміни в системі розробки. Зустрічаються родовища, частково перекриті розкривними породами.

Подовжня однобортна або двобортна система розробки є можливою при розташуванні фронту гірничих робіт паралельно довгій осі кар'єрного поля, рис. 1.34 а, б. Можливий варіант *подовжньої блокової системи розробки*, рис. 1.34 в, коли підводне родовище, що має велику довжину (5...10 км і більш) і незначну ширину (50...100 м), розбивається по довжині на окремі блоки, які розроблюються самостійно у визначеній послідовності.

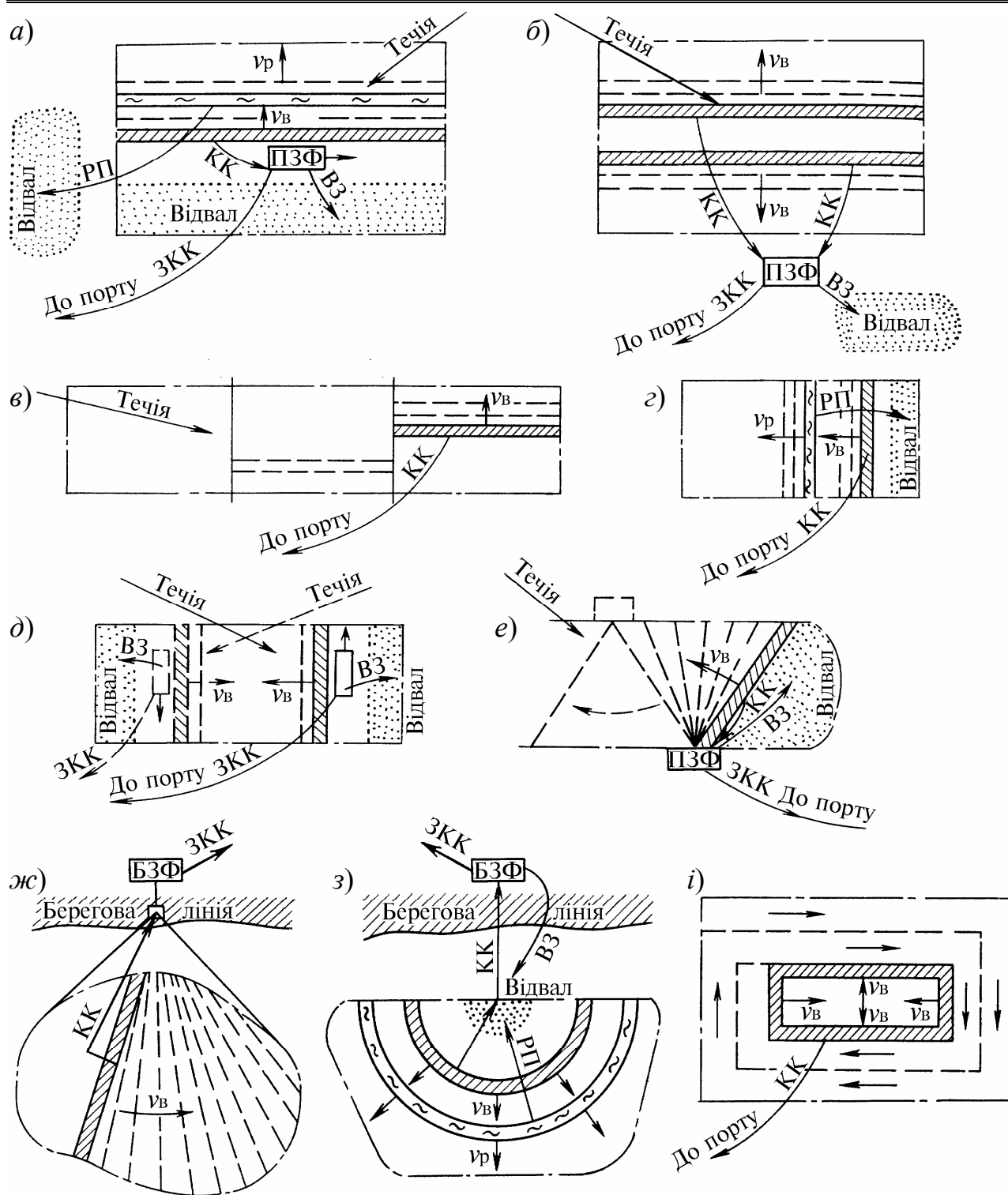


Рисунок 1.34 – Схеми розробки морських родовищ: подовжня однобортна (а), двобортна (б) та блокова (в), поперечна однобортна (г) та двобортна (д), віялова (е, ж), радіальна (з) та кільцева (спіральна) (и);

v_p , v_B – напямки просування фронтів розкриття та видобування;
 РП – розкривні породи; КК – корисна копалина; ВЗ – відходи збагачення;
 ЗКК – збагачена корисна копалина; ПЗФ – плавуча збагачувальна фабрика;
 БЗФ – берегова збагачувальна фабрика

Поперечна одnobортна або двобортна система розробки, рис. 1.34 г, д. відрізняється переміщенням фронту розкривних і видобувних робіт паралельно короткій осі кар'єрного поля.

При подовжній і поперечної *двобортній* системі розробки через зміну напрямку вітру, хвилювань і підводних плинів гірничі роботи можуть вестися як з однієї розрізної траншеї, пройденої в центральній частині кар'єрного поля, так і з двох розрізних траншей, розташованих уздовж флангів кар'єрного поля паралельно довгій або короткій стороні. У цьому випадку при зміні гідрометеорологічних умов на якийсь визначений проміжок часу (доба, тиждень) видобувні і розкривні судна переходять з одного флангу родовища на інший і продовжують вести розкривні та видобувні роботи з іншої розрізної траншеї.

Для *віялової системи розробки*, рис. 1.34 е, ж, характерне переміщення фронту гірничих робіт за віялом з декількома пунктами прийому корисної копалини, розташованими на границі кар'єрного поля або поблизу неї.

При *радіальній системі розробки*, рис. 1.34 з, фронт гірничих робіт переміщається радіально від приймального пункту корисної копалини до контурів родовища. Така система розробки в основному застосовується при виїмці гірської маси *рефулерними земснарядами*, коли гідротранспортування корисної копалини чи розкривних порід до приймального пункту здійснюється плавучим або затопленим пульповодом.

Кільцева система розробки, рис. 1.34 і, характеризується переміщенням фронту розкривних і видобувних робіт за спіраллю з периферійних ділянок кар'єрного поля до його центра або від центра до периферії.

Комбінована система підводної розробки родовищ є сполученням розглянутих раніше систем розробки. Така система розробки застосовується при частій зміні напрямків вітру, хвиль і підводних плинів у районі розробки.

Одним з основних факторів, що зумовлюють відмінність підводного видобутку копалин у відкритому морі від видобутку в умовах закритих водойм (кар'єрів, озер тощо) є практична неможливість трубопроводного транспорту пульпи від видобувного судна до споживача копалини. Прокласти плавучий трубопровід на багатокілометрову відстань через море, що хвилюється, є дуже складною задачею. Тому видобутий матеріал відвозиться спеціальними суднами

(баржами), куди він навантажуються видобувним судном, або складається на самому видобувному судні. У останньому випадку такі видобувні судна називають *самовідвозними*.

Для зменшення витрат на перевезення копалини у багатьох випадках вона *збагачується* безпосередньо на видобувному судні. На сушу відвозиться концентрат, а відходи збагачення залишаються на місці розробки. Найбільш ефективними є технологічні схеми, при яких виділення концентрату відбувається в процесі виїмки і підйому. Однак зараз в основному застосовуються технологічні схеми з розміщенням збагачувальної установки на борті видобувного судна.

В основі **комплексної механізації підводного видобування** лежить принцип взаємозв'язку процесів видобування і збагачення корисної копалини. Існує три типи структур комплексної механізації підводного добування:

1) з розташуванням збагачувальних установок поза видобувним судном — несамовідвозні та самовідвозні снаряди зі збагачувальною установкою на березі або на платформі;

2) з розташуванням збагачувальних установок на видобувному судні, устаткування якого виконує операції виїмки, підйому і збагачення корисної копалини — такі судна називають *плавучими гірничо-збагачувальними комбінатами*;

3) з придонним збагаченням корисної копалини безпосередньо у процесі виїмки.

Найбільш простою структурою комплексної механізації є така, що не потребує введення спеціального устаткування для доставки гірської маси від вибою до установки збагачення. При виборі структури комплексної механізації слід мати на увазі, що перехід від першої до другої структури приводить не тільки до поліпшення техніко-економічних показників за рахунок зменшення вантажопотоків, але і до спрощення схеми збагачення за рахунок відсутності усереднення гірської маси перед подачею. З іншого боку, друга та третя структури у деяких випадках вимагають застосування такого устаткування, яке може негативно впливати на біологічні ресурси моря. Крім того, друга структура потребує, щоб у видобувного судна величини крену і диференту не перевищували припустимих меж. Третя структура може бути реалізованою, якщо видобувне судно обладнане спеціальним ґрунтозабірним пристроєм, який забезпечує придонне збагачення. Тільки на основі аналізу технологічних особливостей структур можливо визначити доцільність їхнього застосування.

У залежності від гірничо-геологічних і гідрометеорологічних умов, глибини розробки і виду корисної копалини застосовуються різні технічні засоби і способи підводного видобутку, рис. 1.35. Основна різниця видобувних систем полягає в способах підйому твердого матеріалу через товщу води на поверхню. Можна виділити три основних способи підводного видобування мінеральної сировини: *механічний, механогідравлічний та пневмогідравлічний*.

До систем механічного типу відносяться *грейферні снаряди та багаточерпакові драги* звичайних конструкцій, які застосовуються на невеликих глибинах. Перевагами таких снарядів є можливість видобування важких ґрунтів, які містять великоуламкові включення. Для видобування *конкрецій* з великих глибин застосовують *однокішшеві канатні драги*, що волочаться; рідше — *багатокішшеві драги*.

Під механогідравлічними системами розуміють *рефулерні та самовідвозні землесосні снаряди*, а також спеціалізовані *насосні комплекси* для видобування копалин з великих глибин.

У пневмогідравлічних системах в якості засобу гідропідйому застосовуються *ерліфти*. Це *ерліфтно-земснарядні комплекси* для видобування піску та інших копалин з глибин до 150...200 м, а також спеціальні *ерліфтні глибоководні комплекси* для видобування конкрецій.

Видобування копалин з невеликих глибин (до 25...50 м) здійснюється засобами, за принципом дії подібними до річкових та кар'єрних — багаточерпаковими драгами, грейферними та землесосними снарядями. Видобування копалин з океанського дна, з глибин у декілька кілометрів, становить складну науково-технічну, задачу, яку не вирішено повністю і зараз. Тривалий час єдиним засобом видобування корисних копалин з таких глибин було *тралення*, яке дозволяло збирати *конкреції*, розсипані по дну. Продуктивність такого способу дуже низька. В останні десятиріччя розроблені потужні *гідравлічні і гідропневматичні установки*, які здійснюють збір та підйом розсипної корисної копалини на великих глибинах.

Для розробки прибережних родовищ гравію з глибини 100 м у Японії використовувався *ежекторний земснаряд “Ейджа-Гоу №1”*.

У носовій частині снаряда був розміщений барабан діаметром близько 20 м, на який намотані три еластичних трубопроводи. Один з них був призначений для подачі напірної води до гідравлічного розпушувача, інший — до водоструминного насоса. Третій служив для підйому гідросуміші на плавзасіб і з'єднувався з порожньою

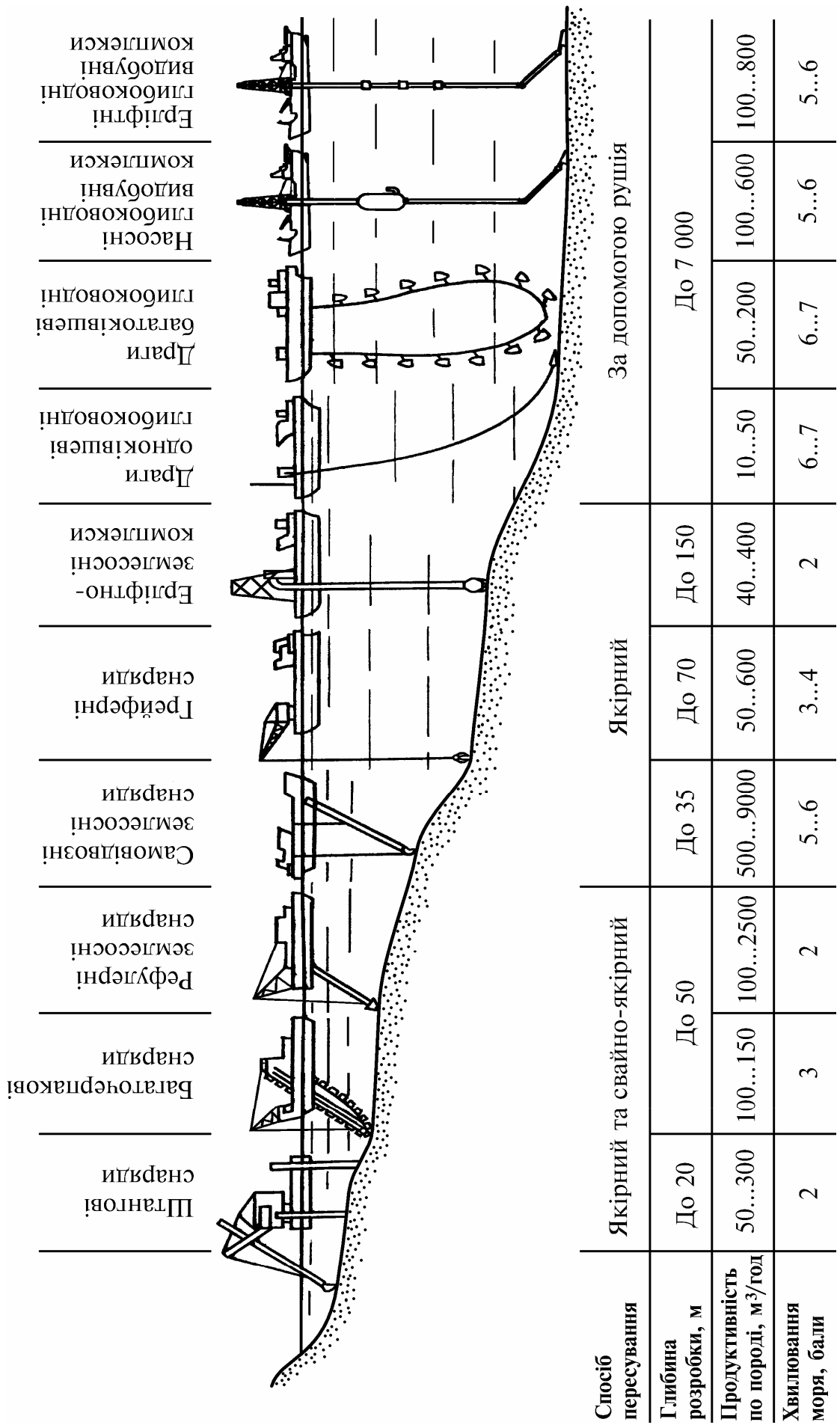


Рисунок 1.35 – Обладнання для підводного видобування корисних копалин

віссю барабана, через яку вивантажувалась пульпа. До недоліків ежекторних земснарядів слід віднести: значне розрідження пульпи, що транспортується, швидкий знос насадок, звуження прийомної частини усмоктувальної труби, що перешкоджає проході крупнокускової фракції твердого матеріалу, а також низький коефіцієнт корисної дії водоструминного насосу. Будівання інших снарядів такого типу було припинено у зв'язку з труднощами, які було виявлено у їхній експлуатації.

Найбільш перспективними засобами видобування корисних копалин з великих глибин є *ерліфтні установки*. Вони забезпечують високу консистенцію гідросуміші, менш піддані зносу, їхня подача зростає зі збільшенням глибини розробки. Розмір шматка твердого матеріалу, що транспортується, обмежується тільки діаметром підйомної труби. Продуктивність ерліфта легко регулюється шляхом зміни подачі стисненого повітря. Основним недоліком, властивим морської ерліфтам, є менший у порівнянні з ґрунтовим насосом к.к.д., малий напір, зниження продуктивності зі зменшенням глибини розробки і з відхиленням піднімальної труби від вертикального положення. Ці недоліки ерліфта згладжуються правильним вибором умов його експлуатації.

Дослідні роботи з промислового використання ерліфтного устаткування для розробки морських розсипних родовищ важких металів і мінералів в 70-х роках були проведені інститутом ВНПГорцветмет і Московським гірничим інститутом. Під час експериментальних робіт, проведених з науково-дослідного судна “Шельф-1” на глибинах до 50 м, була випробувана ерліфтна установка з гнучкими піднімальними комунікаціями.

З закордонних ерліфтних снарядів, що здійснюють глибоководну розробку донного ґрунту, найбільш розповсюдженими є угорські земснаряди типу “Гідроп”. Вони здатні видобувати нерудні матеріали, пісок і гравій в закритих від морського хвилювання акваторіях при глибині до 60 м. Для розробки ґрунту на снаряді можуть бути змонтовані чотири вертикальні ерліфти. Продуктивність снаряда по гравію і по піщаному ґрунту становить 120...140 м/год. Найбільших глибин розробки родовищ корисних копалин на шельфі за допомогою ерліфтів домоглася американська компанія “Collins”, що використовувала ерліфтний снаряд для видобутку алмазів у берегів Південно-Західної Африки. Самохідний снаряд, оснащений ерліфтом з діаметром піднімальної труби 250 мм, піднімав гравій, що містив алмази, з глибини 120 м.

Першою установкою для дійсно глибоководного видобування мінеральних ресурсів був ерліфт, розроблений американською компанією “DeepSea Ventures”. Перший експеримент з підводного видобування з використанням ерліфтної установки фахівці фірми провели на глибині близько 900 м на плато Блейка (270 км від узбережжя Флориди).

Як базове судно використовувався переустаткований танкер водотоннажністю 7400 т, рис. 1.36. У корпусі судна була пророблена

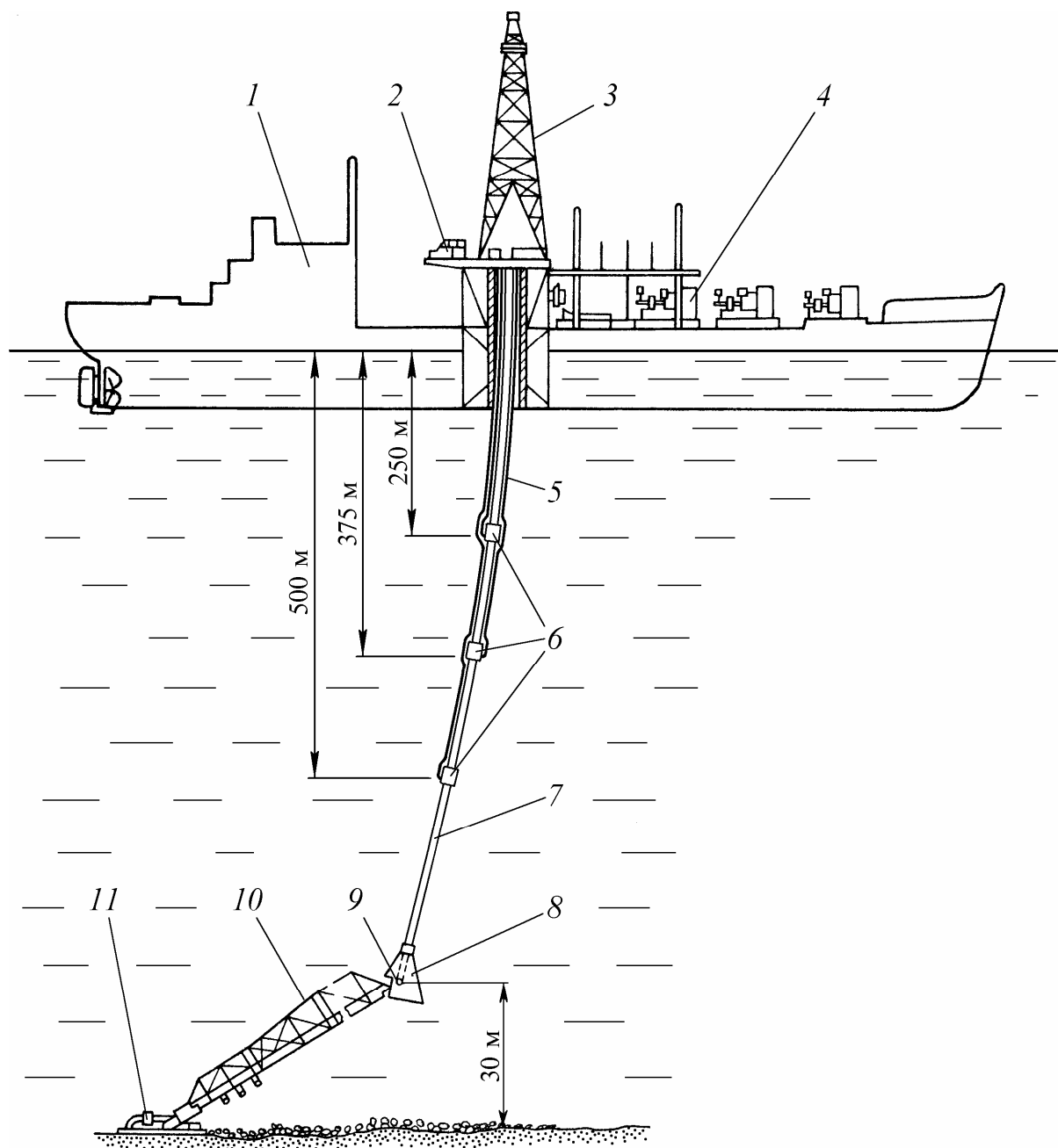


Рисунок 1.36 – Ерліфтна глибоководна видобувна установка: 1 – базове судно; 2 – лебідка; 3 – вишка; 4 – компресори; 5 – трубопроводи стисненого повітря; 6 – змішувачі; 7 – підйомний трубопровід; 8 – натяжна вага; 9 – шарнірний пристрій; 10 – ферма; 11 – ґрунтозабірний пристрій

вертикальна шахта 6×9 м, над якою установили робочу площадку, оснащену краном і піднімальною лебідкою 2. Підйомний трубопровід 7 був зібраний зі звичайних тонкостінних нафтових труб зовнішнім діаметром 245 мм і довжиною секцій по 12,2 м. Секції з'єднувалися між собою спеціальними сполучними елементами для подолання напруг і запобігання скручуванню при русі у воді.

Підйомний трубопровід закінчувався натяжною вагою 8 і шарнірним пристроєм 9, який з'єднував трубопровід з ґрунтозабірним пристроєм. Останній був виконаний у вигляді рами, звареної у формі ромба, і оснащений системою зубців, щоб забезпечити збір конкрецій лише заданого розміру. Уздовж підйомної труби були розташовані три змішувачі 6. До підйомного трубопроводу кріпилися силовий і контрольний кабелі, а також повітропроводи 5 для подачі стисненого повітря в змішувачі. На судні були змонтовані сім компресорів 4. П'ять з них, продуктивністю 68 м³/хв, складали першу ступінь стиску, інші дві — другу ступінь, що підвищувала тиск до 10,7 МПа.

Результати випробувань показали задовільну роботу системи, продуктивність якої по твердому матеріалу досягала 60 т/год. Дослідження підтвердили надійність і простоту експлуатації ерліфтного устаткування в умовах океану. Ерліфтна система забезпечувала безупинне видобування у штормових умовах при швидкості вітру до 55 км/год і висоті хвиль 4 ... 5 м.

Суттєвий внесок у розвиток технології глибоководного видобування корисних копалин внесли вітчизняні вчені. З 60-х до кінця 80-х років минулого сторіччя у Донецькому національному технічному університеті (тоді — Донецький політехнічний інститут) працювала галузева науково-дослідна лабораторія для вирішення проблеми підйому корисних копалин зі дна Світового океану, керував якою професор Гейер В. Г. Лабораторією розроблялися два типа систем глибоководного видобування залізо-марганцевих конкрецій: ерліфтна та насосна.

Ерліфтна система підйому сировини з дна океану при глибинах до 6000 м, рис. 1.37 *a*, призначена для безперервного підйому сировини на борт судна 21 від агрегату збору 1, що рухається по дну океану, та передачі сировини на збагачувальний комплекс 14 для переробки. До складу ерліфтної системи підйому входять: бункер-дозатор 2, розміщений на агрегаті збору 1 і призначений для прийому сировини, забезпечення рівномірного і дозованого надходження її в транспортний трубопровід, промивання системи підйому перед

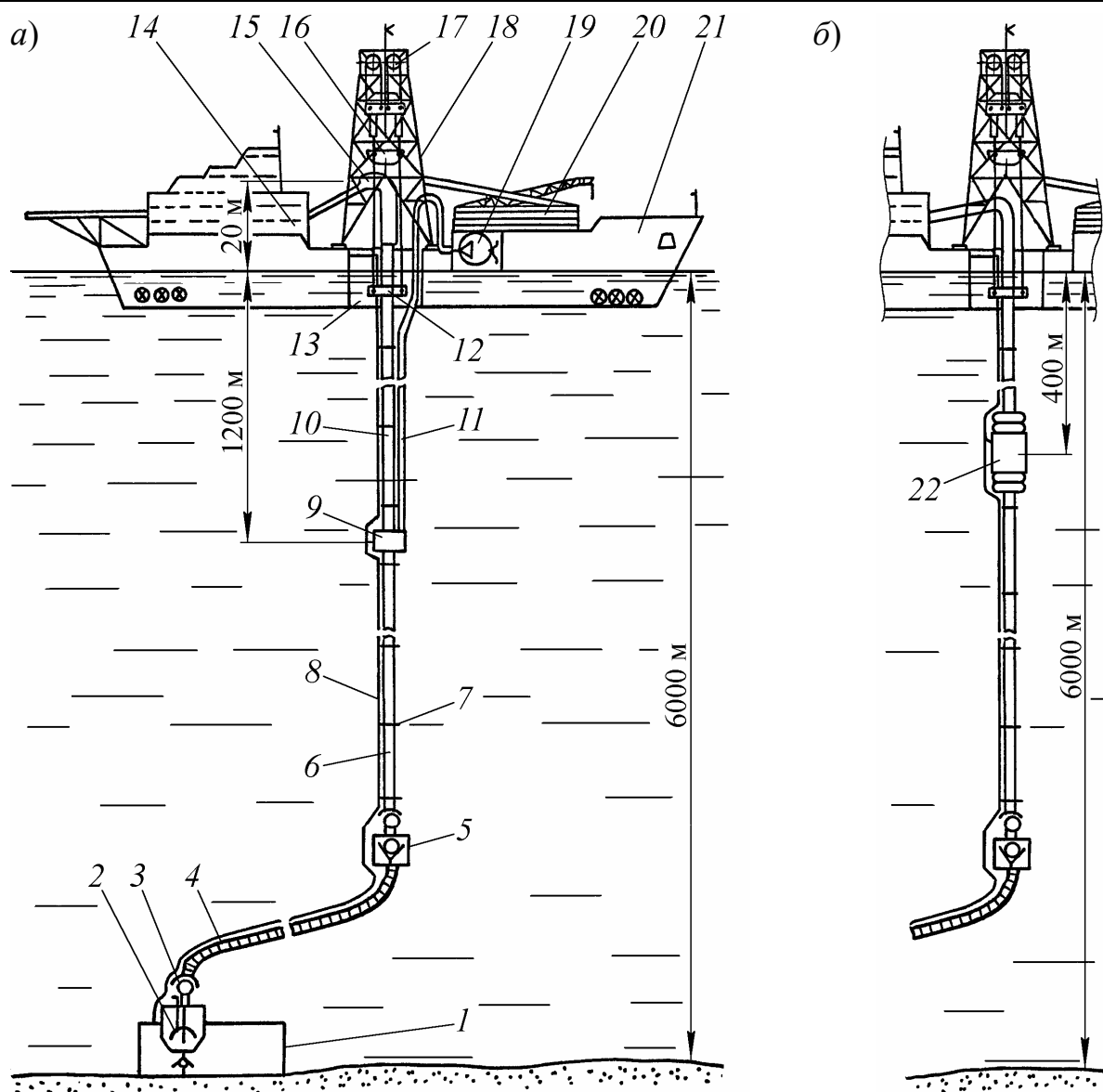


Рисунок 1.37 – Системи глибоководного видобування з ерліфтним (а) та насосним (б) гідропідйомом: 1 – агрегат збору; 2 – бункер-дозатор; 3 – шарнір; 4 – гнучкий трубопровід; 5 – зворотний клапан; 6 – підвідна труба; 7 – з’єднувальні вузли; 8 – енергетичні і контрольні кабелі; 9 – змішувач; 10 – підйомна труба; 11 – повітропровід; 12 – кульовий шарнір; 13 – шахта; 14 – збагачувальний комплекс; 15 – повітровіддільник; 16 – компенсатор хитавиці; 17 – лебідка; 18 – вишка; 19 – компресор; 20 – стелажі; 21 – судно; 22 – насос “Молюск-9”

плановою зупинкою, згладжування нерівномірної подачі сировини і складування її при аварійних зупинках системи підйому.

Бункер-дозатор сполучений через шарнірну ланку 3 з підвідним трубопроводом, який складається з гнучкої 4 та жорсткої 6 ділянок. Гнучкий армований трубопровід завдовжки до 400 м забезпечує зв’язок між системою підйому і агрегатом збору, виключає відрив його від дна при обробці складних ділянок родовища і при вертикальних переміщеннях всього трубопроводу під час хитавиці. Жорстка

ділянка підвідного трубопроводу збирається з окремих секцій труб, оснащених з обох кінців з'єднувальними вузлами 7. Для виключення закупорки труби в результаті осадження в ній твердого матеріалу при неплановій зупинці системи підйому, і скидання твердого з трубопроводу, служить зворотний клапан 5. Довжина підвідного трубопроводу визначається місцем установки змішувача ерліфта 9 при заданій глибині розробки родовища.

Уздовж підвідної труби прокладені енергетичні і контрольні комунікації 8 до агрегату збору, які прикріплені до трубопроводу в місцях установки з'єднувальних вузлів. Змішувач 9 призначений для змішування стиснутого повітря з пульпою, яка поступає з підвідної труби. Конструкція змішувача унеможливорює попадання сировини в повітропровід і його закупорку. Підйомний трубопровід 10 також монтується з окремих секцій труб. Для зниження швидкості потоку гідросуміші при розширенні повітря і зменшення втрат напору, верхня ділянка підйомної труби, починаючи з глибини 30 ... 50 м, робиться більшого діаметру.

Джерелом стисненого повітря служить компресор 19, розміщений на плавзасобі. Повітропровід 11 служить для подачі стисненого повітря в змішувач. Повітровіддільник 15 ерліфта розміщується у середині вишки 18, причому кінець підйомної труби входить в приймальну трубу повітровіддільника телескопічно для компенсації вертикальних переміщень плавзасобу.

Монтаж і демонтаж ерліфтноі системи підйому з плавзасобу проводиться через центральну шахту 13 в корпусі судна розміром 8×10 м за допомогою спуско-підйомного агрегату, що включає лебідку 17 з компенсатором хитавиці 16. Для можливості розвороту судна щодо транспортного трубопроводу служить кульова опора 12. Трубні секції ерліфта розміщують на палубі плавзасобу в стелажах 20 або у трюмі. Тут же в спеціальних ємностях складують видобуту сировину.

Насосна система, рис. 1.37 б, відрізняється від ерліфтноі тим, що, замість ерліфта, для підйому гідросуміші застосовується спеціальний заглибний насос типу "Молюск-9", розроблений у ДонНТУ. Насос 22 вмонтовується у підйомний трубопровід на глибині близько 400 м та створює перепад тиску, необхідний для підйому гідросуміші. Конструкція та технічні характеристики насоса наведені у п. 4.3.3.

Лабораторією ДонНТУ (ДПІ) розроблені методики розрахунку систем глибоководного гідропідйому (ерліфтноі та насосної), розрахунку деформацій підйомної труби довжиною до 6000 м під дією

хитавиці плавзасобу та підводних течій, розроблено агрегат збирання залізо-марганцевих конкрецій.

На стадії проведення науково-дослідних робіт лабораторією ДонНТУ (ДП) створено дослідно-промислову морську ерліфтну установку “Шельф-1”, призначену для розробки прибережних розсипних родовищ магнетитових пісків, а також для узяття великооб’ємних проб донного ґрунту, який містить залізисті конкреції.

Схема ерліфтної установки представлена на рис. 1.38. До її складу входять: ґрунтозабірний пристрій 1, виконаний заодно зі змішувачем; підйомна труба 2 діаметром 150 мм, зібрана з секцій гнучких армованих рукавів довжиною по 4 м; повітропровід 3 діаметром 75 мм та трубопровід напірної води 4 діаметром 59 мм, які також виготовлені з гумових рукавів; компресор 9 типу *KCE-5* з номінальною продуктивністю $5 \text{ м}^3/\text{хв}$ і тиском нагнітання 6,8 МПа; насос 10 типу *ГНОМ 10/25*; повітровіддільник 6. Монтаж установки та її спуск проводиться за допомогою спускопідйомного пристрою, що складається з П-подібної стріли 8 та тельфера 7 вантажопідйомністю 3 тони.

Спочатку установка виводиться на робочий режим при транспортуванні води, а потім ґрунтозабірний пристрій 1 опускається на дно, вступаючи в контакт з ґрунтом. Відпрацювання ділянки ведеться методом суміщених воронок.

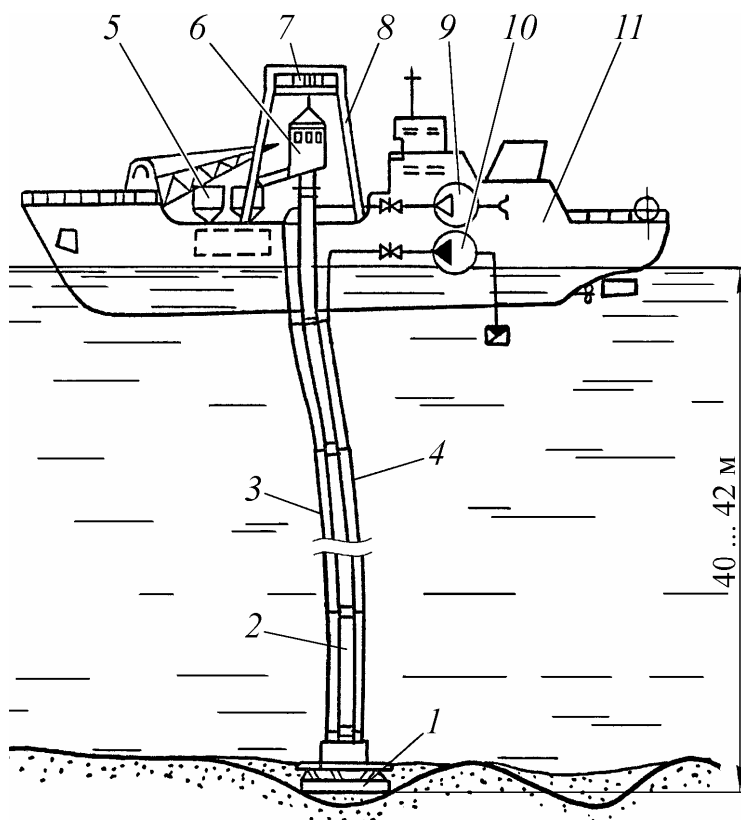


Рисунок 1.38 – Схема дослідно-виробничої морської ерліфтної установки “Шельф-1”:

1 – ґрунтозабірний пристрій;
2 – підйомна труба; 3 – повітропровід; 4 – трубопровід подачі робочої води; 5 – приймальна ємність; 6 – повітровіддільник; 7 – лебідка; 8 – вишка; 9 – компресор; 10 – насос; 11 – плавзасіб

Розпушування ущільнених осадкових порід або ґрунтів середньої консолідації здійснюється спеціальними пневмо-гідравлічними насадками, розміщеними усередині конічного екрану ґрунтозабірного пристрою, що забезпечує достатньо високу консистенцію пульпи, що транспортується $T:Ж = 1:1 \dots 1:3$. Щільність пульпи при розробці мулистоглинистих порід, що містять конкреції розміром $1 \dots 8$ мм, досягала 1620 кг/м^3 а при роботі на піщаному ґрунті — 1250 кг/м^3 . З повітровіддільника, розташованого на висоті 4,4 м над рівнем моря, пульпа прямує на збагачувальну установку 5 для зневоднення. Під час випробувань стан моря змінювався від штилю до хвилювання в $4 \dots 5$ балів при силі вітру $6 \dots 7$ балів. Наявність гнучких магістралей дозволяла здійснити ведення видобувних робіт при хвилюванні до трьох балів, проте подальше посилення хвилювання викликало відрив ґрунтозабірного пристрою від дна. При цьому установка піднімалась на плавзасіб 11 та складувалась на вантажній палубі.

При випробуваннях були досягнуті наступні технічні параметри ерліфта: подача по воді $206 \text{ м}^3/\text{год}$, подача по пульпі $175 \text{ м}^3/\text{год}$, подача по твердому $55,8 \text{ м}^3/\text{год}$, щільність пульпи 1240 кг/м^3 ; питома витрата повітря на оптимальному режимі при підйомі води $q = 1,29$, при підйомі пульпи $q = 2,98$.

1.5.2 Транспорт водовугільного палива на далекі відстані

Дослідження *водовугільного палива* — рідкої композиційної суміші тонкорозмеленого вугілля та води — фактично розпочалися на початку двадцятого століття. Вперше інтерес до водовугільної суспензії виникає на хвилі загального захоплення новою перспективною технологією транспортування сипких твердих матеріалів — *трубопровідного гідравлічного транспорту*, зокрема, як засіб підвищення економічної ефективності магістрального транспорту вугілля. Здійснюваний з найменшими енерговитратами, безперервний, екологічно чистий *гідротранспорт вугілля на великі відстані* супроводжується утворенням великої кількості дрібних (мікронних розмірів) вугільних частинок у кінцевому продукті транспортування, що робить практично неможливим його зневоднення. Ця обставина суттєво ускладнювала створення гідротранспортних систем, а часом викликала сумнів щодо доцільності реалізації їх проектів.

Проблема була розв'язана завдяки виготовленню та транспортуванню трубопроводами водовугільних суспензій масовою концентрацією 50 % та вище, призначених для безпосереднього спалювання у топках енергетичних котлоагрегатів без додаткової переробки на кінцевому терміналі магістральних гідротранспортних систем.

Водовугільне паливо — це дисперсна паливна система (суспензія), створена на основі розмеленого до частинок певної крупності вугілля, води та (в разі потреби) хімічних водорозчинних домішок.

Високі ефективність та екологічна чистота спалювання водовугільного палива забезпечуються відповідністю його характеристик: теплотехнічних (топкових), що забезпечують підтримання параметрів котлоагрегатів на належному рівні; реологічних, що визначають задовільне розпилення і високий ступінь вигорання вуглецю; седиментаційних, що дозволяють транспортувати його на великі відстані і зберігати упродовж тривалого часу. Особливості технології водовугільного палива дають змогу надавати цьому композиційному штучному паливу належних характеристик добиранням основних компонентів (вихідного вугілля і води) з певними фізико-хімічними властивостями, найпридатніших хімічних домішок та застосуванням інших технічних рішень.

Світовий досвід засвідчує, що як вихідний продукт для виготовлення водовугільного палива можна використовувати весь метаморфічний ряд — від бурого вугілля до антрацитів. Водовугільне паливо, призначене до спалювання у топках котлів замість природного газу і мазуту, виготовляють з тонкорозмеленого вугілля з масовою концентрацією 62 ... 70 %. Низький рівень внутрішньої вологи дає змогу використовувати це вугілля без застосування будь-яких операцій щодо його зневоднення. Проте необхідність забезпечення належних реологічних характеристик водовугільного палива передбачає застосування цінних хімічних домішок.

Спільним у процесі виготовлення водовугільного палива є мокре розмелювання у кульових млинах, що забезпечує потрібний гранулометричний розподіл розмеленого вугілля. Іноді з метою підвищення продуктивності застосовують додаткове сухе розмелювання. Тонке подрібнення вугілля вивільнює також мінеральні включення, що, у свою чергу, дає змогу підвищити ефективність наступного збагачення з метою зниження вмісту золи і сірки. Технологічна лінія може включати операцію часткового зневоднення рідкої суміші у вакуум-фільтрах до вологості 20 ... 30 % з подальшим

змішуванням кеку з водою та хімічними домішками у спеціальному змішувачі й передаванням у гомогенізатор. Сучасний досвід дає змогу дещо спростити технологію і подавати потрібну кількість води і хімічні домішки безпосередньо у млин з подальшою гомогенізацією готової суспензії. Як технологічний варіант можна використовувати попереднє змішування подрібненого у молотковій дробарці до 3 мм вугілля з водою у спеціальному змішувачі без часткового зневоднення.

Лабораторні дослідження учених різних країн підтвердили, а розроблені за результатами цих досліджень рішення обумовили технічну можливість виготовлення водовугільного палива з належними споживчими властивостями. Великий обсяг досліджень у цьому напрямі було виконано такими фірмами, як АВ Carbogel (Швеція), “Зальцгіттер” (ФРН), “Снампроджетті” (Італія), EERS та університет шт. Пенсільванія (США), “Дайїті Корьо Сейяку К° Лтд.” та Токуо Electric Power Company (Японія), Вугільний інститут у Пекіні та Науково-дослідний Центр у Тянгшані (Китай). У колишньому СРСР основні дослідження технології водовугільного палива були зосереджені в НВО “Гідротрубопровід” та його Донецькому і Новокузнецькому відділеннях.

Першим у світовій практиці комплексом, що здійснює повний технологічний цикл виготовлення, гідравлічного транспортування і спалювання водовугільного палива, є створений у Росії випробувально-промисловий трубопровід Белово — Новосибірськ. У створенні трубопроводу брали участь науково-виробниче об’єднання “Гідротрубопровід” (Москва), в тім числі його Донецьке відділення (нині АТЗТ НВО “Хаймек”, м. Донецьк), Уральське відділення Всесоюзного теплотехнічного інституту та фірма “Снампроджетті” (Італія).

Термінал виготовлення водовугільного палива було споруджено поблизу м. Белово в центрі Кузнецького вугільного басейну. Постачальниками вихідного вугілля марки Г групи Г6 було визначено гідрошахту “Інська” та, як резервний, Моховський розріз. Термінал використовує технологічний процес приготування водовугільної суспензії з бімодальним складом твердої фази “Реокарб”, розроблений фірмою “Снампроджетті”. Комплекс складається із семи технологічних ліній номінальною продуктивністю 60 т/год за сухим вугіллям кожна. Виготовлене на терміналі ВВП із середньою масовою часткою вуглецю близько 60 % у кількості 5 млн. т/рік транспортують трубопроводом діаметром 500 мм на відстань **262 км** до м. Новосибірськ, де спалюють у котлах ТЕЦ-5.

На трубопроводі встановлено три насосні станції: головна — безпосередньо на майданчику терміналу виготовлення водовугільного палива, та дві проміжні — перша на відстані 90 км, друга — 170 км від головної. Кожну насосну станцію було обладнано трьома насосами *УНБ-600* продуктивністю 183 м³/год та двома насосами “Інгерсол Ренд” продуктивністю 250 м³/год. Обидва типи насосів створюють тиск 10 МПа. Кінцевий термінал магістральної гідро-транспортної системи в Новосибірську складається з двох резервуарів для водовугільного палива загальною місткістю 40 тис. м³.

Результати дворічної експлуатації випробувально-промислового трубопроводу підтвердили, що:

- робота всієї системи (виготовлення, транспортування, спалювання) засвідчує “зрілість” та життєздатність технології;
- основна мета розробки і впровадження технології досягнута;
- експлуатація енергетичних котлоагрегатів на водовугільному паливі значно простіша порівняно з вугільним пилом;
- об’єм шкідливих викидів в атмосферу з топковими газами на 30 ... 40 % нижчий, ніж у разі спалювання вугілля.

В останні роки інтерес до водовугільного палива посилюється під впливом прагнення цілого ряду країн позбавитися залежності від постачальників нафти, яка займає ключові позиції в їхньому енергобалансі. Швидке зростання енергетичних потреб країн Азії виключає можливість їх забезпечення потрібною кількістю нафти. Тому ідеальним шляхом вирішення цієї проблеми може бути заміна певної кількості мазуту водовугільним паливом.

При впровадженні водовугільного палива виникає можливість найкращого використання інфраструктури мазутних котлоагрегатів, мінімальної реконструкції пальників та паливоподавальних систем. Не менш важливою, з точки зору охорони навколишнього середовища, перевагою є пожежна безпека під час транспортування водовугільного палива, що здійснюється по трубопроводах або в цистернах, призначених для нафти. Технологія водовугільного палива набуває великого значення для країн, які мають значні запаси кам’яного вугілля (наприклад, Китай, Україна) та прагнуть створити власний резерв енергоносіїв.

1.5.3 Видобування твердого палива зі шламонакопичувачів

Сучасний стан економіки України характеризується крайньою незбалансованістю паливо енергетичного комплексу. Потреба в первинних енергоресурсах за рахунок власного палива задовольняється менш, ніж на 45%. Понад 56% палива, що використовується, — це природний газ і нафта, основна кількість яких увозиться з-за кордону. У таких умовах єдиною власною паливно-енергетичною основою економіки залишається вугільна промисловість. Тим часом, видобуток вугілля в Україні безупинно скорочується, хоча наявні запаси достатні для забезпечення потреб української економіки на 350 ... 400 років.

Одним з основних напрямків стабілізації теплоенергетики України є організація стабільного забезпечення паливом. Успішне рішення цієї проблеми вимагає поряд з іншими факторами вивчення можливостей використання альтернативних видів палива, а також технологій виробництва теплової й електричної енергії. Орієнтація теплоенергетики на вугілля, як основний енергоносіє, потребує підвищення обсягу його видобутку, що не відповідає реальним можливостям вугільної промисловості. Розвиток вітчизняного вуглевидобутку може бути здійснено тільки шляхом корінної реконструкції і будівництва нових шахт, а це пов'язано з великими капіталовкладеннями і вимагає тривалого часу.

На передній план висувається проблема пошуку додаткових ресурсів енергоносіїв, видобуток яких може бути організований в порівняно короткий час і не зажадає значних капіталовкладень.

Найбільш простим шляхом рішення проблеми пошуку додаткових паливних ресурсів є утилізація відходів збагачення — високозольного дрібного вугілля (шламів), величезну кількість якого накопичено за багато років у шламонакопичувачах. (відвалах), розташованих у безпосередній близькості від збагачувальних фабрик.

Дослідження показали, що на території України заскладовано до 3 млрд. тонн відходів видобування та збагачення вугілля із середньою зольністю 72 ... 75%. Тільки в антрацитових відвалах Донецької і Луганської областей накопичено близько 500 млн. тонн сухих відходів шахт із середньою зольністю 77,1 ... 77,5% і близько 150 млн. тонн відходів збагачувальних фабрик із зольністю 68,5 ... 73,8%, табл. 1.15. Реально в сухих відходах міститься 15 ... 20% вуглецю, що може бути використаний як паливо.

Таблиця 1.15 – Загальна характеристика збагачувальних фабрик по Луганській і Донецькій областях

Збагачувальна фабрика	Продуктивність, тис. т/рік (по вугіллю)	Межа збагачення, мм	Запаси шламових відходів, тис. т	
			A ⁶ < 45%	A ⁶ > 45%
Комендантська	6100	0	—	2150
Червона Зірка	3500	0	—	1000
Яновська	1200	0	—	1120
Радянська	800	0	—	540
Шахтарська	2250	6	5,3	1500
Постниковська	1150	6	71,5	—
Киселевська	2200	6	23,4	230
Донецька	1900	6	10,0	210
Торезська	2100	6	8,9	110
Ровеньківська	1500	6	169,3	—
Хрустальська	1500	6	365,6	50
Новопавлівська	1300	6	113,0	—
Вахрушевська	1500	6	204,3	—
Снежнянська	1200	6	1,3	120
Краснолучська	1200	6	272,0	—
Імені газети «Вісті»	1300	6	85,0	—
Краснопартизанська	1600	6	—	150
Сердитянська	1100	13	—	—

З огляду на те, що повний витяг вуглецю практично неможливий, а економічно виправданий його рівень, виходячи з застосування механічних способів збагачення, не перевищує 10% від вихідної маси відходів (50 ... 80% усього вуглецю, що міститься в сухих відходах), кількість додаткового палива в цьому випадку може скласти до 85 млн. тонн при зольності близько 35%. Собівартість цього продукту не перевищить третини від собівартості вугілля.

Висока зольність дрібного вугілля зі шламонакопичувачів обумовлює необхідність його збагачення. Якщо збагачувальна установка споруджується в безпосередній близькості від шламонакопичувача, то, з огляду на обмеженість кількості заскладованого в ньому матері-

алу, вона повинна легко демонтуватися і переміщатися до іншої місцевості.

Через те, що шламонакопичувачі є досить складними гідротехнічними спорудженнями, а якісні характеристики заскладованого в них матеріалу дуже різні, як по площі, так і по глибині залягання, організація витягу шламів зі шламонакопичувачів вимагає ретельного аналізу його стану і планування робіт з урахуванням змін у зоні насичення, здатності утримувати зливові води, руйнування матеріалів дамб і обвалувань, а також впливу на системи декантації і дренажу.

Виймка зі шламонакопичувачів може здійснюватися за допомогою засобів гідромеханізації: драглайнів, земснарядів (краще спеціальної конструкції з дистанційним керуванням). Одним з недоліків видобування шламу земснарядами, які серійно випускаються, є низька концентрація шламу в пульпі, що транспортується, — менше 5%.

Перспективним засобом видобування вугільних шламів є *ерліфтно-земснарядні комплекси (ЕЗК)*, конструкцію і принцип дії яких розглянуто у п.2.4. Досвід створення та використання *ЕЗК* дозволяє стверджувати, що вони будуть працювати в кілька разів ефективніше звичайних типових земснарядів. Так наприклад, *ЕЗК*, які спроектовані в ДонНТУ і працюють в Західному Сибіру по видобуванню піску із дна водойм, створюють концентрацію гідросуміші в середньому близько 30%; в деяких випадках вона досягла 70%. Це пояснюється особливостями роботи ерліфтів, які мають високу усмоктувальна здатність і можливість підйому гідросуміші високої концентрації. Принцип дії та розрахунок ерліфта наведений у п. 4.4.3.

У ДонНТУ розроблена технологія видобування і гідротранспорту шламу з далекого шламонакопичувача ГЗФ «Червоноармійська» із застосуванням *ЕЗК*, що був спроектований на базі серійного земснаряда типу *180-60*. Оригінальна конструкція усмоктувального пристрою дозволить збільшити продуктивність по твердому матеріалі в 2,5...5 разів у порівнянні з традиційними земснарядами, а висока концентрація гідросуміші виключає необхідність операції зневоднення перед збагаченням.

1.5.4 Видобування сапропелів та пелоїдів

Одним з перспективних напрямків є використання ерліфтів для видобування сапропелів та пелоїдів.

Сапропелі це тонкоструктурні колоїдальні відкладення водоюм зі вмістом органічної речовини в перерахуванні на суху масу більш 15 %. Основний склад органічної речовини сапропелів формується з залишків рослинних і тваринних організмів, що відмирають у водоймі, частково поповнюється органічними домішками і розчинними з'єднаннями, які приносяться водою і вітром. У результаті фізичних, хімічних і біологічних процесів, що протікають в осаді, сапропелі збагачуються мікроелементами і біологічно активними речовинами.

Широкий діапазон хімічного складу і фізичних властивостей озерних відкладень, великі запаси і широка їхня поширеність у найбільш населених регіонах, а також відносна простота видобування і первинної переробки, дозволяють розглядати їх як важливі ресурси органічної сировини для використання в сільськогосподарському виробництві, промисловості і медицині. Потребу освоєння ресурсів сапропелів викликають прогресуючі процеси замулення озер.

Вибір і обґрунтування технологічних прийомів видобування, транспортування і переробки сапропелів обумовлюються їхнім фізичним станом у покладі та фізико-механічними властивостями.

Сапропелі — складні органічні, органомінеральні і мінеральні комплекси речовин. У природному стані сапропелі — це багатокомпонентні полідисперсні системи, верхній шар яких седиментаційно нестійкий, з високим вмістом води (20 ... 25 кг/кг), у ньому активно протікають біохімічні процеси. Мінералізація і подальше ущільнення нижніх шарів приводять до утворення осаду пластичної і напівтвердої консистенції. Сапропелі мають високу дисперсність. Середньозважений діаметр їхніх часток — 110 ... 130 мкм, вміст фракцій менше 50 мкм складає до 50 %. Щільність сапропелів змінюється в межах 1400 ... 2700 кг/м³. По величині математичного очікування щільності сапропелі розділяють на *органічні* (1610 кг/м), *змішані* (1970 кг/м), *карбонатні* (2060 кг/м) та *кремнеземисті* (2240 кг/м). Сапропелі в природному стані мають високу пластичність, липкість, різко виражену здатність до усадки при висиханні, незначну водопроникність.

Найбільш перспективними напрямками використання сапропелів на найближчу перспективу є:

— у *землеробстві* — виробництво стандартних добрив і вапняних матеріалів, компостів і гранульованих добрив; виробництво ґрунтів, субстратів для вирощування клубенькових бактерій, різних фасованих живильних сумішей для садівництва, оранжерей і теплиць;

— у *тваринництві і ветеринарії* — виробництво мінерально-вітамінних кормових добавок;

— у *меліоративному будівництві і промисловості будівельних матеріалів* — використання як технологічної добавки у виробництві водопроникних дренажних труб, полегшених стінових каменів, керамзиту, лицювальної цегли; застосування як активного наповнювача в полімерних композиціях для захисних екранів у гідромеліоративному будівництві і бетонних виробках; використання як з'єднувального матеріалу для виробництва теплоізоляційних матеріалів, деревинно-волокнистих плит;

— у *медицині* — застосування як лікувальних брудів;

— у *буровій техніці* — використання в складі промивних рідин, тампонажних розчинів.

На основі сапропелів можливе одержання біологічно активних препаратів, білкових речовин, інших продуктів і матеріалів.

Пелоїди (лікувальні грязі) це осади водойм, торф'яні відкладення боліт, виверження грязьових вулканів і ін. природні утворення, що складаються з води, мінеральних та органічних речовин, і являють собою однорідну тонкодисперсну пластичну масу, яку застосовують у в нагрітому стані для грязелікування.

Матеріалом для утворення лікувального бруду служать мінеральні частки, органічні речовини (залишки рослинних і тваринних організмів), колоїдні частки органічного і неорганічного складу, вода. У результаті біохімічних процесів, що відбуваються за участю мікроорганізмів, лікувальні бруди збагачуються біогенними компонентами (з'єднаннями вуглецю, азоту, сірки, заліза й ін.), які мають високу терапевтичну активність.

В основному застосовуються два *способи видобування сапропелів та пелоїдів*: грейферний і земснарядний.

Грейферний спосіб видобування полягає в тому, що грейферним екскаватором, установленим на понтоні, сапропелева маса вантажиться в баржу. Розвантаження баржі здійснюється також грейферним екскаватором в самоскиди, які доставляють сапропелеву масу на

спеціальні площадки для досушування. При вологості 50 ... 60 % сапропель скрепером-бульдозером укладається в бурти.

В умовах підводної розробки найбільш раціональним є застосування земснарядного способу екскавації покладу з гідротранспортуванням сапропелів по трубах до споживача або в місця складування. При гідромеханізованому способі розробки озерних відкладень відпадає необхідність в осушуванні озера, розробку покладу у відкритій водоймі можна вести практично при будь-якій глибині води; в одному технологічному циклі зручно сполучаються видобування, гідротранспортування й укладання сапропелів на березі. Особливістю гідромеханізації є висока продуктивність установок при малій витраті робочої сили на їхнє обслуговування. Тому собівартість продукції при гідромеханізованому способі видобування, в порівнянні з іншими способами, найнижча. Гідротранспортування пульпи можливе на порівняно великі відстані (на десятки і навіть сотню кілометрів). Устаткування для гідромеханізації нескладне. Процес легко піддається автоматизації.

Гідромеханізована розробка з транспортуванням пульпи по трубах у відстійники забезпечує одержання продукції з високими якісними показниками. При укладанні ґрунту відпадає потреба в додаткових витратах на його розрівнювання й ущільнення. Намитий у відстійники сапропель легко піддається подальшим механізованим операціям по його досушуванню, збиранню і складуванню.

У залежності від потужності родовища і виробничої необхідності застосовуються земснаряди, що серійно випускаються: *МЗ-3А*, *АНБ-752*, *МЗ-8*, *МЗ-10*, *ЗРС-Г*, *ЛС-27*, *200-50*, *ЗГН-2000/63*, *180-60*, *ЗГМ-350* і ін. Але для видобування сапропелю необхідна їхня доробка. Зокрема, установка спеціальних ґрунтозаборів: конфузотно-скреперуючих типу *ГТД-1,8* або *ГД-3,5*; роторно-ковшових типу *РКГУ*, шнеково-скреперуючих типу *УДС-15* та *АНБ-752*, керованого сепаратора і багатьох інших, або застосування спеціальних установок, таких, як фрезерно-шнекова видобувна установка і ін.

Але навіть застосування цих і інших спеціальних ґрунтозабірних пристроїв і установок не може усунути головного недоліку гідралічного способу видобутку сапропелю земснарядами, обладнаними відцентровими ґрунтососами — дуже низьку концентрацію його в пульпі — 2 ... 5 %, що призводить до непродуктивної витрати енергії при гідротранспорті, ускладнює зневоднення пульпи, викликає підвищені капітальні затрати на прокладання трубопроводів великого

діаметру. Вирішити цю проблему можна шляхом застосування для видобування сапропелів та пелоїдів ерліфтно-земснарядних комплексів (ЕЗК) розробки ДонНТУ.

Використовуючи головні переваги гідромеханізованого способу видобування, ерліфтно-земснарядні комплекси (ЕЗК) усувають головний його недолік — низьку концентрацію, яка може бути збільшена у 3...5 разів. Але у конструкцію ЕЗК, у порівнянні з ЕЗК для видобування сипучих будівельних матеріалів, см. п.п. 1.5.1, 1.5.2 та 2.4.5 необхідно внести деякі зміни і, головне, замінити ґрунтозабірний пристрій ерліфта. Пристрої з гідравлічними розпушувачами працюють по сапропелям незадовільно, оскільки струмені води, прокладаючи канали у в'язкому ґрунті, погано рихлять і істотно знижують концентрацію сапропелю. Механічні розпушувачі також працюють неефективно через налипання сапропелю. Тому висока усмоктувальна здатність ерліфта в сполученні з повітроструменевим розпушуванням є найбільш ефективними для видобування сапропелю (пелоїдів).

Ерліфтний земснаряд, рис. 1.39 *а*, складається з ґрунтоприймальника 1, підвідної труби 2, змішувача 3, підйомної труби 4, повітровіддільника 12, скидного каналу 13, приймача 14, ємності 15 та компресора 10, який через повітропровід 11, засувки 8 і шланги 7, з'єднаний з повітропроводами 5 і 6. Усе змонтовано на плавзасобі 9.

Ґрунтоприймальник 1, рис. 1.39 *б*, утворений двома бічними профільними стінками, задньою стінкою і похилою кришкою, на якій встановлені форсунки 17, з'єднані з повітропроводом 5. Бічні стінки ґрунтоприймальника виконані скошеними і закругленими в нижній частині лижеподібно для зручності напливу пристрою на ґрунт. Кришка ґрунтоприймальника повинна бути нахилена під кутом не менш 7° для того, щоб забезпечити рух повітряних струменів із сапропелем у напрямку до підвідної труби 2. З метою розширення зони захоплення ґрунтоприймальник 1 виконаний розширеним у бік напливу ґрунту. Для підвищення ефективності розмиву ґрунту може бути кілька форсунок 17, встановлених у ряд.

Земснаряд працює в такий спосіб. Ґрунтоприймальник 1 напливає на ґрунт. Стиснене повітря, що подається компресором 10 через повітропровід 11, засувки 8 та шланги 7, по повітропроводу 5, через форсунки 17, подається у ґрунтоприймальник 1, де робить петлеподібний рух: спочатку направляється вниз, розпушуючи при цьому ґрунт, далі під дією архімедової сили спрямовується разом із ґрунтом нагору, у підвідну трубу 2.

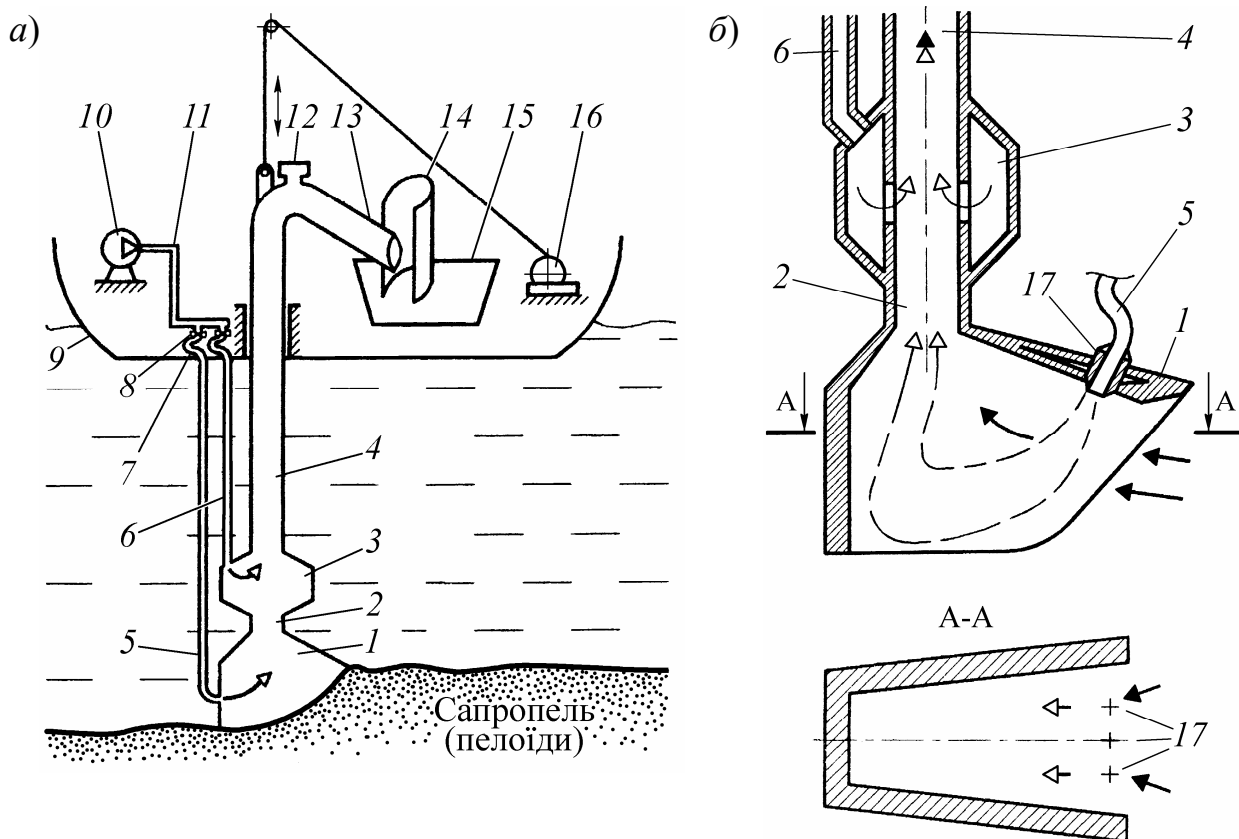


Рисунок 1.39 – Схема (а) та ґрунтозабірний пристрій (б) ерліфтно-земснарядного комплексу для видобування сапропелів та пелоїдів: 1 – ґрунтоприймальний пристрій; 2 – підвідна труба; 3 – змішувач; 4 – підйомна труба; 5, 6 – повітропроводи; 7 – шланги; 8 – засувки; 9 – плавзасіб; 10 – компресор; 11 – повітропровід; 12 – повітровіддільник; 13 – скидна труба; 14 – пульпоприймальник; 15 – ємність; 16 – лебідка

Через повітропровід 6 у змішувач 3 подається стиснене повітря, яке змішується з потоком, що надходить по трубі 2. Трифазна суміш (вода, повітря та ґрунт) піднімається по трубі 4 на поверхню, надходить у повітровіддільник 12, де повітря відділяється, і двофазна суміш (вода та ґрунт) через скидний канал 13 і приймач 14 скидається у ємність 15, звідки ґрунтовим насосом (на малюнку не показаний) відкачується за призначенням. Розглянута конструкція дозволяє значно підвищити ефективність роботи землесосного снаряда за рахунок збільшення концентрації ґрунту у пульпі, є простою і надійною в експлуатації.

Піднятий ерліфтом сапропель за допомогою ґрунтонасоса транспортується по магістральному пульпопроводу (плавучому, а потім береговому) і надходить у відстійники, де під дією гравітаційних сил осаджується. Сапропелева пульпа, що надходить у відстійники,

містить дуже велику кількість води. Процес зневоднювання намітої у відстійники гідромаси можна умовно розділити на три частини:

- а) механічне відділення вільної води (віддаляється з відстійників через водозливні пристрої) з утворенням осадового шару;
- б) фільтрація води в ґрунт, що підстиляє;
- в) випар.

Використання трубопровідного транспорту при видобуванні сапропелів з озер робить рентабельним подачу сапропелів на великі відстані (багато десятків кілометрів) і дозволяє найбільш раціонально вирішити проблему застосування органічної сировини, що витягається, як для готування добрив, так і для меліорації площ. Крім того, трубопровідний транспорт у ряді випадків вигідно використовувати і надалі для водопостачання ділянок, що потребують зрошення. Перспективною є подача сапропелів безпосередньо на поля за допомогою гнучких трубопроводів, прокладення яких здійснюється порівняно швидко і з мінімальними витратами. Можливим є створення на цій основі систем стаціонарного зрошення з механізацією й автоматизацією процесів поливу і, отже, з гарантовано високими врожайми сільськогосподарських культур.

Питання для самоперевірки.

1. У яких галузях промислового виробництва застосовується гідромеханізація?
2. Якими умовами визначається область доцільного застосування гідромеханізації в гірничій промисловості?
3. Як класифікують гірничі роботи, що виконуються способом гідромеханізації, по виду й призначенню?
4. Які характеристики порід враховуються при гідравлічному способі розробки?
5. Назвіть способи розкриття родовищ при відкритому способі видобування.
6. Назвіть способи розкриття при розробці родовищ землесосними снарядами.
7. Як класифікуються системи відкритої гідравлічної розробки родовищ?
8. Як класифікуються системи підземної гідравлічної розробки родовищ?
9. Як визначити кут проведення виробок з умови забезпечення безнапірного гідротранспорту?
10. Назвіть перспективні напрямки застосування гідромеханізації.
11. Які схеми застосовують при розробці морських родовищ твердих копалин?
12. Назвіть способи глибоководного видобування мінеральної сировини.
13. Що таке водовугільне паливо? Які його переваги?
14. Що таке сапропелі? Як їх видобувають?

2 ГІДРОМЕХАНІЗОВАНА РОЗРОБКА ПОРІД

2.1 Гідромоніторний струмінь і розрахунок його параметрів

2.1.1 Поняття про струмінь, його формування

Струмінь це потік рідини, рух якого відбувається при відсутності твердих границь. У залежності від щільності рідини струменя ρ і щільності ρ_1 середовища, у якому струмінь рухається, розрізняють **вільні незатоплені** ($\rho \gg \rho_1$), **вільні затоплені** ($\rho \approx \rho_1$) і **невільні затоплені** ($\rho < \rho_1$).

Гідромоніторний струмінь води, що рухається в повітряному середовищі, є вільним незатопленим струменем. Його параметри залежать від діаметра насадки і тиску перед насадкою. На параметри струменя також роблять вплив умови його формування в проточних каналах гідромонітора й у насадці.

На руйнування масиву гірських порід впливають динамічні тиски по осі струменя і її перетину, діаметр струменя, сила впливу струменя на масив і інші фактори, що стосуються фізико-механічних властивостей гірських порід.

2.1.2 Використання струменів води при гідромеханізації гірничих робіт

При відкритій розробці родовищ широко застосовуються водяні струмені різних витрат і тисків. Із загального обсягу розкривних робіт, які виконуються гідравлічним способом у СНД, приблизно 95 % приходить на гідромоніторну розробку. Серед переваг гідромоніторної розробки можна виділити:

- *простоту* конструкції та *надійність* в експлуатації устаткування — гідромонітор має мінімальну кількість рухомих деталей, легко обслуговується, не має безпосереднього контакту з масивом, що руйнується;

- *зручність* включення гідромоніторного розмиву в технологічний ланцюг гідровидобутку — вода, яка формує струмінь, що руйнує, використовується потім для самопливного, а іноді й напірного гідротранспорту породи, а після прояснення може знову подаватися у гідромонітор; це дозволяє реалізувати замкнене водопостачання;

- струмінь, що руйнує, виконує також функцію *пилонпридушення*, що особливо необхідно у підземних умовах видобування.

Серед недоліків цього методу можна зазначити високі питомі витрати енергії та низьку ефективність при руйнуванні міцних порід.

На першому етапі робіт при впровадженні гідромоніторного розмиву розкривних порід на вугільних кар'єрах застосовувалися струмені з тиском у насадці 0,7 ... 0,8 МПа, а в деяких випадках — до 1,2 МПа. На більш міцних розкривних породах, таких, як глинисті сланці, піщано-глинисті сланці і піщаники, були випробувані струмені з тиском води до 3,5 МПа. Однак, при зазначеному тиску потрібні великі витрати води й електроенергії, а продуктивність розмиву зростала незначно. Це послужило підставою для переходу на попереднє механічне розпушування розкривних порід. У цьому випадку розробка щільних порід звичайно ведеться попередньо екскаватором, а потім гідромоніторно-землесосною установкою, див. рис. 1.19. Цей спосіб застосовується при розробці щільних ґрунтів на ряді вугільних кар'єрів.

Середня питома витрата води при гідромоніторній розробці на вугільних кар'єрах складає 6 м³, питома витрата електроенергії — близько 5,5 кВт·год на 1 т ґрунта. Як основне устаткування для розмиву гірських порід застосовуються гідромонітори типу *ГМ-2*, *ГМН-250з*, *ГМП-250м*, *ГМДУЭГ-250*, *КУГУ-350* з насадками діаметром від 50 до 165 мм, при тисках до 1,2 МПа.

Широко застосовується гідромоніторна розробка розсипних родовищ корисних копалин. Умови розробки тут надзвичайно різноманітні як у гірничо-геологічному і гідрогеологічному, так і в кліматичному відношенні. При гідравлічній розробці гідромоніторними струменями руйнуються гірські породи різного речовинного складу, різної міцності і потужності.

Гідромоніторні струмені застосовуються також для відбійки вугілля при підземній розробці вугільних родовищ Кузбасу і Донбасу. У Кузбасі знаходяться в експлуатації чотири гідрошахти і два гідрокомплекси, у тому числі Ювілейна (Байдаєвська – Північна). У Донецькому басейні функціонувало шість гідрорудників і гідрошахт, у тому числі такі великі гідрошахти, як Червоноармійська №2, шахта ім. 50-річчя СРСР, Піонер. На частку гідровідбійки гідромоніторними струменями по цих вугільних басейнах до 1990 р. приходилося 11% загального обсягу видобутку.

На діючих гідрошахтах гідромоніторні роботи характеризуються наступними даними: тиск води до 12 МПа, діаметр насадок від 16 до 28 мм, середня продуктивність гідровідбійки в очисному вибої

до 60 т/год. Для подальшого підвищення ефективності виїмки вугілля необхідно підвищувати напори струменя води до 15...16 МПа. Гідровідбійка здійснюється підземними гідромоніторами типу *Г-1*, *ГМДЦ-3м*, *ГМДЦ-4*, *ГКД*, *12ГП* й ін. з дистанційним гідравлічним керуванням.

За рубежом у США, Канаді, Новій Зеландії, Південній Африці й ін. проводяться гідромоніторні роботи на кар'єрах по видобуванню різних корисних копалин, а також при розробці золотоносних й олов'яних родовищ.

Зараз в Україні і за рубежом приділяється велика увага застосуванню на гірничих роботах струменів невеликого діаметра високого тиску, у тому числі й *імпульсних струменів*. Застосування гідромоніторних струменів різних тисків показало, що руйнування ними вугілля і гірських порід ефективно.

2.1.3 Класифікація водяних струменів

На підставі закордонного і вітчизняного досвіду використання водяних струменів у промисловості і наукових дослідженнях Шавловським С. Е. розроблена класифікація водяних струменів, що застосовуються у гірничій промисловості або намічені до застосування, табл. 2.1. При розробці цієї класифікації як класифікаційні ознаки прийняті тиск струменя, витрата води і характеристика гірських порід, для розробки яких рекомендовано струмені тієї чи іншої групи.

Першою групою водяних струменів тиском **0,3 ... 2,0 МПа** розробляються розкривні породи (піски, супіски, суглинки, крейдо-мергелі й ін.), що мають тимчасовий опір на стиск 0,075...1,0 МПа, рис. 2.1 *а*. Для цих тисків струменя промисловість виготовляє насоси з витратою води до 4000 м³/год., що дозволяє створювати гідромонітори високої продуктивності по породі (до 700 м³/год.). У зв'язку з цим розробка розкривних порід на відкритих роботах, як правило, здійснюється водяними струменями із зазначеними тисками при насадках діаметром 50 ... 190 мм. Робоча довжина струменя при цій технології використовується в межах від 10 до 80 м.

Розробка вугіль слабких і середньої міцності, що мають опір стиску 4,7 ... 18 МПа, ведеться струменями води середнього тиску **3 ... 13 МПа**, рис. 2.1 *б*. Для цих тисків виготовляються насоси з витратою води до 400 м³/год., що дозволяє створити гідромонітори з насадками діаметром 16 ... 32 мм. При таких параметрах струменів практикою досягнута продуктивність гідромонітора по вугіллю в

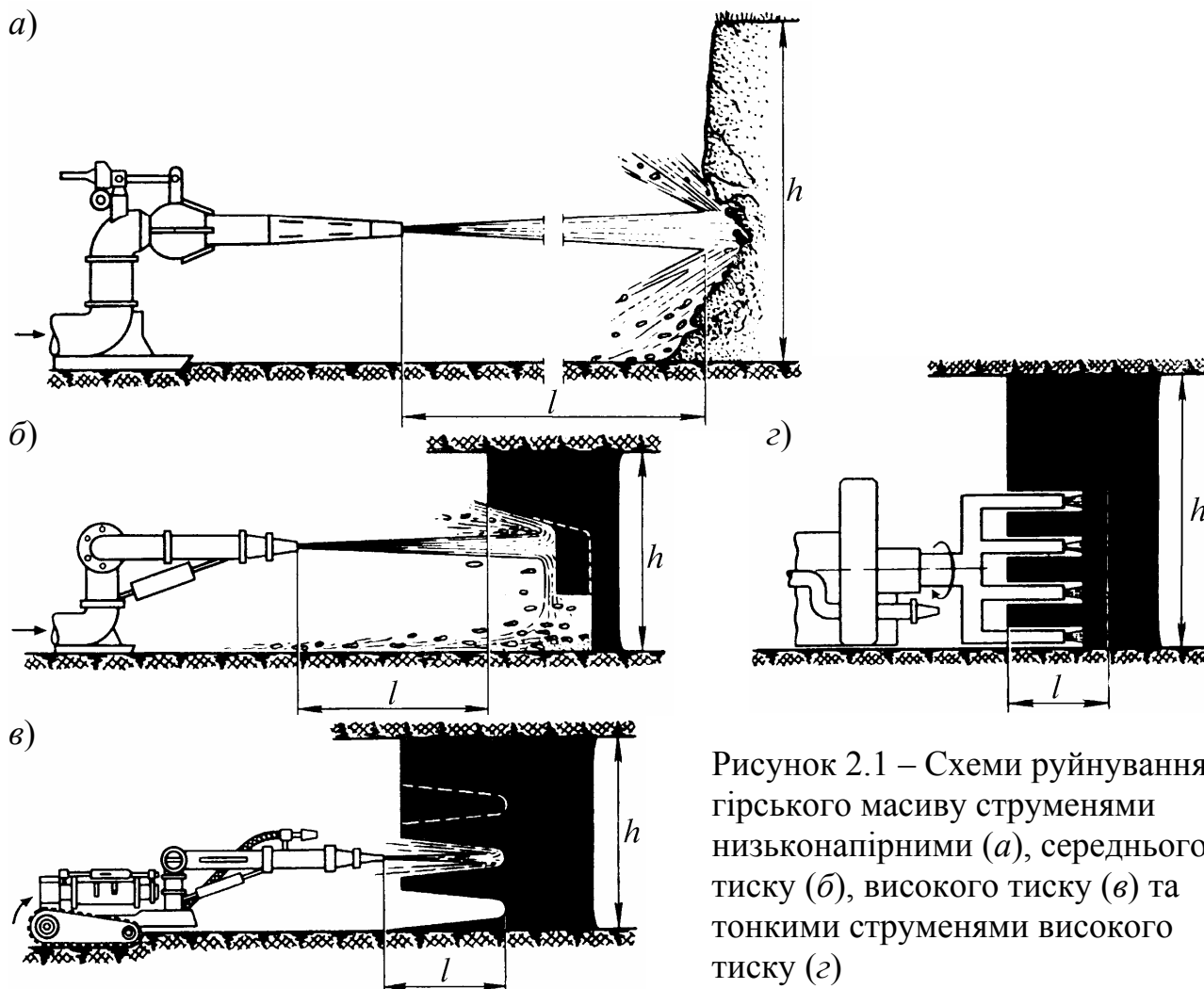


Рисунок 2.1 – Схеми руйнування гірського масиву струменями низьконапірними (а), середнього тиску (б), високого тиску (в) та тонкими струменями високого тиску (г)

підземних умовах 20 ... 70 т/год. Робоча довжина струменя використовується в межах 0,3 ... 10 м.

Для розробки вугіль середньої міцності і міцних, що мають тимчасовий опір стиску 18 ... 23 МПа, застосовується третя група струменів води тиском **15 ... 30 МПа** при насадках діаметром 4,5 ... 12 мм, рис. 2.1 в. Робоча довжина струменя використовується в межах 0,1 ... 4 м. Для даних параметрів струменів промисловість поки що виготовляє тільки насоси на тиск 32 МПа з недостатньою для цих робіт витратою води — 12 м³/год. Для створення ефективних струменів цієї групи необхідне виготовлення відповідних насосів. У деяких випадках можливе застосування підвищувачів тиску.

Вугілля середньої міцності і міцні з тимчасовим опором стиску 18 ... 38 МПа можуть руйнуватися *тонкими струменями високого тиску* — **35 ... 60 МПа** при насадках діаметром 1 ... 4 мм, рис. 2.1 г. Ці струмені мають витрати води 2 ... 17 м³/год. і ефективні при віддаленні вибою від насадки на 0,02 ... 0,4 м. У даний час такі струмені ще не знайшли широкого промислового застосування, але вико-

Таблиця 2.1 –Класифікація водяних струменів, що використовуються у гірничій промисловості

Група струменів	Початковий тиск P_0 , МПа	Діаметр насадки d_0 , мм	Витрата води Q , м ³ /год.	Робоча довжина струменя, l , м	Характеристика гірничих порід та корисних копалин, що розробляються
I. Низьконапірні струмені	0,3...2	50...190	500...4000	10...80	Піски, супіски, суглинки, крейдо-мергелі й інші породи з тимчасовим опором стиску 0,075...1 МПа
II. Струмені середнього тиску	3...13	14...45	40...400	0,3...10	Вугілля тріщинувате, слабе й середньої міцності з тимчасовим опором стиску 4,7...18 МПа та питомим водопоглинанням пласта 0,0035...0,2
III. Струмені високого тиску	15...30	4,5...12	10...50	0,1...4	Вугілля середньої міцності й міцне, антрацити з тимчасовим опором стиску 18...23 МПа
IV. Тонкі струмені високого тиску	35...60	1...4	2...30	0,02...0,4	Вугілля середньої міцності й міцне, антрацити з тимчасовим опором стиску 18...38 МПа
V. Струмені надвисокого тиску	70...300	0,2...0,9	2...22	0,005...0,05	Породи середньої міцності й міцні з тимчасовим опором стиску 60...160 МПа

нані дослідження, як стендові, так і дослідно-промислові, підтверджують високу ефективність застосування цих струменів.

Струмені надвисокого тиску експериментально застосовуються при руйнуванні міцних гірських порід з тимчасовим опором стиску 60 ... 180 МПа, при тиску струменя води **70 ... 300 МПа** і насадках діаметром 0,2 ... 0,9 мм. Ці струмені ще не мають широкого промислового застосування, однак вони ефективні при руйнуванні міцних порід, тому в них велика перспективність у майбутньому.

Дослідження і досвід застосування водяних струменів на гірничих роботах показав, що інтенсивність розмиву розкритих порід, руйнування вугілля знаходиться в залежності від фізико-механічних властивостей гірського масиву (міцності, в'язкості, тріщинуватості, водопоглинання) і від параметрів струменя (динамічних тисків, сили тиску струменя на масив, діаметра струменя, довжини початкової ділянки та ін.).

2.1.4 Структура струменя.

Дослідження структури гідромоніторного струменя показали, що поперечний перетин його характеризується наявністю трьох зон, рис 2.2. Перша зона, що знаходиться в центрі струменя, називається *ядром*. У ядрі струмінь має найбільшу щільність, оскільки суцільність потоку рідини ще не порушена. Швидкість потоку і динамічний тиск у ядрі дорівнюють швидкості і тиску на виході з насадки. З віддаленням від насадки площа перетину ядра зменшується. Друга зона оточує ядро. Вона характеризується порушенням суцільності потоку — наявністю пухирців повітря. У результаті взаємодії струменя з оточуючим повітрям швидкість потоку й динамічний тиск у цій зоні знижуються. Третя зона являє собою окремі роздроблені струмені і дрібні краплі води, що рухаються в повітряному середовищі.

Уздовж струменя розрізняють три ділянки. На *початковій ділянці* у поперечному перетині струменя є перша і друга зони. Струмінь компактний, має велику щільність та динамічний тиск. Наприкінці цієї ділянки перша зона (ядро) зникає. Для *перехідної ділянки* характерна наявність другої та третьої зон. Струмінь інтенсивно насичується повітрям і починає розпадатися, його щільність та динамічний тиск значно знижуються. На *ділянці розпаду* наявною є тільки третя зона — струмінь розпадається та практично повністю втрачає динамічний тиск.

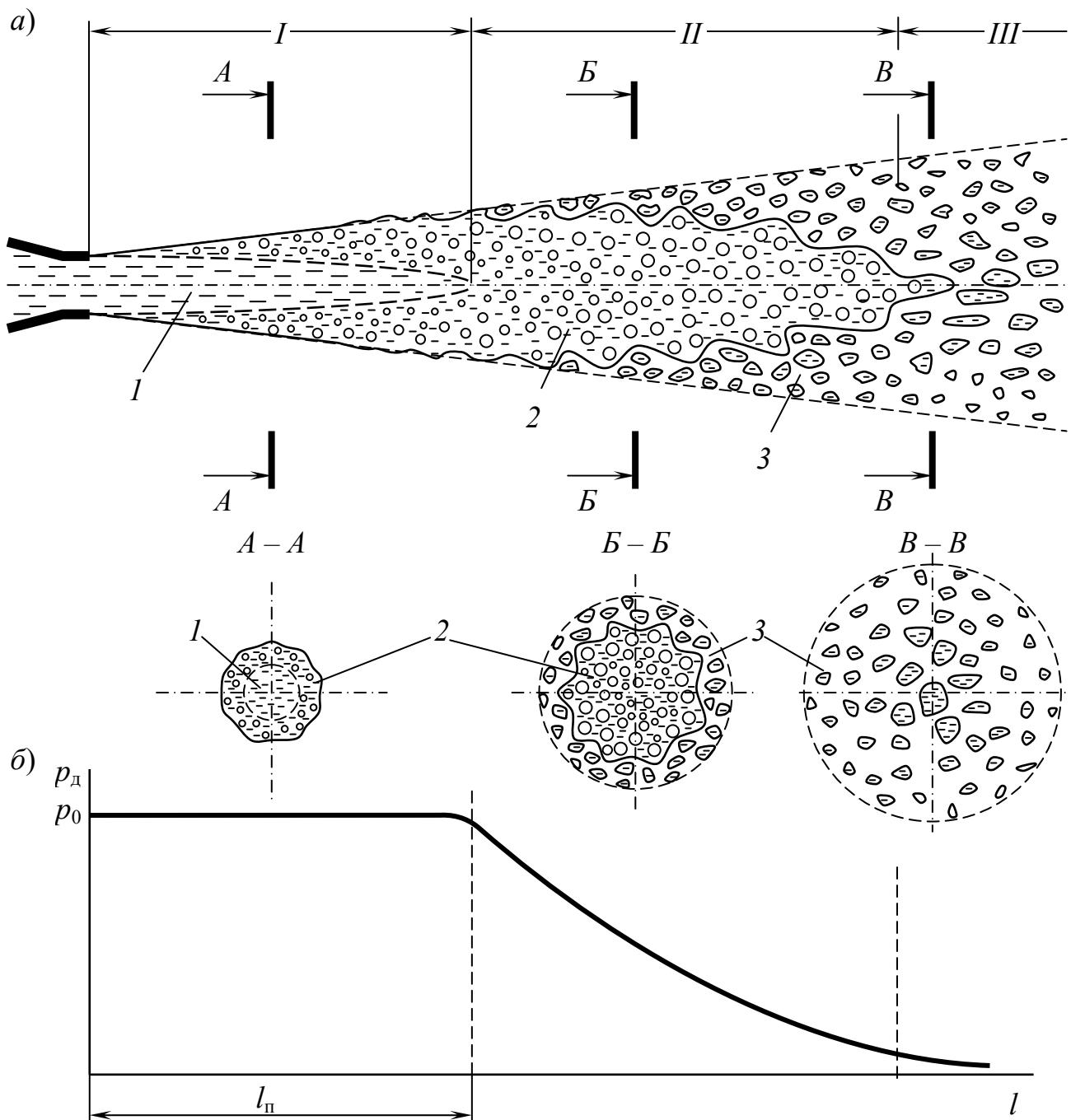


Рисунок 2.2 – Структурна схема гідромоніторного струменя (а) та графік залежності осевого динамічного тиску p_d від відстані l до насадки гідромонітора (б): I – початкова ділянка; II – перехідна ділянка; III – ділянка розпаду; 1 – ядро; 2, 3 – друга та третя зони щільності струменя

Довжина працездатної частини струменя залежить від діаметра насадки і напору води. Для гідромоніторів, що застосовуються на відкритих гірничих роботах, вона знаходиться в межах 350 ... 450 діаметрів насадки.

2.1.5 Формування струменя у проточному каналі гідромонітора та у насадці

У гідромоніторах режим руху води завжди турбулентний. Крім природної турбулентності, вихрі виникають на поворотах і в розширеннях трубопроводу. Завихрення в потоці перед насадкою знижують працездатність струменя.

Однією з основних умов формування напірного струменя води для руйнування гірських порід є необхідність одержання при вильоті з насадки струменя з динамічними характеристиками, що забезпечують високу ефективність руйнування масиву. Якість струменя може бути охарактеризована шляхом комплексного зіставлення таких його характеристик, як довжина початкової ділянки, осьовий і середній динамічні тиски по перетину струменя та ін. Більш компактний струмінь має велику довжину початкової ділянки, повільніше зменшення осьового динамічного тиску по довжині, більше значення середнього динамічного тиску на однаковій відстані. Епюра значень динамічного тиску по перетину в більш компактного струменя має менше убуття на віддаленні від осі. В результаті енергія струменя доноситься до масиву, що руйнується, у більш концентрованому виді. Структура і динамічні характеристики гідромоніторного струменя в значній мірі залежать від умов руху потоку води в проточному каналі.

Проточний канал гідромонітора включає коліна, поворотні шарніри, ствол, насадку і специфічні для тієї чи іншої конструкції гідромонітора вузли і деталі, рис. 2.3.

Найбільш істотною вадою потоку води в каналі гідромонітора є обертання потоку навколо подовжньої осі каналу, нерівномірність подовжньої швидкості, турбулентність і кавітація при великому тиску. Джерелом виникнення цих збурювань потоку в проточному каналі гідромонітора служать повороти каналу і різкі місцеві порушення прямолінійності у фасонних частинах.

Основна задача при формуванні струменя в стволі гідромонітора полягає в тому, щоб забезпечити ліквідацію збурювань, що з'являються в гідромоніторі. Для повного усунення несприятливого впливу на структуру і динаміку струменя турбулентних пульсацій необхідно мати прямолінійний ствол, довжина якого складала би приблизно 40 ... 50 діаметрів його каналу. У цьому випадку довжина ствола в низьконапірних гідромоніторів, найбільш розповсюджених на відкритих гірничих роботах, складала б 10 ... 18 м, а в гідромоніторів на

підземних гірничих роботах — 4 ... 5 м. Однак, стволи таких розмірів у практичних умовах не можуть бути використані, оскільки в цьому випадку керування гідромоніторами дуже ускладнюється, а їхня маса і трудомісткість обслуговування збільшуються. Тому для погашення підвищеної турбулентності застосовуються вирівнювачі потоку, що одержали назву заспокоювачів. При наявності заспокоювача в стволі гідромонітора довжина початкової ділянки струменя збільшується в 2 рази й осьовий динамічний тиск у струмені вже на відстані 7 м від насадки теж збільшується в 2 рази, рис. 2.4.

Конструкція заспокоювача відіграє істотну роль у процесі формування потоку води й усунення в ньому різного роду збурювань. На ефективність гасіння турбулентних пульсацій і збурювань потоку води в стволі гідромонітора впливають також довжина і місце розташування заспокоювача в стволі. Найбільш раціональним є стільниковий заспокоювач із шістнадцятьма комірками, утвореними пластинами. При відстані між заспокоювачем і кінцем ствола, рівним двом діаметрам ствола D_c , і довжині пластин $2,6 D_c$, гідромоніторний струмінь має найкращу компактність, тому що осьовий тиск у струмені на відстані 4 м від насадки найбільший в порівнянні з іншими розмірами і формами заспокоювачів. Для гідромоніторів, що застосовуються на відкритих роботах, раціональна довжина заспокоювача знаходиться в межах $(1,8 \dots 2) D_c$. Максимальні значення динамічного тиску струменя отримані у випадку, коли відстань між кінцем ствола і заспокоювачем складала $(1 \dots 1,5) D_c$. Стільниковий заспокоювач рекомендований для установки в стволах гідромоніторів *ГМ-350/175-125*, *ГМДУЭГ-250*, *ГМ-2* й ін. Для відкритих гірничих робіт рекомендований новий ствол гідромонітора, показаний на рис 2.3.

Остаточне формування водяного струменя відбувається в насадці. Обрис профілю насадки і чистота її внутрішньої поверхні визначають характер розподілу енергії потоку уздовж насадки. Падіння статичного напору залежить від довжини і кута конусності насадки, а компактність струменя — від умов формування потоку в насадці і втрат кінетичної енергії в ній. У результаті досліджень виявлено, що найбільш компактний струмінь дає насадка конічної форми з кутом конусності $\alpha = 7 \dots 10^\circ$ та з циліндричною ділянкою наприкінці довжиною $l_{\text{ц}} = (1,7 \dots 2,5) d_0$, де d_0 — діаметр насадки, рис. 2.5. Розміри насадок наведено у табл. 2.2.

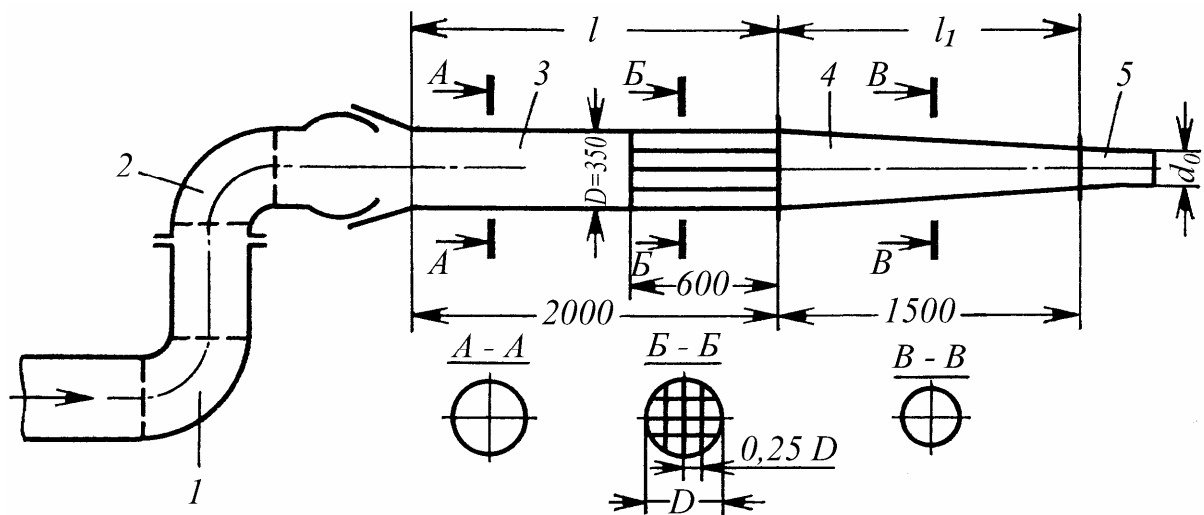


Рисунок 2.3 – Схема ствола гідромонітора із заспокоювачем: 1 – нижнє коліно; 2 – верхнє коліно; 3 – ствол; 4 – стільниковий заспокоювач; 5 – насадка

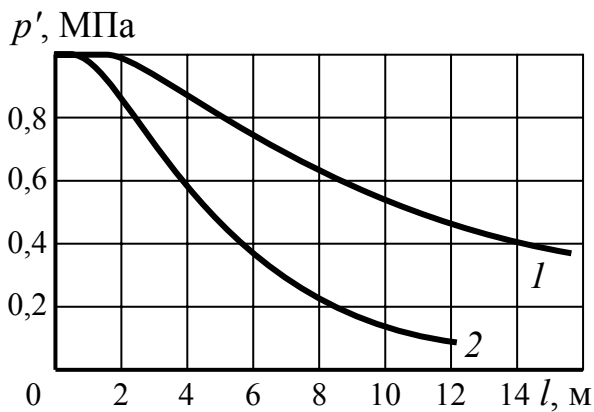


Рисунок 2.4 – Графік залежності осьового динамічного тиску в струмені від відстані до насадки гідромонітора при наявності (1) і відсутності (2) заспокоювача

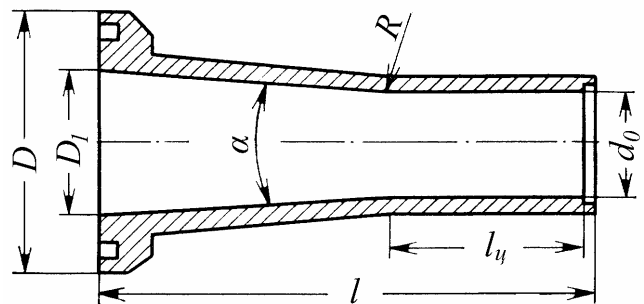


Рисунок 2.5 – Конструкція насадки з циліндричною ділянкою

Таблиця 2.2 – Розміри насадок для гідромонітора ГМ-350, см. рис. 2.5

Діаметр насадки, мм	Кут конусності, град.	Довжина циліндричної ділянки, мм	Загальна довжина насадки, мм
125	10,5	320	730
140	8,5	310	718
150	7,16	300	700
160	6	295	682
165	5,66	290	645
175	5	285	575

Значний вплив на компактність струменя робить також турбулентність у приграничному шарі води біля стінки насадки. Джерелом такого збурювання можуть бути шорсткість стінок, пороги, канавки, а також недостатньо плавне сполучення конічної і циліндричної частин насадок. При досить плавному сполученні конуса з циліндром у насадці і гладкій внутрішній поверхні її стінок турбулентність у приграничному шарі води буде мінімальною. Рекомендується обробляти внутрішню поверхню насадки по 10-му класі, а потім хромувати.

2.1.6 Динамічні й структурні характеристики струменя

1) Дальність польоту струменя

Якщо не враховувати аерацію струменя, опір повітря і висоту розташування ствола гідромонітора щодо умовного обрію, то дальність польоту струменя по горизонталі

$$l = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha, \quad (2.1)$$

де: v_0 — швидкість витікання струменя з насадки; α — кут нахилу струменя до обрію; g — прискорення вільного падіння.

2) Осьовий динамічний тиск

Відмінною рисою руйнування гірського масиву струменем води є мінливість динамічних і структурних характеристик струменя в міру збільшення відстані між насадкою і масивом, що руйнується. Зі збільшенням відстані від насадки збільшується діаметр струменя (у результаті взаємодії з навколишнім середовищем і під впливом інших гідродинамічних факторів). При цьому струмінь поступово утрачає свою кінетичну енергію і його динамічний тиск зменшується.

Уздовж початкової ділянки осьовий динамічний тиск струменя остається практично незмінним і дорівнює тиску перед насадкою p_0

$$p' = p_0, \quad 0 \leq l \leq l_{\pi}. \quad (2.2)$$

де l_{π} — довжина початкової ділянки струменя; l — відстань від насадки.

Поза початковою ділянкою осьовий динамічний тиск зменшується, див. рис. 2.2 б. Для ділянки струменя, що відповідає відношенню $l/l_{\pi} = 1 \dots 10$, на підставі експериментальних даних отримана залежність

$$\frac{p'}{p_0} = \left(\frac{l_{\pi}}{l} \right)^k, \quad l_{\pi} \leq l \leq 10l_{\pi}, \quad (2.3)$$

Показник ступеня k характеризує інтенсивність процесу розпаду струменя і зменшення його осевого динамічного тиску в міру збільшення відстані від насадки. Чим більше значення k , тим гірше компактність струменя. Для низьконапірних водяних струменів при насадці діаметром 50 ... 190 мм $k = 0,5$.

3) Початкова ділянка струменя

Довжина початкової ділянки струменя залежить від різних факторів, з яких найбільш важливими є вихідні параметри струменя, формування її в стволі гідромонітора, форма і якість обробки внутрішньої поверхні насадки.

У ІГС ім. О. О. Скочинського (Росія) досліджено залежність $l_n/d_0 = f(Re)$. Для низьконапірного гідромоніторного струменя, що застосовується на відкритих гірничих роботах, ця залежність має лінійний характер і описується рівнянням

$$\frac{l_n}{d_0} = A - B Re, \quad (2.4)$$

де $Re = v_0 d_0 / \nu$ – число Рейнольдса для початкового перетину струменя; v_0 – швидкість витікання струменя з насадки; d_0 – діаметр насадки; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості ($\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$ м²/с при температурі води 20°C); A, B – емпіричні коефіцієнти, табл. 2.3.

Зі збільшенням діаметра насадки довжина початкової ділянки струменя зростає.

4) Середній динамічний тиск струменя

Дія струменя на масив залежить від середнього динамічного тиску по перетину струменя у точці контакту з вибоєм і від площі цього перетину. Середній динамічний тиск струменя

$$p_\omega = \frac{1}{\omega} \int p d\omega = \frac{P}{\omega}, \quad (2.5)$$

де ω – площа поперечного перетину струменя; p – динамічний тиск у деякій точці перетину; P – сумарна сила динамічного тиску.

Оскільки зі збільшенням відстані від насадки струмінь розширюється і втрачає частину своєї енергії, то

$$P = p_0 \omega_0 \varphi_1, \quad (2.6)$$

$$p_\omega = p_0 \varphi_2, \quad (2.7)$$

де ω_0 – площа вихідного отвору насадки; φ_1, φ_2 – коефіцієнти, що враховують зменшення сили тиску і середнього динамічного тиску струменя на відстані l від насадки.

Таблиця 2.3. Значення емпіричних коефіцієнтів A і B

Гідромонітори	Конструктивні особливості насадки	Значення коефіцієнтів	
		A	B
ГМ-2	Конічна насадка з циліндричною ділянкою довжиною $0,5 d_0$ і чистотою обробки внутрішньої поверхні по 3-му класі	62	$17 \cdot 10^{-6}$
	Те ж, з циліндричною ділянкою довжиною $4 d_0$ і чистотою обробки по 4-му класі	80	$17 \cdot 10^{-6}$
ГМН-250	Те ж, з циліндричною ділянкою довжиною $0,5 d_0$ і чистотою обробки по 4-му класі	76	$12 \cdot 10^{-6}$
КУГУ-350	Те ж, з циліндричною ділянкою довжиною $2,6 d_0$ і чистотою обробки по 5-му класі	139	$17 \cdot 10^{-6}$
ГМДУЭГ-250	Те ж, з чистотою обробки по 8-му класі	147	$25 \cdot 10^{-6}$
ГМ-350	Те ж	162	$17 \cdot 10^{-6}$

Між коефіцієнтом φ_1 і відстанню l на ділянці $6 \dots 25$ м при насадці діаметром $57 \dots 75$ мм і напорі струменя $50 \dots 85$ м існує наступна, установлена Г. А. Нурком, залежність

$$\varphi_1 = 1 - 0,0012 l^2 + 0,0066 l. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт φ_2 залежить від відстані до насадки, діаметра і якості насадки, початкового напору перед нею, особливостей формування струменя в гідромоніторі й інших факторів. Для визначення коефіцієнта φ_2 при використанні насадок діаметром більше 50 мм і $l/d_0 > 20$ Г. Н. Роєром запропоновано емпіричну формулу

$$\varphi_2 = \frac{p_\omega}{p_0} = \left(\frac{a}{\frac{l}{d_0} + 30} \right)^2, \quad (2.9)$$

де a — емпіричний коефіцієнт, що визначається за графіком, рис. 2.6.

Для насадок діаметром $100 \dots 190$ мм середній динамічний тиск струменя

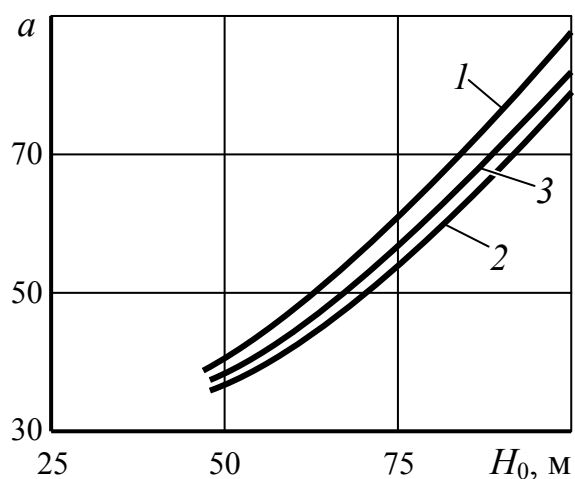


Рис. 2.6. Графіки до визначення коефіцієнта a :
 1 – для ділянки струменя у межах 0 ... 10 м від насадки;
 2 – те ж, 10 ... 20 м;
 3 – по всій довжині струменя

$$p_{\omega} = p' B_0 \frac{1 - 0,00044 \frac{l}{d_0}}{1 + 0,0004 \frac{l}{d_0}}, \quad (2.10)$$

де B_0 – коефіцієнт, який дорівнює 0,7 і 0,6 відповідно в межах початкової ділянки струменя і за його межами.

5) Діаметр струменя

За межами насадки гідромоніторний струмінь поступово розширюється. Це спричинено існуванням у струмені поперечних швидкостей, що викликані турбулентністю потоку при виході струменя з насадки і її взаємодією з повітрям. На відстані l від насадки діаметр струменя визначається за емпіричною формулою

$$D = 1,01 d_0 \mu^{0,5} \left(\frac{l}{d_0} \right)^{0,115} \left(\frac{p_0}{p_{\omega}} \right)^{0,25}, \quad (2.11)$$

де $\mu = 0,9 \dots 0,98$ — коефіцієнт витрати насадки.

При насадці діаметром 50 ... 75 мм і тиску 0,6 ... 0,9 МПа діаметр струменя визначається за формулою

$$D = k d_0 l^{0,65}, \quad (2.12)$$

де $k = 1,1 \dots 1,46$ — коефіцієнт, що враховує аерацію струменя і залежить від діаметра насадки і початкового напору.

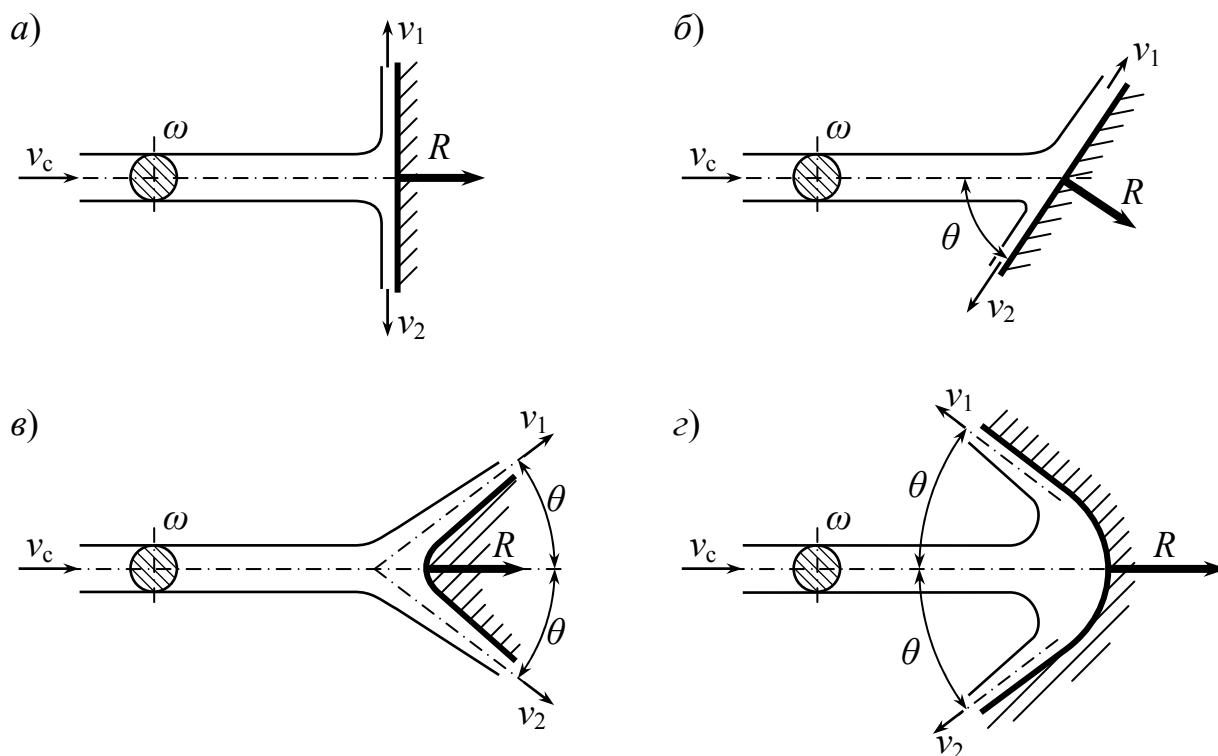


Рисунок 2.7 – Схеми дії струменя на перпендикулярну до вісі струменя (а), похилу (б), опуклу (в) та увігнуту (г) перешкоди

б) Сила удару струменя об перешкоду

Якщо струмінь при своєму русі зустрічає плоску перешкоду, яка розташована перпендикулярно до осі струменя, рис. 2.7 а, на основі теореми про рівність зміни імпульсу й імпульсу зовнішньої сили одержимо

$$R_{\perp} = \rho_c v_c^2 \omega = 2 p_0 \varphi_2 \omega, \quad (2.13)$$

де ρ_c , v_c та ω — середня щільність, середня швидкість та площа перетину струменя на відстані l від насадки.

Для визначення сили удару струменя об плоску перешкоду, розташовану перпендикулярно до осі струменя, можна скористатися емпіричною формулою ІГС ім. О. О. Скочинського:

$$R_{\perp} = 2 p_0 \omega_0 \left(1,06 - 4 \cdot 10^{-4} \frac{l}{d_0} \right), \quad (2.14)$$

Гідромоніторний струмінь може зустріти на своєму шляху різні перешкоди. У залежності від форми перешкоди, відстані від насадки до перешкоди і параметрів струменя сила його удару об перешкоду змінюється. Для випадку, коли струмінь зустрічає на своєму шляху

плоску стіну, нахилену під деяким кутом θ до напрямку руху струменя, рис. 2.7 б

$$R_{\angle} = \rho_c v_c^2 \omega \sin \theta = 2 p_0 \varphi_2 \omega \sin \theta = R_{\perp} \sin \theta. \quad (2.15)$$

Для опуклої або увігнутої перешкоди, рис. 2.7 в, г

$$R_{<} = \rho_c v_c^2 \omega (1 - \cos \theta) = 2 p_0 \varphi_2 \omega (1 - \cos \theta) = R_{\perp} (1 - \cos \theta). \quad (2.16)$$

Для увігнутої перешкоди при $\theta = 180^\circ$

$$R_{\supset} = 2 \rho_c v_c^2 \omega = 4 p_0 \varphi_2 \omega = 2 R_{\perp}. \quad (2.17)$$

Таким чином, найбільша сила виникає при дії струменя на лунку в масиві (удвічі більша, ніж при дії на плоску поверхню), а найменша — при дії на похилу поверхню або на виступ.

2.1.7 Параметри затопленого струменя.

Підводний видобуток корисних копалин з попереднім розпушуванням породи перед її усмоктуванням здійснюється з використанням затопленого струменя. Для підвищення ефективності роботи гідравлічних розпушувачів і вибору їхніх параметрів необхідно виявити вплив цих параметрів на діаметр і швидкість руху струменя в залежності від відстані до насадки.

Затопленим називається струмінь, для якого виконується умова $\rho \leq \rho_l$, де ρ та ρ_l — щільність речовини струменя та середовища. Оскільки на практиці майже завжди $\rho \approx \rho_l$ (водяний струмінь рухається у воді), то надалі будемо розглядати тільки цей випадок.

Відповідно до досліджень І. М. Коновалова, при витіканні струменя в нерухоме середовище секундна кількість руху уздовж осі струменя постійна (сили тертя роблять дуже незначний вплив на рух струменя), тобто

$$\rho \omega v^2 = \rho \omega_0 v_0^2 \approx \text{const}, \quad (2.18)$$

де ω_0 , ω — площі вихідного перетину насадки і перетину струменя на відстані l від насадки; v_0 , v — початкова швидкість струменя і її середня швидкість на відстані l від насадки.

У результаті їм були отримані наступні формули для розрахунку параметрів затоплених струменів:

1) Швидкість потоку уздовж вісі струменя

$$v(l + md_0) = v_0 md_0 = \text{const}, \quad \text{або} \quad v = v_0 \frac{md_0}{l + md_0}, \quad (2.19)$$

де m – коефіцієнт, який за даними експериментальних досліджень дорівнює 2,9...3,0.

2) Тиск уздовж вісі потоку

$$p = p_{\text{ср}} - \frac{\rho v^2}{8(1 + 4m^2)}, \quad (2.20)$$

де $p_{\text{ср}}$ – тиск у навколишньому середовищі.

3) Витрата води у будь-якому перетині струменя

$$Q = Q_0 \frac{v_0}{v} = Q_0 \left(\frac{l}{md_0} + 1 \right), \quad (2.21)$$

де Q_0 — витрата води через насадку, м³/с.

4) Потужність струменя

$$E = \frac{\rho Q v^2}{2} = \frac{md_0}{l + md_0} \cdot \frac{\rho Q_0 v_0^2}{2} = \frac{md_0}{l + md_0} E_0, \quad (2.22)$$

де E_0 — потужність струменя на виході з насадки.

У процесі підводної розробки порід напірний струмінь працює в умовах насичення води породою, тому зменшення потужності струменя відбувається більш різко. Розпушення породи напірним струменем може відбуватися ефективно при максимальному наближенні насадки до поверхні вибою і створенні спеціальних пристроїв, що зберігають компактність струменя.

2.1.8 Воронка граничного розмиву.

Якщо встановити під кутом α до дна і на висоті a від нього насадку, рис. 2.8, то розмив буде відбуватися доти, доки швидкість на границі з ґрунтом не зрівняється з розмивною швидкістю для даного ґрунту. З цієї умови визначаються параметри воронки граничного розмиву.

1) Максимальна довжина розмиву

$$l_p = md_0 \left(\frac{v_0}{v_p} - 1 \right), \quad (2.23)$$

де v_p — розмивна швидкість для даного ґрунту, табл. 2.4.

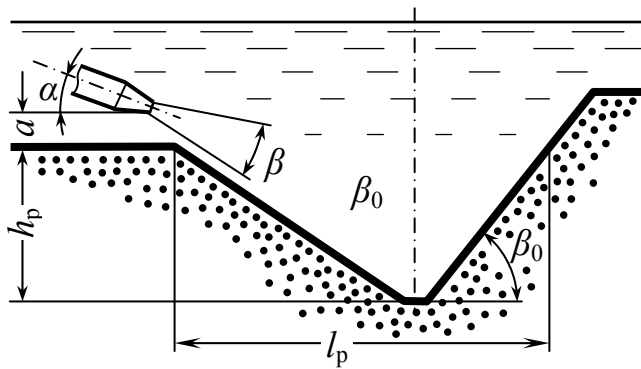


Рисунок 2.8 – Схема до визначення параметрів підводного розмиву (по І. М. Коновалову)

Таблиця 2.4 – Розмивна швидкість при підводному розмиві

Ґрунт, що розмивається	Швидкість v_p , м/с
Мул нещільний, пісок дрібний	1,0
Пісок середньої крупності незцементований	1,2...1,5
Пісок крупний незцементований, супісок	1,5...2,0
Гравій	1,8...2,0
Галька (до 75 мм)	2,0...2,5

2) Гранична глибина розмиву

$$h_p = d_0 \left[m \left(\frac{v_0}{v_p} - 1 \right) \sin \alpha + \frac{v_0}{2v_p} \cos \alpha \right] - a. \quad (2.24)$$

3) Гранична довжина воронки розмиву на рівні дна

$$l_p = h_p \left[\operatorname{ctg} \left(\alpha + \frac{\beta}{2} \right) + \operatorname{ctg} \beta_0 \right], \quad (2.25)$$

де β_0 – кут природного укосу ґрунту при дії струменя; β – кут розширення струменя

$$\beta = 2 \arctg \frac{1}{2m}. \quad (2.26)$$

2.2 Розробка вугілля і порід гідромоніторами

2.2.1 Загальні відомості

Розрізняють первинне і вторинне гідравлічне руйнування порід. Під **первинним гідравлічним руйнуванням** порід розуміють порушення їхньої структури в цілині, при якому руйнується зв'язність часток і порода перетворюється в пульпу. Під **вторинним гідравлічним руйнуванням** розуміють гідравлічне руйнування розпушених порід після того, як вони відділені від цілини механічними засобами і мають вже порушену структуру.

Способи первинного гідравлічного руйнування порід наведені у табл. 2.5

У зв'язку з активним характером впливу струменя на породу, руйнування її водою відбувається при меншому тиску, ніж механічними засобами.

Інтенсивність руйнування порід у масиві залежить від прийнятої організації робіт і розташування гідромоніторів на площадці уступу. При розташуванні гідромоніторів на нижній площадці уступу, коли вибій розташований у цілині, процес руйнування породи відбувається в такий спосіб. Гідромонітор спочатку створює врубіву щілину, що проводиться одночасно по усьому фронті розмиву. Коли врубіву щілина досягне визначеної глибини, відбувається обвалення укошу. Завалена порода при падінні порушує свою структуру, що в значній мірі полегшує розмив. У найпростішому випадку розмиву породного масиву розрізняють три робочі операції: *підрізування уступу*, *змив* заваленої породи, *промивання* пульпоприймальної канави.

Таблиця 2.5 – Способи первинного гідравлічного руйнування порід

Спосіб руйнування	Засоби руйнування
Гідромоніторний розмив напірним струменем	Гідромонітори різних конструкцій
Руйнування насиченням водою	Водонасичувальні трубки
Руйнування за рахунок впливу безнапірного потоку	Подачею з прийомного укошу самопливного потоку води
Руйнування усмоктуванням породи	Усмоктувальні пристрої земснарядів
Руйнування імпульсними струменями	Імпульсні гідромонітори, гідравлічні тарани й ін.

2.2.2 Організація гідромоніторного розмиву порід

Кар'єрне поле, що призначене для розробки гідромоніторами, поділяється на заходки та блоки, рис. 2.9. **Заходка** це частина уступу по його ширині, яку розробляють без пересування основного гідротранспортного устаткування. **Блок** — частина заходки, що розробляється самостійними засобами виймання. Основні параметри блока — довжина L_6 та ширина B_6 — визначаються, виходячи з техніко-економічних показників експлуатації гідромоніторних установок та засобів гідротранспорту, див. п. 2.2.6.

Розмив уступу може провадитися побіжним, зустрічним чи побіжно-зустрічним вибоєм, рис. 2.10.

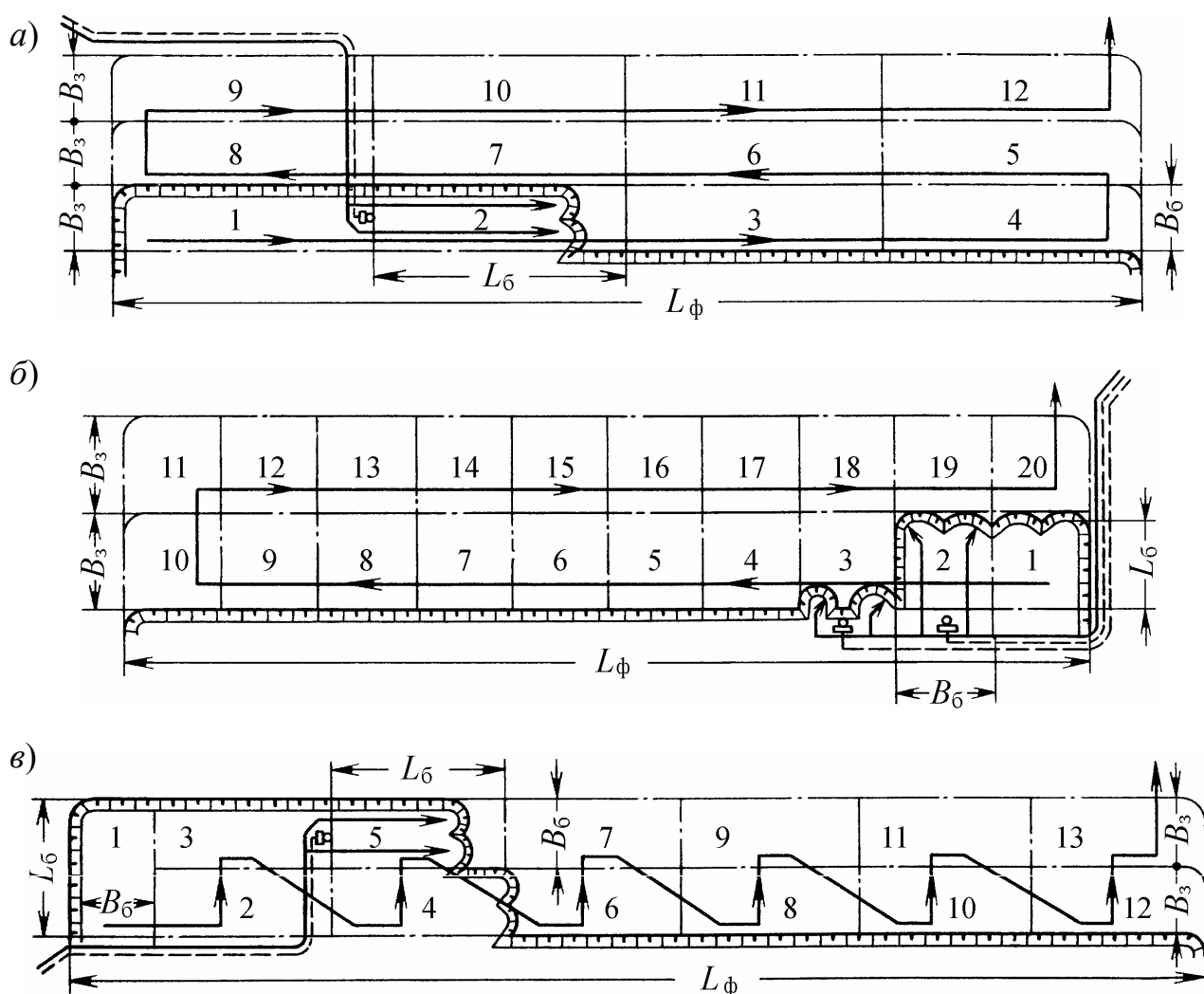


Рисунок 2.9 – Схеми розділення кар'єрного поля на блоки при відпрацюванні заходок уздовж фронту робіт, а блоків з торцю (а) та з укосу (б) уступу, а також при відпрацюванні заходок поперечно-подовжнім способом, а блоків з торцю уступу (в): L_ϕ – довжина фронту робіт; B_3 – ширина заходки; L_6 , B_6 – довжина та ширина блока; цифрами позначені номери блоків у порядку їхнього відпрацювання

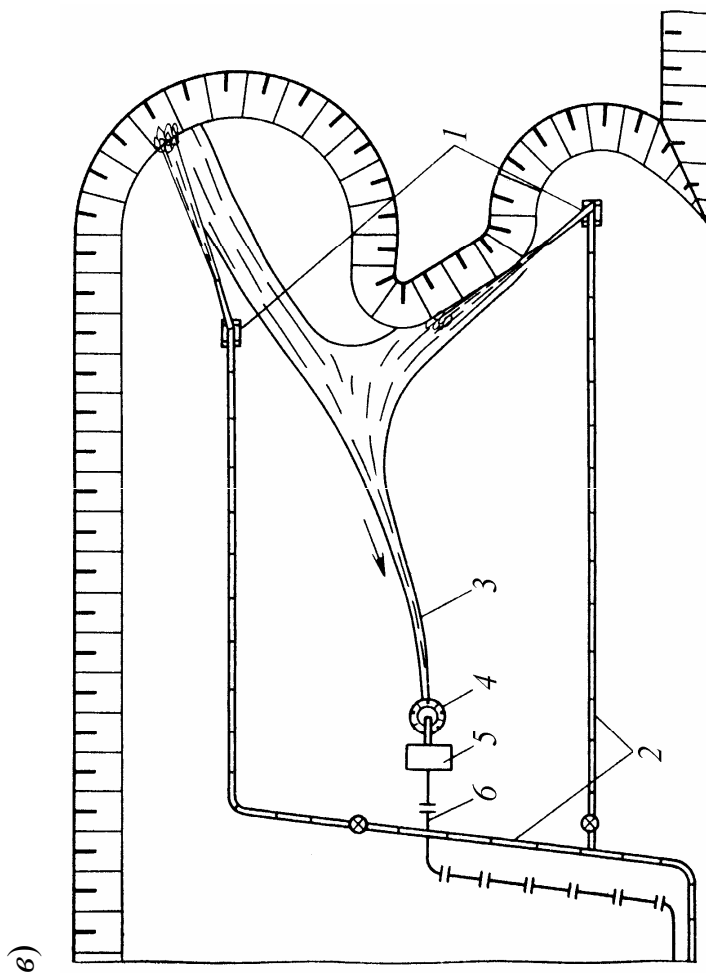
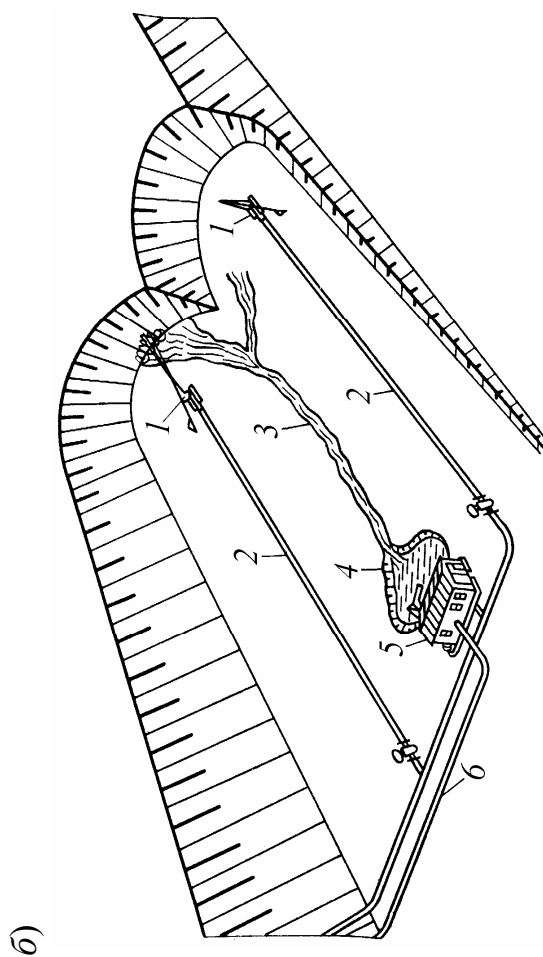
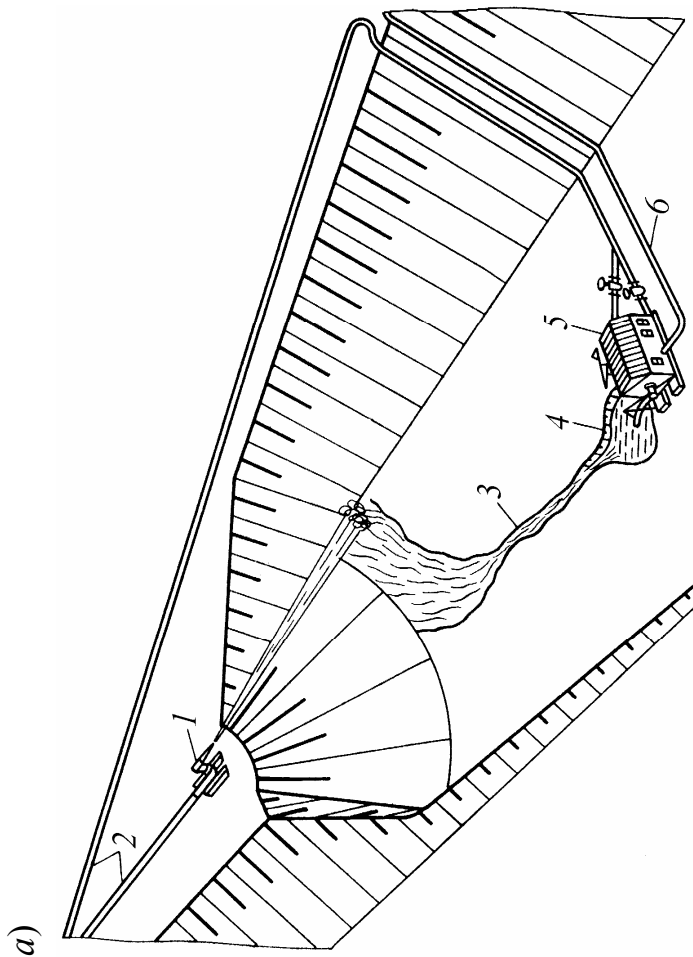


Рисунок 2.10 – Схеми розмиву порід побіжним (a), зустрічним (б) та побіжно-зустрічним (в) вибоями: 1 – гідромонітор; 2 – водовід; 3 – потік гідросуміші; 4 – зумпф; 5 – землесосна установка; 6 – пульпопровід

Розмив, при якому напрямок руху потоку пульпи у вибої збігається з напрямком руху струменя гідромонітора, називається розмивом **побіжним вибоєм**, а при напрямку стоку пульпи, протилежному руху гідромоніторного струменя, — **зустрічним вибоєм**. При розробці уступу з його верхньої площадки з установкою там гідромонітора розмив провадиться переважно побіжним вибоєм, при розробці уступу з нижньої площадки — побіжним або зустрічним вибоєм. Іноді застосовують **побіжно-зустрічний** вибій.

Перевага розмиву з верхньої площадки уступу побіжним вибоєм полягає в тому, що гідромонітори і водоводи завжди знаходяться в сухому місці, що значно полегшує роботу персоналу і пересувку устаткування. Крім того, розмив може провадитися з меншим недомивом, тому що струмінь гідромонітора, діючи по напрямку потоку пульпи, сприяє переміщенню породи.

Недоліком цього способу є менша ефективність руйнування масиву, оскільки струмінь діє на масив під малим кутом, а також через неможливість роботи з підрізуванням та обваленням масиву. Тому розмив побіжним вибоєм використовується при розробці легких порід. Розмив уступу побіжним вибоєм може бути більш ефективним при попередній підготовці на нижній площадці уступу прийомної канави для відводу пульпи.

При розмиві зустрічним вибоєм з розташуванням гідромонітора на нижній площадці струмінь розробляє породу з підбійкою та обваленням уступу. Такий метод є найбільш ефективним. Його недоліком є зволоження робочої площадки, що погіршує умови експлуатації устаткування та ускладнює роботу персоналу.

Якщо уступ складений двома шарами порід, з яких верхній шар з пухкої, а нижній — з більш щільної породи, ефективним є розділення уступу на два підуступи, з яких верхній розробляється побіжним, а нижній — зустрічним вибоєм, рис. 2.11.

Розмив порід складається з операцій: утворення врубу, що сприяє обваленню укусу (“підрізування” або “підбійка” уступу), змив заваленого ґрунту, промивання пульпоприймальної канави.

Розмив породи з підбійкою уступу найчастіше здійснюється при мінімальній висоті зарубної щілини. Необхідно прагнути, щоб ця висота не перевищувала 0,2 ... 0,4 м. При цьому операцію підрізування варто робити при плавному повороті гідромонітора, аби запобігти скупченню води в зарубній щілині.

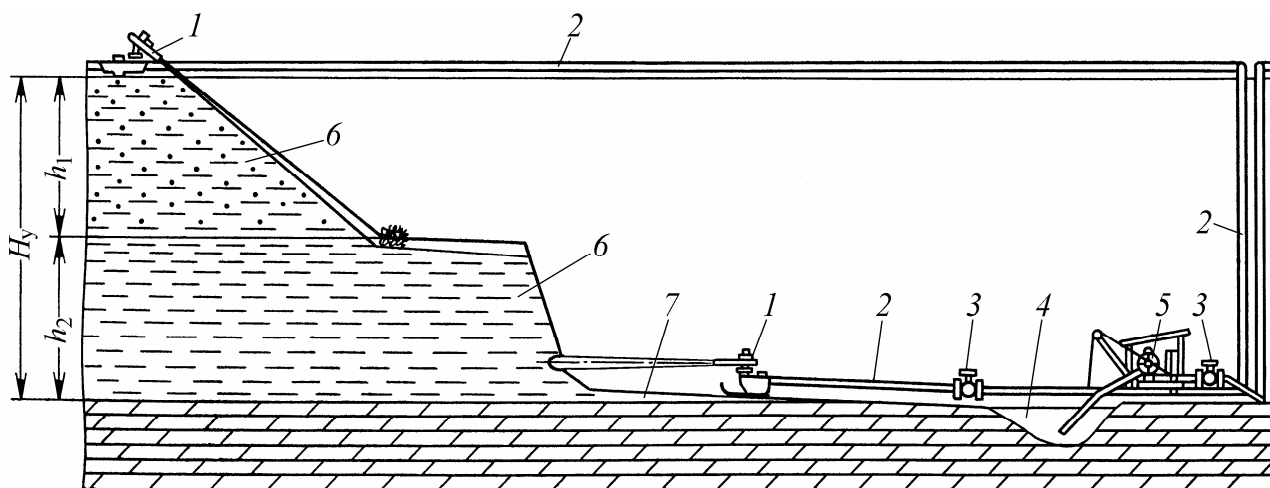


Рисунок 2.11 – Схема гідравлічної розробки порід з поділом уступу на два підступи: 1 – гідромонітор; 2 – трубопровід; 3 – засувки; 4 – зумпф; 5 – землесос; 6 – підступ; 7 – недомив

Розмив незв'язних порід може провадитися без підрізування. Змив заваленої породи роблять рівномірними порціями. Операція по змиву звичайно сполучається з операцією по підрізуванню вибою з таким розрахунком, щоб вода після підрізування використовувалася на змиві.

Найменша відстань гідромонітора від вибою приймається з такою умовою, щоб порода, що обрешується у вибої, була безпечна для персоналу і гідромонітора.

Найбільша відстань монітора від вибою $L_{\max}$ дорівнює сумі найменшої відстані $L_{\min}$ і кроку a пересувки гідромонітора:

$$L_{\max} = L_{\min} + a_m. \quad (2.27)$$

Крок пересувки звичайно приймається кратним довжині секцій трубопроводу, в межах від 6 до 12 м.

При визначенні кількості діючих гідромоніторів прагнуть до того, щоб при установленій водопродуктивності гідромоніторів число їх було *найменшим*.

При проектуванні процесів гідромоніторного розмиву складаються графіки циклічності робочих операцій. Під *циклічністю* розуміється послідовність робочих операцій, що виконується на даному фронті робіт протягом визначеного проміжку часу. При гідромоніторному розмиві такими операціями є: *підрізування уступу, змив заваленої породи, збирання недомиву, демонтаж гідромонітора, пересування гідромонітора і монтаж у новому місці робіт*. Під час перестановки одного гідромонітора розробка породи ведеться резервним гідромонітором. У зв'язку з тим, що збирання недомиву прова-

диться не після кожної пересувки, ця операція враховується в циклі робіт між двома пересувками гідромонітора і визначаються за формулою

$$t_{\text{м.п}} = \frac{W_{\text{п}}}{Q_{\text{т}}} + t_{\text{д}} + t_{\text{п}} + t_{\text{м}}, \quad (2.28)$$

де $W_{\text{п}}$ — обсяг породи, що розробляється з однієї стоянки гідромонітора; $Q_{\text{т}}$ — продуктивність гідромонітора по породі; $t_{\text{д}}$ — час на демонтаж; $t_{\text{п}}$ — час на пересування; $t_{\text{м}}$ — час на монтаж.

Обсяг породи, що розробляється з однієї стоянки

$$W_{\text{п}} = H_{\text{у}} L_{\text{ф.м}} a_{\text{м}}, \quad (2.29)$$

де $H_{\text{у}}$ — середня висота уступу з урахуванням величини недобору; $L_{\text{ф.м}}$ — довжина фронту робіт одного гідромонітора; $a_{\text{м}}$ — крок пересування гідромонітора.

Час на пересування гідромонітора без застосування спеціальних механізмів наведено в табл. 2.6.

Недомив утворюється на робочій площадці уступу в зв'язку з необхідністю мати ухил для транспортування пульпи. Найбільша висота недомиву звичайно складає 1,5 ... 2,5 м, рис. 2.12 а. Його величина залежить від характеру порід, що транспортуються, і прийнятої організації робіт. На деяких кар'єрах цементної сировини обсяг недомиву досягає 25%, а на вугільних кар'єрах — 30 ... 35% загального обсягу розкриття.

Видалення недомиву безпосереднім розмивом породи є неефективним. Звичайно його розробляють екскаваторами або тракторними стругами і після концентрації в одному місці розмивають гідромонітором. Для зменшення обсягу недомиву подовжують усмоктувальну трубу землесоса. У цьому випадку на відстані одного кроку пересувки землесоса передбачають не один, а кілька пульпоприймальників — зумпфів (через 15 ... 20 м), рис. 2.12 б. Таким чином, шлях стікання пульпи коротшає, а обсяг недомиву ґрунту і кількість пересувок землесоса зменшуються.

Таблиця 2.6 – Трудомісткість пересування гідромонітора

Вага гідромонітора, т	Число робітників у ланці		Норма часу на одну пересувку, ч
	5 розряду	4 розряду	
До 0,5	1	2	4,4
Понад 0,5	1	4	10

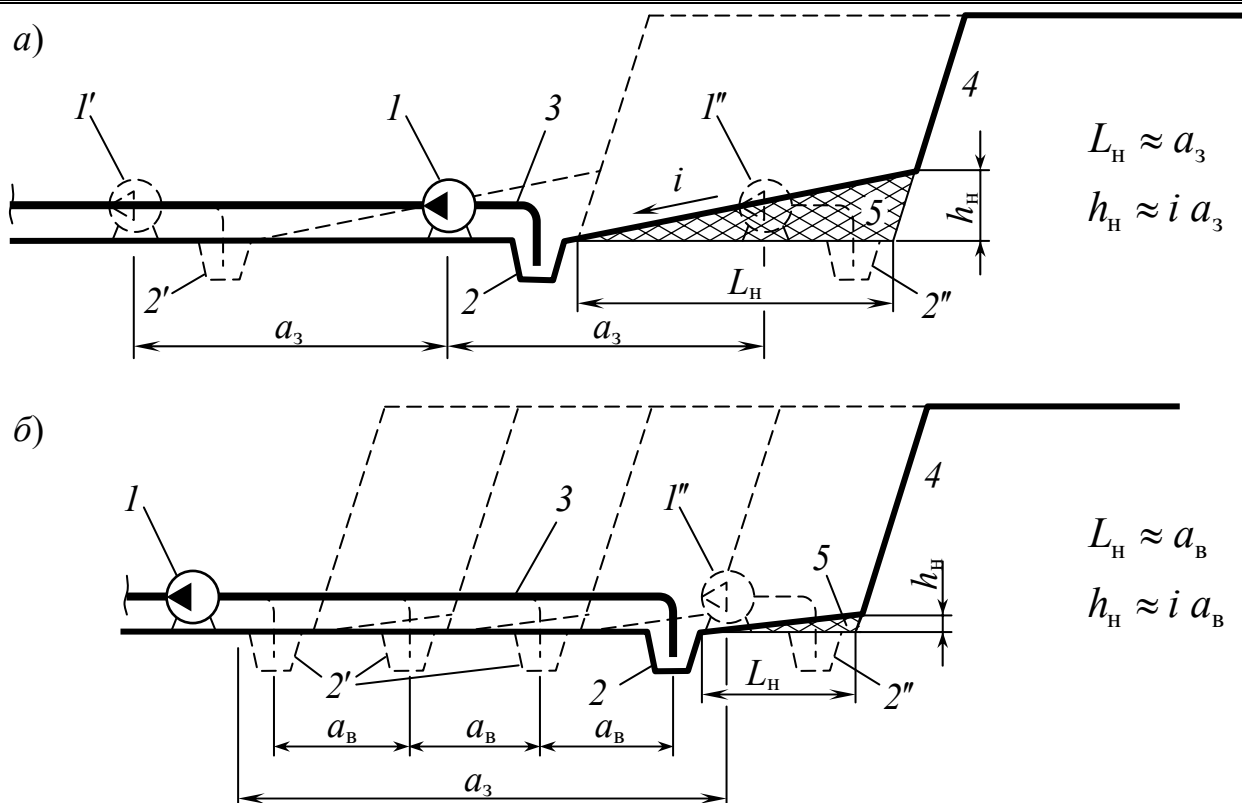


Рисунок 2.12 – Схема утворення недовиву (а) та спосіб зменшення недовиву подовженням всмоктувальної труби землесоса (б): 1 – землесос; I' , I'' – попереднє та наступне положення землесоса; 2 – зумпф; $2'$, $2''$ – попереднє та наступне положення зумпфа; 3 – всмоктувальний трубопровід; 4 – уступ; 5 – недовив

2.2.3 Витрати води й напори, потрібні для розмиву порід

Витрату води, необхідну для розмиву і гідротранспортування 1 м^3 ґрунту, називають **питомою витратою води**.

Витрати води на розмив породи і необхідні для цього напори визначаються фізико-механічними властивостями порід і прийнятих способів розробки, табл. 2.7. У табл. 2.8 наведено питомі витрати води, необхідні напори у насадках гідромоніторів та ухили на нижніх площадках уступів за діючими нормативами.

Таблиця 2.7 – Руйнівний тиск струменя на вибій.

Група порід по важкості гідромоніторної розробки	Породи	Руйнівний тиск води на вибій, МПа
Легкі	Супіски, суглинок легкий пухкий	0,045 ... 0,08
Середні	Суглинки легкі й середні	0,20 ... 0,25
Важкі	Суглинки середні й важкі, глини піщані	0,38 ... 0,40
Дуже важкі	Глини важкі піщані зі вмістом гравію	0,56 ... 0,60

2.2.4 Розрахунок гідромонітора

Ефективність руйнування гірських порід напірним струменем води залежить від характеристики струменя гідромонітора, фізико-механічних властивостей порід, що розробляються, організації і послідовності гідравлічного руйнування порід. Гідромонітор служить для створення щільного, компактного струменя і керування його польотом.

При *гідравлічному розрахунку* гідромонітора визначають швидкість вильоту струменя з насадки, витрату води і втрати напору в гідромоніторі:

1) Швидкість вильоту струменя з насадки

$$v = \varphi \sqrt{2gH} = \varphi \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (2.30)$$

де φ – коефіцієнт швидкості; $\varphi = 0,92 \dots 0,96$; $H(p)$ — напір (тиск) води перед насадкою; ρ – щільність води.

2) Витрата води

$$Q = \mu \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gH} = \mu \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (2.31)$$

де μ – коефіцієнт витрати $\mu = 0,92 \dots 0,96$.

3) Діаметр насадки

$$d_0 = 2 \sqrt{\frac{Q}{\mu \pi \sqrt{2gH}}} = 2 \sqrt{\frac{Q}{\mu \pi \sqrt{2p/\rho}}} \approx 0,55 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}}. \quad (2.32)$$

Для визначення числа і параметрів роботи гідромоніторів необхідно знати характеристику порід, схему розробки і висоту уступів. По цих характеристиках за допомогою нормативів, табл. 2.8, визначається потрібна *питома витрата води* q і необхідний *напір* H . Задаючись діаметром насадки, визначають витрату одного гідромонітора Q .

4) Число робочих гідромоніторів при розробці горизонту

$$n = \frac{W q}{t k_B Q}, \quad (2.33)$$

де W – річний обсяг робіт на робочому горизонті; q – питома витрата води; t — період розробки горизонту; k_B — коефіцієнт використання установки за часом, табл. 2.9.

Таблиця 2.8 – Напір, витрата води й ухил вибою, необхідні для видобування різних типів ґрунтів

Група порід	Породи	Необхідний напір перед насадкою монітора, м, при висоті уступу, м			Питома витрата води на розмив, м ³ /м ³ , при висоті уступу, м			Необхідний ухил вибою у бік зумпфа при витраті води, м ³ /сек		
		3...5	5...15	Більш 15	3...5	5...15	Більш 15	0,1	0,2	0,3
I	Попередньо розпушені, незлежалі	30	40	50	5	4,5	3,5	згідно групи порід		
II	Піски дрібнозернисті і пилюваті	30	40	50	6	5,4	4	—	0,045	0,030
	Супіски легкі	30	40	50				0,035	0,030	0,025
	Льос пухкий	40	50	60				0,035	0,030	0,025
	Торф, що розклався	40	50	60				0,025	0,020	0,015
III	Піски середньо- і різнозернисті	30	40	50	7	6,3	5	—	0,050	0,035
	Супіски середні	40	50	60				0,030	0,025	0,020
	Суглинки легкі	50	60	70				0,030	0,025	0,020
	Льос щільний	60	70	80				0,030	0,025	0,020
IV	Піски грубозернисті	30	40	50	9	8,1	7	—	0,060	0,040
	Супіски важкі	50	60	70				0,035	0,030	0,025
	Суглинки середні й важкі, глини піщані (худі)	70	80	90				0,030	0,025	0,020
	Піщано-гравійні суміші зі вмістом гравію до 25%	40	50	60	12	10,8	9	—	0,080	0,070
V	Глини напівжирні зі вмістом глинистих фракцій 40-50%	80	100	120				0,035	0,030	0,025
	Піщано-гравійні суміші зі вмістом гравію до 40%	50	60	70	14	12,6	10	—	0,120	0,100
	Глини напівжирні зі вмістом глинистих фракцій 50-60%	100	120	140				0,035	0,030	0,025

Таблиця 2.9 – Коефіцієнт використання гідромонітора k_v

Місце укладання породи	Напірний транспорт		Самопливний транспорт
	Безестакадний налив	Естакадний налив	
Водойма або відвал без пристрою обвалування	0,95	0,85	0,90
Відвал із пристроєм обвалування або налив спорудження під воду	0,90	0,80	0,90
Широкопрофільні частини споруджень або штабелів, площі	0,85	0,75	0,85
Вузькопрофільні частини споруджень або штабелів	0,75	0,70	—

5) Технічна годинна продуктивність гідромонітора

$$Q_T = \frac{Q k^i}{q}, \quad (2.34)$$

де k — коефіцієнт, що вводиться при наявності перекачувальних станцій; $k = 0,95$; i — кількість станцій перекачування.

6) Річна продуктивність гідромонітора

$$Q_p = Q_T T_p k_v, \quad (2.35)$$

де T_p — річний фонд робочого часу.

2.2.5 Обвалення укосів і глибина врубу

При розмиві з *підрізанням уступу* гідромонітор розмиває щілину в його основі, доки частина уступу над щілиною не обвалиться під дією своєї ваги. У залежності від типу порід та структури залягання пластів процес обвалення може відбуватися по різному, рис. 2.13. У табл. 2.10 приведено класифікацію видів обвалення укосів уступів на кар'єрах, надану Г. А. Нурком.

Причини, що впливають на утворення тієї чи іншої поверхні зсуву при підрізуванні уступу, вивчені недостатньо. У породах із шаруватою структурою поверхня ковзання визначається площинами нашарування. Поширення заваленого масиву по нижній площадці уступу буде проходити доти, доки сили тертя і взаємного зчеплення між частками не зрівноважать кінетичну енергію шматків породи, що рухаються.

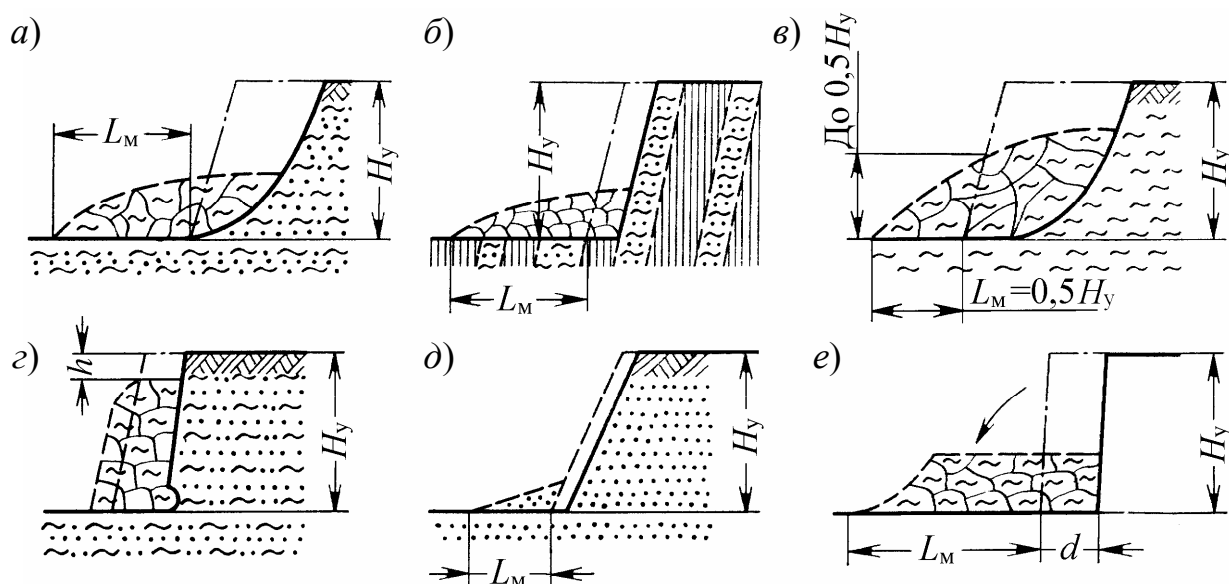


Рисунок 2.13 – Типи обвалень укосу: зсувне обвалення при однорідних (а) та при різномірних (б) породах; обвал зі зрізом (в) та з осіданням (г); безперервне обвалення (д); обвалення з перекиданням (е)

Для визначення мінімальної відстані від гідромонітора до вибою при обваленні уступу I типу Г. А. Нурком та Ю. В. Бубисом отримана залежність

$$L_{\min} = \sqrt{2k_p(ctg\beta - ctg\alpha) d (H_y - h) - d + l_3}, \quad (2.36)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення однорідної породи; H_y – висота уступу; h – висота врубу; d – глибина врубу; β – кут розвалу породи; α – кут укосу уступу, табл. 2.11; l_3 – запас (не менше 2 м).

Обвалення II типу являє собою різновид обвалення I типу. При обвалі зі зрізом порода розпадається на великі шматки. При IV типі обвалення не відбувається, ведеться практично розмив масиву. При обваленні V типу відбувається порушення структури порід, що обвалюються.

З розгляду умов рівноваги підтятого блоку при розмиві порід, експериментальними спостереженнями отримані залежності для визначення глибини врубу у функції від параметрів уступу і фізико-механічних властивостей порід, що складають уступ. Г. А. Нурком та В. С. Шіликовським розглянуто два типи уступів по висоті: уступ висотою більше критичної висоти вертикального оголення ($H_y > H_{90}$), і менше — ($H_y \leq H_{90}$). У першому випадку на підставі досліджень на оптично активних моделях поверхня обвалення прийнята вертикальною у верхній частині уступу і криволінійною в нижній. У цьому випадку глибина врубу, при якій відбувається обвалення

Таблиця 2.10 – Класифікація видів обвалень укошу уступів при гідромоніторній розробці

Типи обвалень	Характер обвалення	Умови розробки	Особливості обвалення
I	Зсувне обвалення при однорідних породах, рис. 2.13 а	Висота уступу до 20 ... 25 м	Поверхня ковзання-крива, близька до циліндричної
II	Обвалення при різнорідних породах, рис. 2.13 б	При різних сполученнях окремих порід	Обвалення відбувається по поверхні, що розмежовує два шари порід
IIIа	Обвал зі зрізом при однорідних породах, рис. 2.13 в	Висота уступу до 20 м. Глинисті породи і льосоподібні суглинки	Після поглиблення відбувається зріз породи
IIIб	Обвал з осіданням при однорідних породах, рис. 2.13 г	Висота уступу до 10 ... 12 м. Суглинні породи	Шар, що зрізується, переміщується на глибину врубу, практично зберігаючи свою форму
IV	Безупинне обвалення в ході розмиву, рис. 2.13 д	Висота уступу до 20 ... 25 м. Переважно піски	Обвалення відбувається невеликими частинами безупинно
V	Обвалення з перекиданням, рис. 2.13 е	Висота уступу до 15 м. Злежалі породи	Руйнування починається у верхній частині укошу і продовжується до робочої площадки
VI	Обвалення зі сповзанням масиву і перекиданням	При різному сполученні різнорідних порід	Частина уступу (звичайно верхня) руйнується з перекиданням масиву, частина – при зсувному обваленні

Таблиця 2.11 – Значення кутів укосів уступів висотою до 20 м

Породи	Кут укосів, град
Глинисті	60 ... 75
Суглинні	55 ... 70
Піщані	50 ... 60

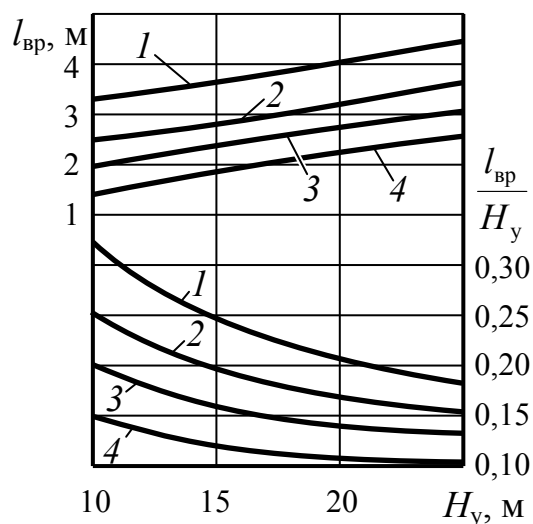


Рисунок 2.14 – Графіки залежності глибини врубу $l_{вр}$ і відносної глибини врубу $l_{вр} / H_y$ від висоти уступу H_y при значеннях напруження зчеплення c :
 1 – 50 кПа; 2 – 35 кПа;
 3 – 25 кПа; 4 – 15 кПа

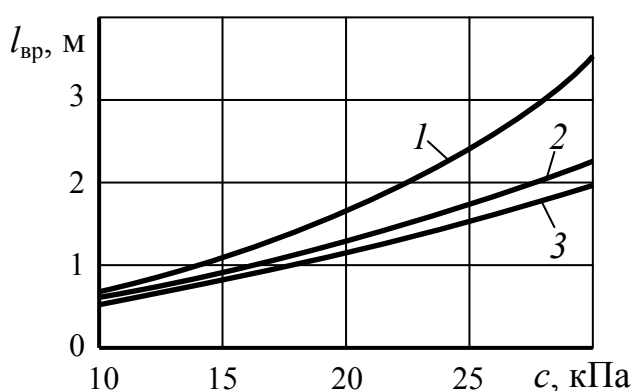


Рисунок 2.15 – Графіки залежності глибини врубу $l_{вр}$ від напруження зчеплення c при довжині фронту підрізування $L_{п}$:
 1 – 5 м; 2 – 10 м; 3 – 15 м

$$l_{вр} = 0,21 \operatorname{tg} \varphi H_y + \frac{c_{ср}}{\rho_{п} g}, \quad (2.37)$$

де φ – кут внутрішнього тертя; $c_{ср}$ — середнє напруження зчеплення по висоті уступу; $\rho_{п}$ – щільність породи.

Залежності глибини врубу, що викликає обвалення уступу, а також відносної глибини врубу від коефіцієнта зчеплення і висоти уступу показані на рис. 2.14.

Для уступу висотою, меншою граничної висоти вертикального оголення, тобто для випадку вертикального укусу, рівняння для визначення глибини врубу має вид

$$l_{вр} = L_{п} \frac{c}{\rho_{п} g L_{п} - \frac{\pi}{2} c}, \quad (2.38)$$

де c — напруження зчеплення; $L_{п}$ — довжина фронту підрізування.

Оскільки в даному випадку обвалення відбувається по вертикальній площині, по якій дія нормальних напружень у край мала через

відсутність горизонтальних сил, при визначенні сил, що утримують, можна зневажити силами тертя.

Залежність глибини врубу від коефіцієнта зчеплення породи і довжини фронту підрізування показано на рис. 2.15.

Розмив пісків часто відбувається без утворення помітного врубу через те, що наявність пір, доступних впливу струменя, дозволяє без значних витрат енергії порушувати структуру масиву. При цьому частина породи, вимита при створенні врубу, миттєво порушує стійкість розмивного масиву, який безупинно обривається.

2.2.6 Визначення висоти уступу і довжини фронту робіт

Питання визначення **максимальної висоти уступу** вимагає спеціального розгляду. Зі збільшенням висоти уступу зменшуються довжина пульповодів і водоводів, число пересувок основного устаткування, час, що витрачається на підрізання уступу, збільшується відстань від гідромоніторів до укосу уступу і напір, необхідний для гідротранспортування породи, але погіршується якість струменя і зменшується його ударна сила, що зменшує ефективність розмиву. На глибоких кар'єрах зі збільшенням висоти уступу підвищується можливість використання природного напору для розмиву порід.

При визначенні максимально припустимої висоти уступу необхідно визначити зміну витрат на розробку родовищ у залежності від висоти уступу.

Витрати на розробку в залежності від висоти уступу складають

$$C = A \left(\frac{a}{H_y} - B \right) + 2B H k_2 \left(\frac{1}{H_y} + 0,0012 H_y - 0,006 \right) - B \left(\frac{H_y}{H_p} - 1 \right); \quad (2.39)$$

$$A = c_{\text{п}} + k_1 c_{\text{в}} + \frac{c_3}{a_3} + \frac{c_{\text{м}}}{a_{\text{м}}} k_1 + h_1 l_{\text{ф}} c_{\text{пр}}; \quad a = H(l_1 + H \operatorname{ctg} \alpha);$$

$$B = H \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$B = \frac{0,5 H c_{\text{в}} q_{\text{р}}}{102 \eta},$$

де H_y – висота уступу; H_p – потужність розкриву; H – напір, потрібний на розмив породи; k_1 – відношення довжини пульповодів до довжини водоводів; k_2 – коефіцієнт пропорційності між ударною силою і відповідним їй напором; $c_{\text{п}}$ – вартість експлуатації 1 м пульповоду; $c_{\text{в}}$ – вартість експлуатації 1 м водоводу; c_3 – вартість одної пересувки землесоса; $c_{\text{м}}$ – вартість одної пересувки гідромонітора; $c_{\text{пр}}$ – вартість

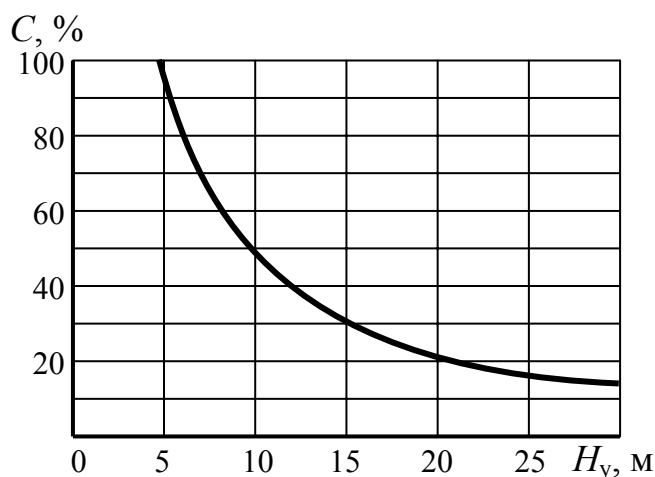


Рисунок 2.16 – Графік залежності витрат C на розкривні роботи від висоти уступу H_y

підрізування 1 м^3 породи; a_3 – крок пересувки землесоса; a_3 – крок пересувки гідромонітора, м; h_1 – висота врубу; l_ϕ – ширина фронту робіт гідромонітора; l_1 – довжина трубопроводів на нижній площадці уступу; q_p – питома витрата води на розмив; α – кут стійкого укосу уступу; η – коефіцієнт корисної дії насоса.

Аналіз рівняння (2.39) показує, що при розмиві порід I...III категорії економічно доцільна висота уступу складає 20 ... 25 м, рис. 2.16.

При визначенні **довжини фронту робіт** гідромонітора необхідно враховувати наступне. Зі збільшенням довжини фронту робіт гідромонітора змінюється кут зустрічі струменя з вибоєм, що викликає зменшення ударної сили струменя і продуктивність гідромонітора. Однак, при цьому збільшується обсяг породи, що приходить на один пульпопровід і один водопровід, що приводить до зменшення їхньої довжини і числа пересувок, а отже, і витрат на монтажні і демонтажні роботи. Крім того, довжина фронту робіт гідромонітора впливає також на величину недомиву і на зміну характеру обвалення. Довжина фронту робіт гідромонітора коливається в межах 18 ... 25 м для глин, 30 ... 45 м для суглинків і 25 ... 60 м для пісків.

Оптимальна довжина фронту робіт гідромонітора

$$l_\phi = \sqrt[3]{\frac{L_\phi B \left(\frac{c_\Pi}{2} + c_B + \frac{c_M}{a_M} + \frac{c_3}{2a_3} \right)}{2B \operatorname{tg} \psi c_H + 0,006 w_p c_e V_c k_3}}, \quad (2.40)$$

де L_ϕ – довжина фронту кар'єрного поля; B – річне просування фронту робіт; ψ – кут підтікання пульпи; c_H – вартість збирання 1 м^3 недомиву; c_e – вартість 1 кВт·год електроенергії; w_p – витрата електроенергії на розмив 1 м^3 породи; k_3 – коефіцієнт пропорційності; V_c – обсяг породи, м^3 , розмитої одним гідромонітором за сезон:

$$V_c = Q_d T_c,$$

Q_d – добова продуктивність гідромонітора по породі; T_c – тривалість робочого сезону, діб.

При розробці порід екскаваторами в комплексі з гідротранспортом довжина фронту робіт має велике значення. Збільшення довжини фронту робіт уступу дозволяє зменшити простої екскаваторів, зв'язаних з переносом гідротранспортних комунікацій. Однак збільшення довжини фронту робіт уступу веде до збільшення витрат, зв'язаних із транспортуванням гірської маси в межах робочого борта кар'єру (за умови, що дальність транспортування поза робочим бортом залишається постійною).

Оптимальна довжина фронту робіт на уступі для зазначених умов, за Л. Н. Кашпаром

$$L_\Phi = \sqrt{\frac{2A t_\Pi}{B_3 H_y T_c C_T}}, \quad (2.41)$$

де A – витрати на амортизацію устаткування; t_Π – час на одну пересувку устаткування, зміни; B_3 – ширина заходки; C_T – витрати на транспортування породи на 1 м довжини фронту робіт:

$$C_T = \frac{(1 - m + q_T) v_\Pi i_\Pi c_e}{370 \eta_3},$$

де m – пористість породи; q_T – питома витрата води на гідротранспорт; v_Π – швидкість руху пульпи; i_Π – гідравлічний ухил (утрати напору на 1 м пульпопроводу); η_3 – коефіцієнт корисної дії землесоса.

Якщо розрахункова довжина фронту робіт уступу більше або дорівнює довжині фронту робіт, що відпрацьовується з одного положення землесосної установки, можна застосовувати пересувні гідротранспортні установки. У протилежному випадку необхідно розглянути можливість застосування напівстаціонарних установок.

2.2.7 Визначення параметрів гідромоніторної виїмки вугілля

При визначенні параметрів гідромоніторної виїмки вугілля в очисних вибоях спочатку визначається умовна межа міцності вугільного масиву, МПа

$$R_y = 2,275 f - 0,636, \quad (2.42)$$

де f – коефіцієнт міцності вугілля, що визначається по методу ІГС ім. О. О. Скочинського і складає 1 ... 1,5, у залежності від марки вугілля.

Крім того, для визначення коефіцієнта f може бути використана встановлена ДонВугІ емпірична залежність

$$f = 2 - 0,145v^r + 0,0032v^{r^2},$$

де v^r – вихід летючих речовин по масі, %.

Тиск робочої води, що подається у гідромонітор

$$p > 3R_y, \quad (2.43)$$

Потім визначається витрата води Q через насадку гідромонітора за формулою (2.31). При виборі діаметра насадки при проведенні підготовчих і нарізних вироблень варто користатися наступними розмірами: 16, 18 і 20 мм. Діаметр насадки гідромонітора, що працює в очисному вибої, рекомендується приймати рівним 22, 25, 28 і 32 мм.

Технічна продуктивність гідромонітора по виїмці вугілля в очисному вибої

$$Q_T = k_m k_3 k_b k_T \rho Q S_m, \quad (2.44)$$

де k_m – коефіцієнт впливу потужності шару; k_3 – коефіцієнт, що враховує відносні розміри заходки; k_b – коефіцієнт використання гідромонітора в очисному вибої; k_T – коефіцієнт, що враховує вплив гірничотехнічних факторів на продуктивність гідромонітора; S_m – масова консистенція пульпи, що є відношенням маси відбитого вугілля до маси витраченої води:

$$S_m = 0,6 \sqrt{\frac{p}{p_k} - 1}, \quad (2.45)$$

де p_k – критичний тиск; $p_k = 3 R_y$.

Значення коефіцієнтів визначаються наступними залежностями:

$$k_m = \frac{2,8H_{\pi}^2 + 0,8}{H_{\pi}^2 + 8}, \quad (2.46)$$

де H_{π} – потужність пласта, м;

$$k_3 = \frac{1,2}{\left(\frac{l_3}{l_p}\right)^2 - \frac{l_3}{l_p} + 1,2}, \quad (2.47)$$

де l_3 – найбільша діагональ теоретичного контуру заходки; l_p – робоча довжина гідромоніторного струменя:

$$l_p = \frac{k_{\phi} d_0}{\varepsilon} \sqrt{\frac{p}{p_k} - 1}; \quad (2.48)$$

k_ϕ – коефіцієнт форми проточного каналу ствола, для гідромоніторів ГМДЦ-3М $k_\phi = 2,5$; ε – коефіцієнт турбулентності потоку в стволі:

$$\varepsilon = \left(2,2 + 5,35 \cdot 10^{-6} \frac{Q}{\nu D_c} \right) \cdot 10^{-3}; \quad (2.49)$$

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості води, $\nu \approx 10^{-6}$ м²/с; D_c – діаметр каналу ствола гідромонітора, для ГМДЦ-3М — $D_c = 0,1$ м;

$$k_b = \frac{1}{1 + 0,8S_m + 0,01H_\Pi + 0,15\beta}, \quad (2.50)$$

де β – кут падіння пласта, градуси.

Коефіцієнт k_t в залежності від гірничотехнічних умов виймання може приймати значення від 0,5 до 1.

Експлуатаційна продуктивність гідромоніторної виїмки

$$Q_e = \frac{V_3}{T_3}, \quad (2.51)$$

де V_3 – видобуток гірської маси з однієї заходки:

$$V_3 = L_3 B_3 H_\Pi \rho_b k_d; \quad (2.52)$$

L_3 – довжина заходки; B_3 – ширина заходки; ρ_b – щільність вугілля; k_d – коефіцієнт добування гірської маси з заходки; T_3 – час відпрацювання однієї заходки:

$$T_3 = \frac{k_{\text{вп}} V_3}{Q k_{\Gamma,3} k_{\Gamma,T} k_{\text{н,о}}}, \quad (2.53)$$

де $k_{\Gamma,3} = 0,95$ – коефіцієнт готовності роботи забійного устаткування; $k_{\Gamma,T} = 0,85$ – коефіцієнт готовності технологічного ланцюга гідрошахти; $k_{\text{н,о}} = 0,8 \dots 1,0$ – коефіцієнт тривалості операцій, що несумісні з виїмкою вугілля; $k_{\text{вп}} = 1,05 \dots 1,1$ – коефіцієнт, що враховує відпочинок робітників.

Добове навантаження на очисної вибій

$$V_d = Q_e t_{3\text{м}} n_{3\text{м}}, \quad (2.54)$$

де $t_{3\text{м}} = 6$ год. – тривалість зміни; $n_{3\text{м}} = 3$ – кількість змін по видобутку в добу.

Значення величин $t_{3\text{м}}$ і $n_{3\text{м}}$ рекомендується приймати, виходячи з режиму роботи гідрошахти чи гідродільниці.

2.3 Технічні засоби струминного руйнування порід

2.3.1 Гідромонітори

Основним засобом ведення розкривних, видобувних і допоміжних робіт за допомогою напірного струменя води є *гідромонітори*, які служать для створення щільного, компактного струменя і керування його польотом при розмиві і виїмці порід, руд, будівельних матеріалів, розсипних і пластових родовищ корисних копалин.

Гідромонітори розділяються:

1) *по області застосування* — гідромонітори для відкритих робіт і для підземних розробок;

2) *по призначенню* — врубові (для руйнування масиву порід), змивні (для розмиву міцних порід, відбитих механічними засобами), бустерні (щоб підганяти пульпу по жолобах);

3) *по напору* — високонапірні і низьконапірні;

4) *по типу струменя* — з постійним струменем та імпульсні;

5) *по способу керування* — керовані вручну, з електромеханічним або гідравлічним приводом, з дистанційним і програмним керуванням;

6) *по способу пересувки* — переносні (монтуються на рамі) і самохідні (оснащені гусеничним шасі); такі, що потребують демонтажу основного трубопроводу і такі, що просуваються в процесі роботи за допомогою телескопічних труб;

7) *по розташуванню стосовно площини вибою* — такі, що розташовані на безпечній відстані від вибою і такі, що розташовані безпосередньо біля вибою — *гідромонітори ближнього бою*.

Випускаються гідромонітори з ручним керуванням (*Г-1, ГМ-2, ГМН-250, ГМП-250* і ін.); дистанційним (*ГМДУ-200, ГМД-250, ГМД-300, ГМН-350, ГУЦ-6, ГМДЦ-3М, ГМДЦ-4, 12ГД-2*); напівавтоматичні самохідні гідромонітори (*СГУ-2М, 12ГП*); імпульсні гідромонітори (*ГІ-4, ГІ-5, ГППД-2*).

Відповідно до правил техніки безпеки дозволено гідромонітори з ручним керуванням використовувати при тиску води до 3 МПа.

Гідромонітор, рис. 2.16, складається з нерухомого нижнього коліна *1*, верхнього коліна *7* та ствола *13*. Нижнє коліно, яке має фланець *2* для приєднання напірного трубопроводу, з'єднується з верхнім за допомогою болтів *6*, які стягують фланець верхнього коліна з обоймою *4*. Між бортом обойми і фланцем нижнього коліна знаходяться сталеві кільця; між ними укладені кульки, які утворюють

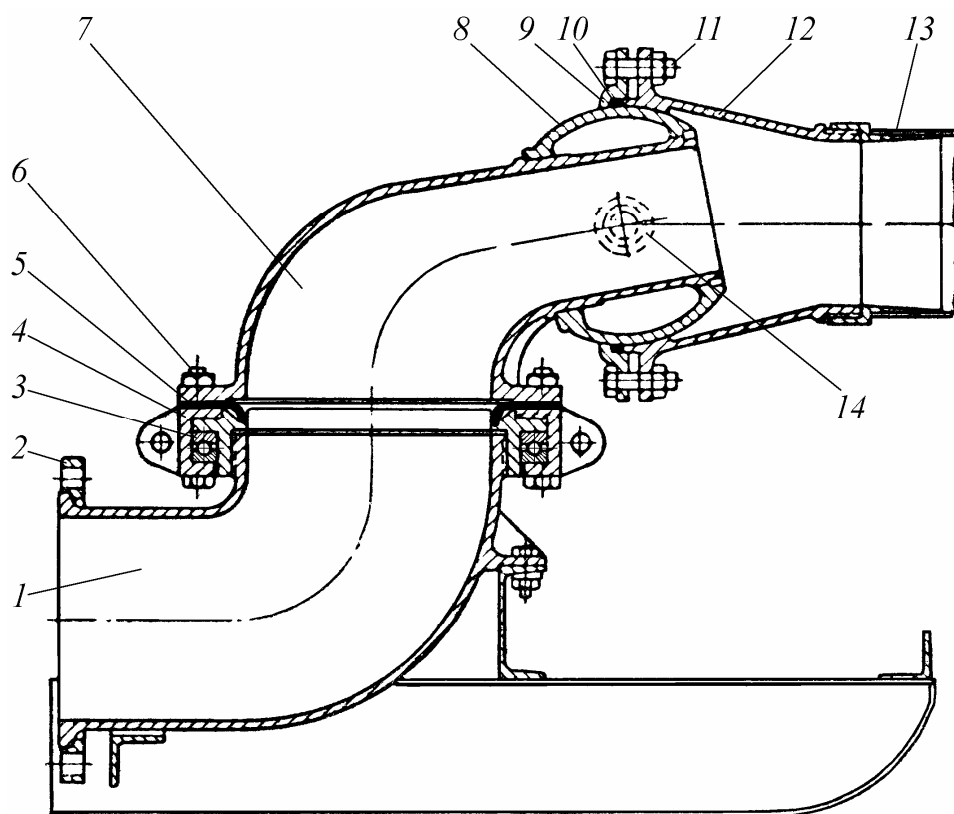


Рисунок 2.17 – Проточна частина гідромонітора: 1 – нижнє коліно; 2 – фланець; 3 – шарикопідшипник; 4 – обойма; 5 – манжетне ущільнення; 6, 11 – болти; 7 – верхнє коліно; 8 – куля; 9 – кільце; 10 – гумове ущільнення; 12 – конус; 13 – ствол; 14 – вісь

шарикопідшипник 3. Завдяки цьому верхнє коліно може вільно обертатися навколо вертикальної вісі. Шарнір ущільнений гумовою манжетою 5. Верхнє коліно закінчується кулею 8, яку за допомогою кільця 9 і болтів 11 з'єднано з конусом 12, до якого пригвинчений ствол 13 гідромонітора. Конус може обертатися навколо вісі 14. З'єднання ущільнене гумовим кільцем 10 і утворює вертикальний шарнір, який дозволяє стволу гідромонітора повертатися у вертикальній площині. Стволи сучасних моніторів оснащені заспокоювачами потоку і насадками з конічною і циліндричною ділянками, див. рис. 2.3.

До складу гідромонітора також відносяться рама, на якій його змонтовано (великі монітори монтуються на самохідних гусеничних шасі), механізми керування стволом, апаратура дистанційного керування, допоміжне обладнання (прожектор та ін.), контрольно-вимірвальні прилади.

1) Гідромонітори для відкритих розробок

Технічні характеристики гідромоніторів, які застосовуються на відкритих розробках, наведені в табл. 2.12.

Конструкція гідромонітора **ГМН-250с** показана на рис. 2.18. Гідромонітор виконаний звареним зі штампованих і литих деталей. На нижньому шарнірі передбачено кронштейн для обпирання на дерев'яну площадку. У конструкції горизонтального шарніру застосовано упорний шарикопідшипник, що підвищує міцність шарніра і полегшує поворот ствола в горизонтальній площині. Насадки гідромонітора не мають різьблення і закріплюються на стволі за допомогою накладної гайки. Керування гідромонітором – ручне.

Гідромоніторна установка **ГУЦ-6**, рис. 2.19, складається з двох удосконалених гідромоніторів **ГМЦ-250м** продуктивністю до $800 \text{ м}^3/\text{год}$, маслостанції, переносного пульта керування, зв'язаного з гідромоніторами шлангами високого тиску, і кабіни. Система керування установкою — електрогідравлічна.

Гідромонітор **ГМЦ-250м**, рис. 2.20, урівноваженої конструкції з уніфікованими шарнірно-сальниковими вузлами і гідравлічними циліндрами повороту ствола, має каретку з гідравлічним затиском для повороту ствола в горизонтальній площині на будь-який кут.

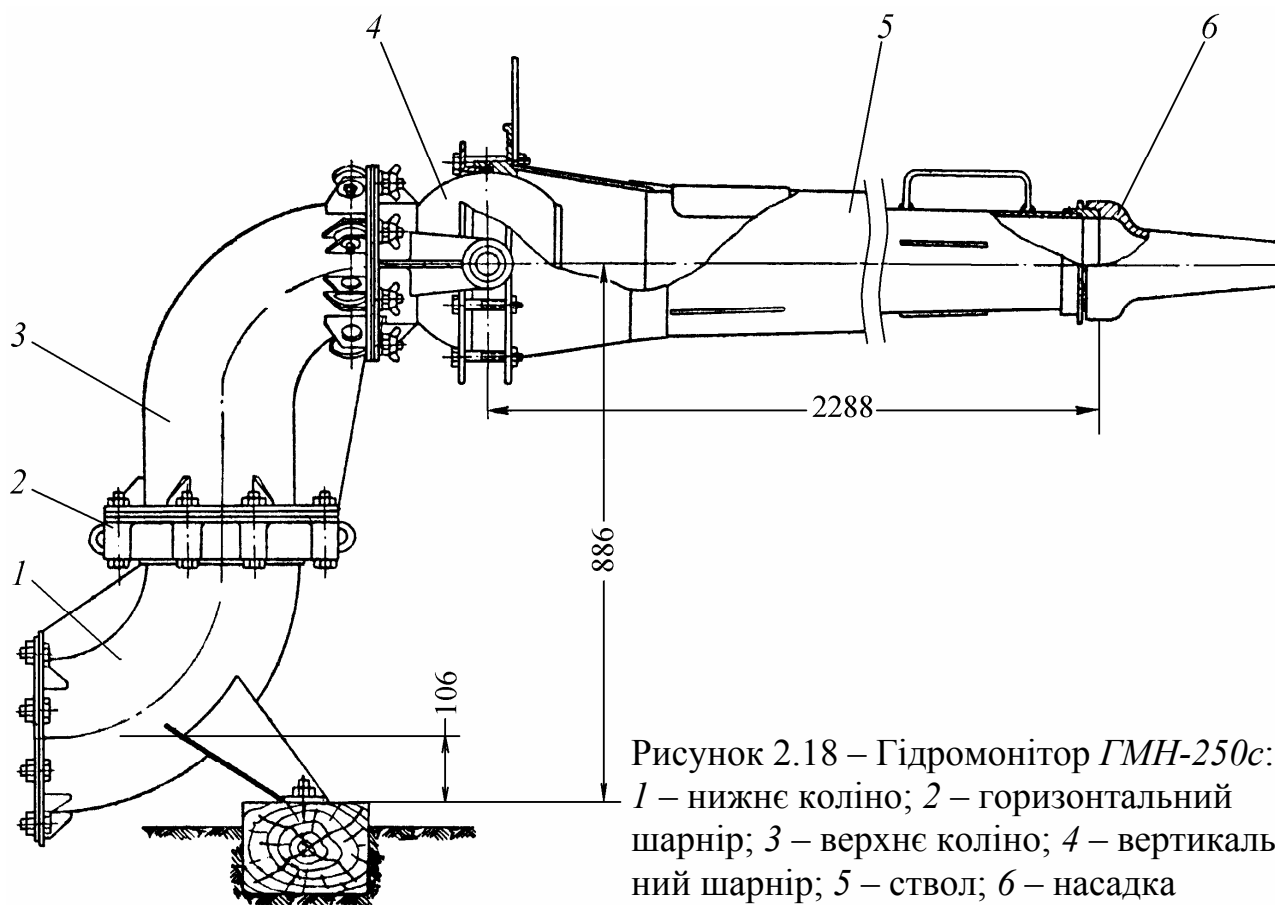


Рисунок 2.18 – Гідромонітор **ГМН-250с**:
1 – нижнє коліно; 2 – горизонтальний шарнір; 3 – верхнє коліно; 4 – вертикальний шарнір; 5 – ствол; 6 – насадка

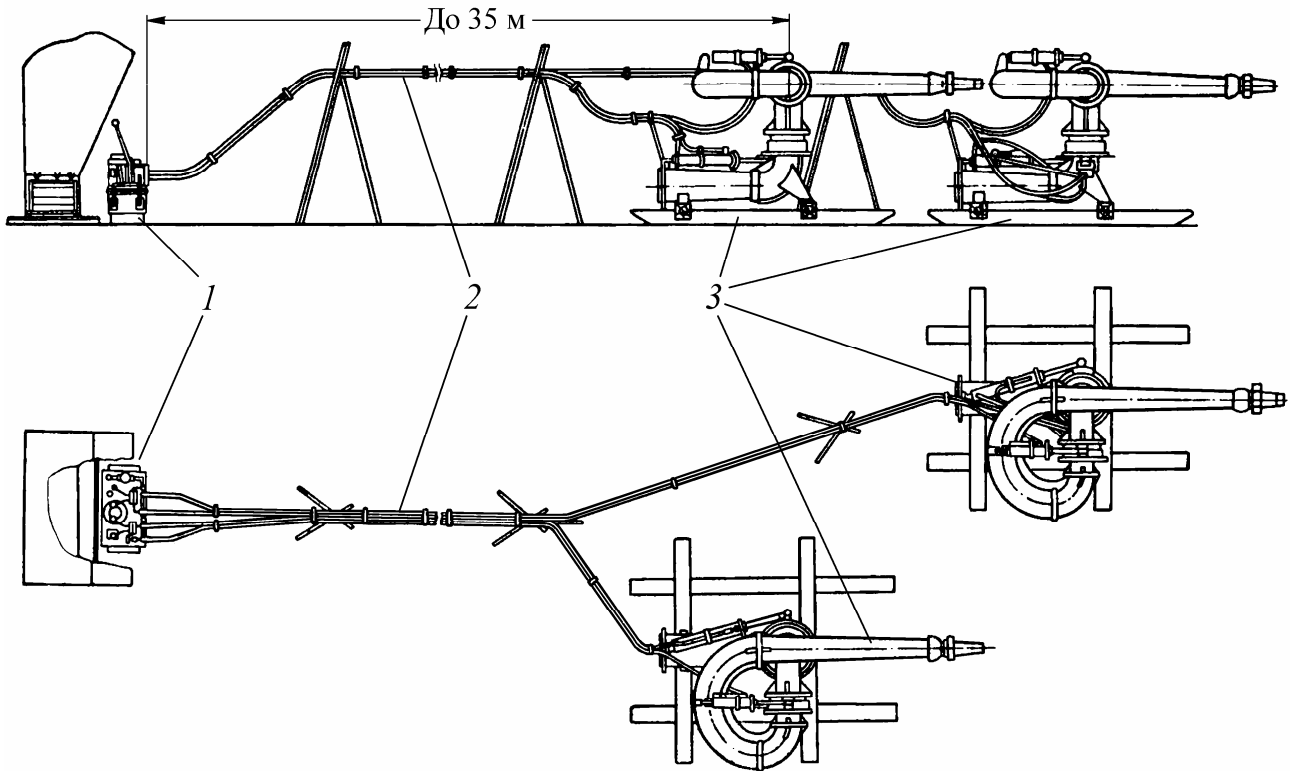


Рисунок 2.19 – Гидромониторная установка ГУЦ-6: 1 – пульт керування; 2 – шланги керування; 3 – гідромонітори ГМЦ-250м

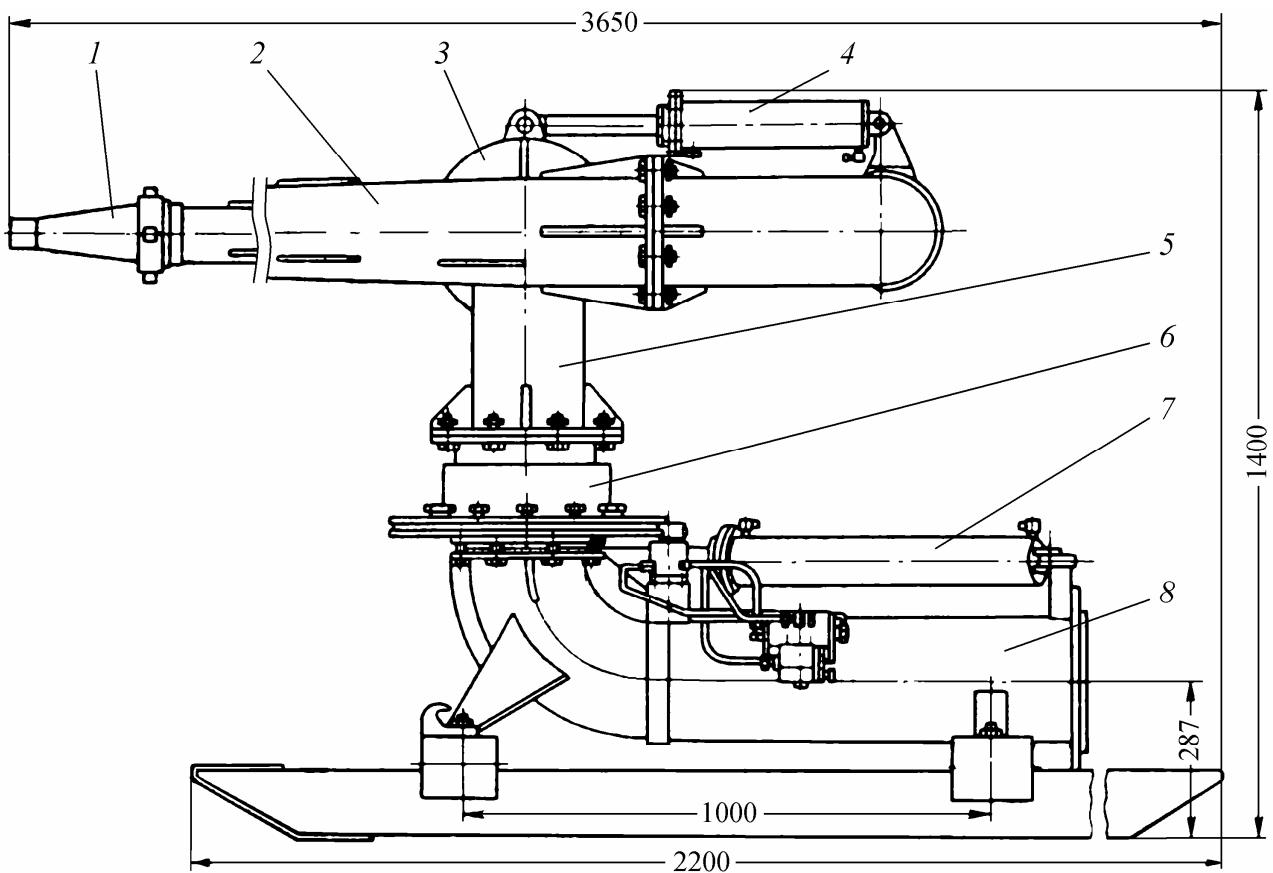


Рисунок 2.20 – Гідромонітор ГМЦ-250м: 1 – насадка; 2 – ствол; 3 – вертикальний шарнір; 4 – привод підйому ствола; 5 – верхнє коліно; 6 – горизонтальний шарнір; 7 – привод повороту ствола; 8 – нижнє коліно

Таблиця 2.12 – Параметри гідромоніторів для відкритих робіт

Параметри	Гідромонітори						
	ГМН-250с	ГМП-250	ГМД-250	ГМН-350	ГМДУ-300	ГМД-300	ГМЦ-250м
Робочий тиск води, МПа	1,5	2,0	1,0...2,5	2,0	3,0	3,0	1,6
Витрата води, м ³ /год.	До 1530	До 1850	До 2750	До 4500	До 3800	До 4000	250-800
Діаметр вхідного отвору, мм	250	250	250	350	300	300	250
Кут повороту ствола, градус:							
в горизонтальній площині	360	360	360	270	360	330	360
нагору	27	27	30	26	27	40	35
униз	27	27	30	10	27	20	30
Діаметр змінних насадок, мм	50; 70; 90; 100; 150	80; 100; 110; 125	80; 100; 110; 125	150; 155; 160; 165; 175	100; 115; 125; 140	125; 140; 150;	51; 63; 76; 89; 100
Основні розміри, мм:							
довжина	3200	3585	4420	6870	5625		3650
ширина	570	620	2190	2247	2465		1875
висота	1460	1628	1640	2950	2680		1400
Керування	Ручне			Дистанційне			
Маса, кг	195	400	1035	7000	3000	4000	445

Примітка. Цифри, що входять у марку гідромонітора, позначають діаметр його вхідного отвору в міліметрах.

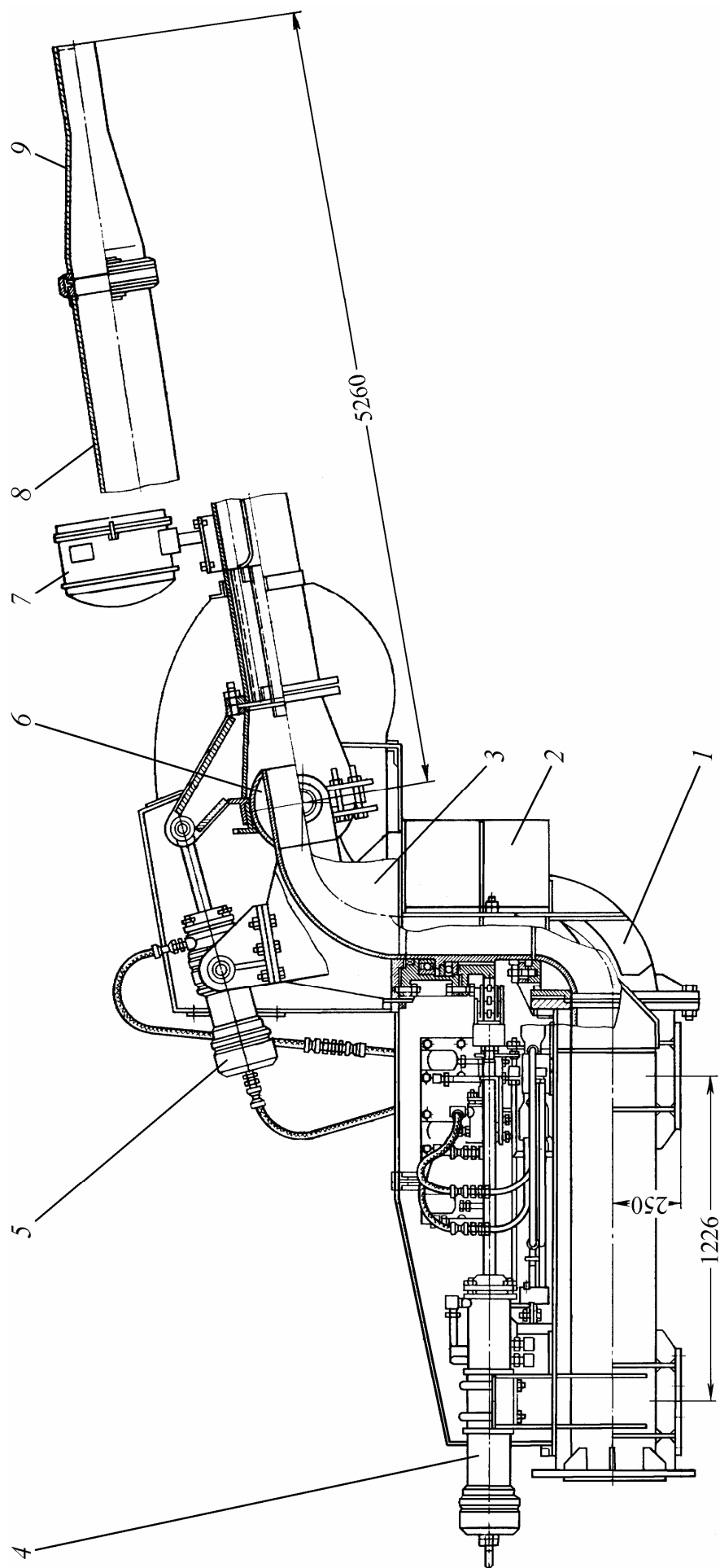


Рисунок 2.21 – Гідромонітор ГМН-350: 1 – нижнє коліно; 2 – горизонтальний шарнір; 3 – верхнє коліно; 4 – привод повороту ствола; 5 – привод підйому ствола; 6 – вертикальний шарнір; 7 – прожектор; 8 – ствол; 9 – насадка

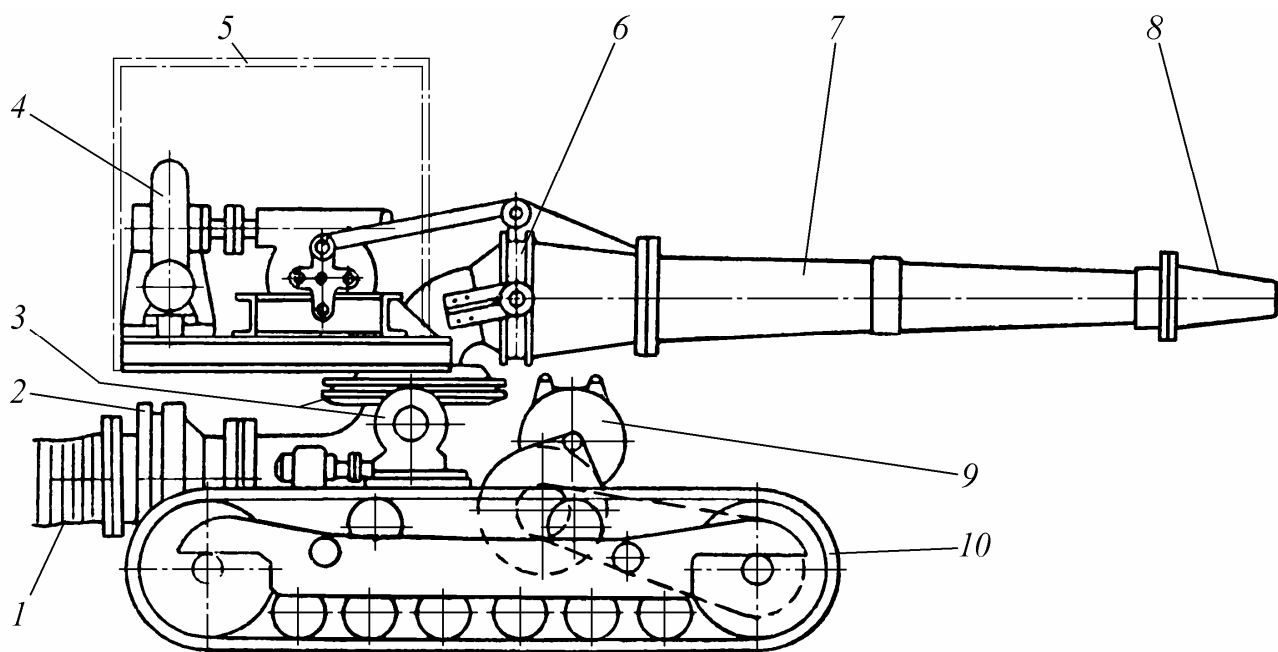


Рисунок 2.22 – Гідромонітор на гусеничному ході *ГМ2-500*: 1 – гумовий рукав; 2 – шаровий шарнір трубопроводу; 3 – горизонтальний шарнір та привод повороту ствола; 4 – привод підйому ствола; 5 – кабіна керування; 6 – вертикальний шарнір; 7 – ствол; 8 – насадка; 9 – привод гусеничного ходу; 10 – гусеничний хід

Поворот провадиться безпосередньо з пульта керування. Гідромоніторна установка оснащена пристроєм для автоматичного реверсивного повороту ствола гідромонітора в горизонтальній площині.

Гідромонітор *ГМН-350* являє собою установку, змонтовану на ходовій рамі з полозами, яка транспортується трактором, рис. 2.21. Гідромонітор складається з нижнього (нерухомого) і верхнього (рухомого) колін, та ствола з комплектом змінних насадок, з яких вода під тиском до 2 МПа подається у вибій. Для переміщення ствола у вертикальній і горизонтальній площинах передбачені механізми підйому і повороту з електромеханічним приводом. Керування гідромонітором – дистанційне (відстань від гідромонітора до 50 м). Ствол складається з задньої і передньої секцій і прикріплений до верхнього коліна двома важелями. У комплект входить п'ять змінних насадок із внутрішнім діаметром на виході 150, 155, 160, 165, 175 мм.

На рис. 2.22 зображено самопересувний гідромонітор *ГМ2-500* на гусеничному ході, з вхідним отвором нижнього коліна діаметром 500 мм. Гідромонітор має електроприводи для вертикального та горизонтального повороту ствола й електропривод гусеничного ходу.

2) Гідромонітори для підземних робіт

Гідромонітори, які застосовуються для підземної розробки вугільних пластів, суттєво відрізняються від моніторів для відкритих робіт. Вони мають невеликі габарити для розміщення у підземних виробках, працюють з меншими витратами води (150...400 м³/год), але при значно вищих тисках (5...20 МПа). Через малу відстань гідромонітора від забою (кілька метрів) і небезпеку обвалення покрівлі, викиду газу та ін., ручне керування гідромонітором у підземних умовах практично не використовується.

Технічні характеристики гідромоніторів для підземних робіт наведені в таблиці 2.13.

Для розробки тонких пластів потужністю понад 0,6 м створений малогабаритний гідромонітор з ручним керуванням **Г-1р**, а також з дистанційним водяним керуванням **Г-1**, рис. 2.23. Гідромонітор має саночки, до яких кріпиться труба, що підводить технологічну воду. Рухомі з'єднання ствола виконані у виді розвантажених щілинних поворотних з'єднань.

Для відбійки вугілля в підготовчих і очисних вибоях при розробці пологістих, похилих і крутих пластів потужністю понад 0,8 м НДГідровугіллям (Росія) розроблені гідромонітори **ГМДЦ-3М** і **ГМДЦ-4** з дистанційним керуванням.

У комплект гідромонітора **ГМДЦ-3М**, рис. 2.23 входять безпосередньо гідромонітор, маслостанція, пульт дистанційного керування зі шлангами і набір насадок.

Гідромонітор складається з рами (саночок), і поворотної частини. На звареній рамі закріплена труба, що підводить, 16, на вертикальній частині якої встановлена поворотна голівка 13, яка забезпечує горизонтальне обертання ствола 5 гідромонітора. Поворотна голівка

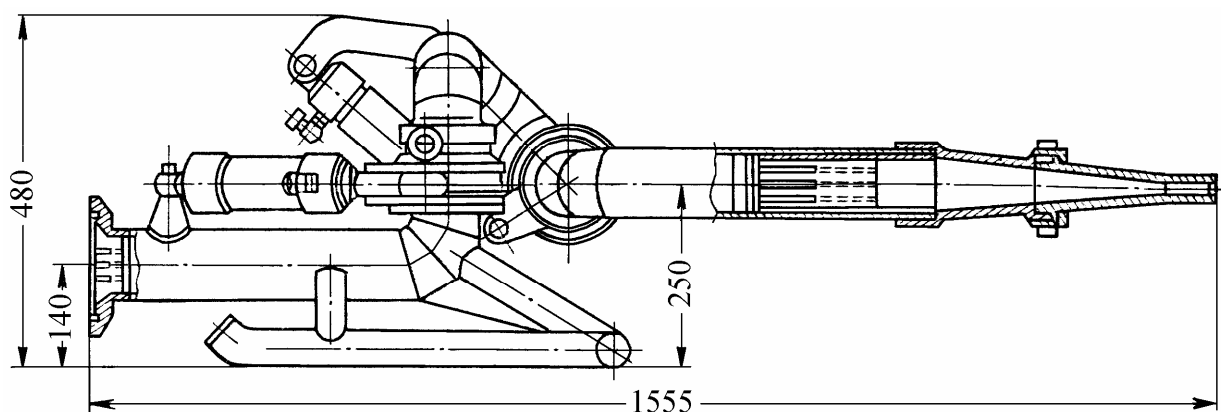


Рисунок 2.23 – Гідромонітор Г-1

має протилежно розташовані порожні цапфи 4, навколо яких обертаються обвідні коліна, що забезпечує поворот ствола у вертикальній площині. При русі води під тиском через вузли повороту забезпечується гідравлічне розвантаження від одnobічної дії тиску води. Ствол зі стільниковими заспокоювачами потоку 6 закінчується конусом 7, до якого за допомогою накидної гайки кріпляться змінні насадки 8. У горизонтальній і вертикальній площинах поворот ствола гідромонітора здійснюється двома гідравлічними домкратами 9 і 15. Керування домкратами здійснюється через пульт 1, до якого масло

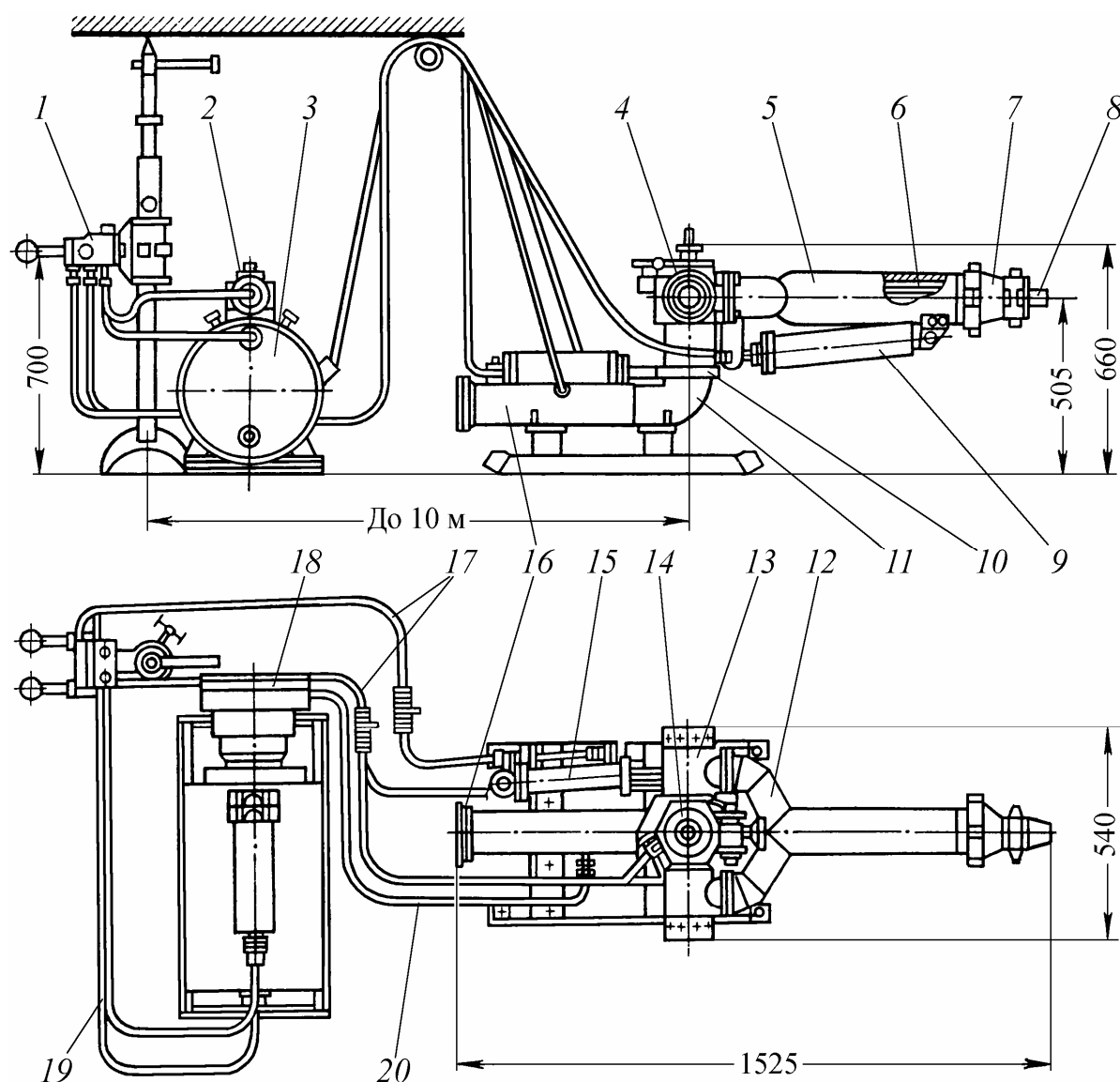


Рисунок 2.24 – Гідромонітор ГМДЦ-3М: 1 – пульт керування; 2 – маслonaсoсна станція; 3 – маслобак; 4 – цапфа; 5 – ствол; 6 – заспокоювач потоку; 7 – конус; 8 – насадка; 9 – гідродомкрат вертикального повороту ствола; 10 – горизонтальний шарнір; 11 – нижнє коліно; 12 – обвідні коліна; 13 – поворотна голівка; 14 – хрестовина; 15 – гідродомкрат горизонтального повороту ствола; 16 – труба, що підводить; 17 – шланги дистанційного керування; 18 – гідротурбіна; 19 – шланги для масла; 20 – шланг для напірної води

подається маслостанцією 2, яка розташована окремо від гідромонітора, і складається з бака для олії 3 і насоса з приводом від ковшової гідравлічної турбіни 18, що живиться напірною водою, яка надходить від гідромонітора через шланг 20.

Гідромонітор *ГМДЦ-4* на відміну від гідромонітора *ГМДЦ-3М* має проточну частину, розраховану на тиск до 16 МПа, а також обладнаний приставкою програмного керування.

Гідромонітор *12ГД-2* призначений для гідровідбійки вугілля в очисних вибоях гідрошахт при відпрацюванні пластів середньої потужності й потужних з кутами падіння більше 6°. Гідромонітор комплектується маслостанцією і пультом дистанційного керування. Відмінною рисою гідромонітора *12ГД-2* є прямоточність вузлів повороту ствола як у вертикальній, так і в горизонтальній площині, що дозволяє знизити гідравлічний опір гідромонітора, і збільшити витрату напірної води.

Для виїмки вугілля в підготовчих і очисних вибоях на пластах середньої потужності і потужних при відпрацьовуванні їх гідравлічним способом розроблений самохідний гідромонітор *СГУ-2М* з підвищувачем тиску, який забезпечує проведення вироблень з кутом підйому до 15°.

Керування гідромонітором забезпечується з пульта дистанційного керування. Гідромоніторну установку обладнано маслостанцією. Гусеничне шасі має гідравлічний привод для роботи у вибої і електрогідравлічний привод для переміщення по виробленнях, у яких відсутня напірна вода. Одержання високого тиску води безпосередньо у вибої забезпечується підвищувачем тиску, що працює в автоматичному режимі.

Самохідний гідромоніторний агрегат *12ГП-2* з дистанційно змінюваною програмою руху ствола для автоматизованої гідровідбійки вугілля в очисних і підготовчих вибоях гідрошахт на пластах середньої потужності й потужних, складається з гідромонітора, гусеничного шасі, стійок для розпору та пульта керування, рис. 2.25.

Для дистанційного виконання противикидних заходів шляхом дистанційного гідромоніторного вимивання випереджаючих порожнин і подальшої дистанційної виїмки вугілля УкрНДІгидровугіллям розроблено навісне гідрообладнання *ГН* і колонковий гідромонітор *ГКД*.

Навісне обладнання *ГН*, рис. 2.26, монтується на маніпуляторі бурової установки і складається з виконавчого органа (малогабарит-

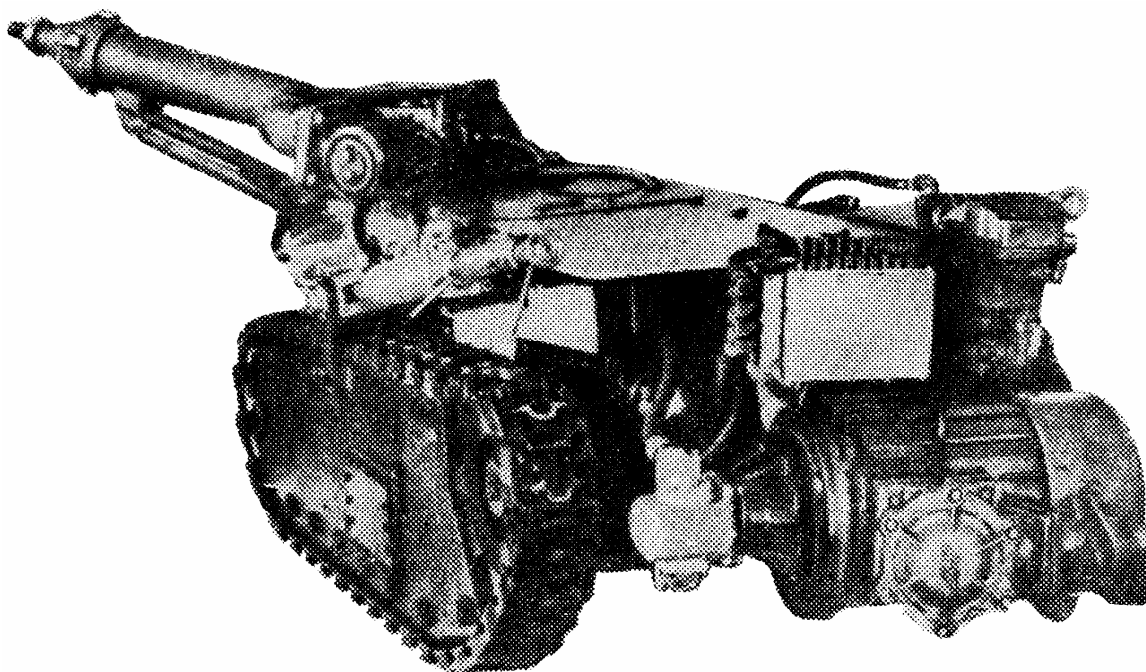


Рисунок 2.25 – Гідромонітор на гусеничному ході 12ГП-2

ного гідромонітора), механізмів повороту у вертикальній і горизонтальній площинах, пульта керування і високонапірних рукавів підводу води дистанційного керування.

Колонковий гідромонітор *ГКД*, рис. 2.27, складається зі ствола, який кріпиться на розпірній колонці і може повертатися у горизонтальній і вертикальній площинах за допомогою гідроциліндрів, пульта керування і високонапірних рукавів для підвода води до ствола.

Як показали дослідження, ефективність руйнування масиву можна значно підвищити, якщо замінити постійний струмінь пульсуючим. Донецьким національним технічним університетом розроблено імпульсні гідромонітори *ГІ-4* та *ГПД-2*.

Гідромонітор імпульсний *ГІ-4*, рис. 2.28, призначений для гідравлічного руйнування вугільного масиву пульсуючими струменями при гідравлічному видобуванні вугілля на пологістих, похилих і крутих пластах потужністю понад 0,8 м і коефіцієнтом міцності вугілля до 1,5 по шкалі проф. М. М. Протод'яконова.

Гідромонітор створено на базі *ГМДЦ-3М*. Принцип роботи гідромонітора полягає у перетворенні безупинного потоку рідини в два пульсуючих, що знаходяться в протифазі. Система керування забезпечує як автоколивальний режим роботи гідромонітора, так і безупинне витікання води з одного ствола. *ГІ-4* має гідропневмоакмулятор для гасіння пульсацій тиску у водопроводі, що підводить.

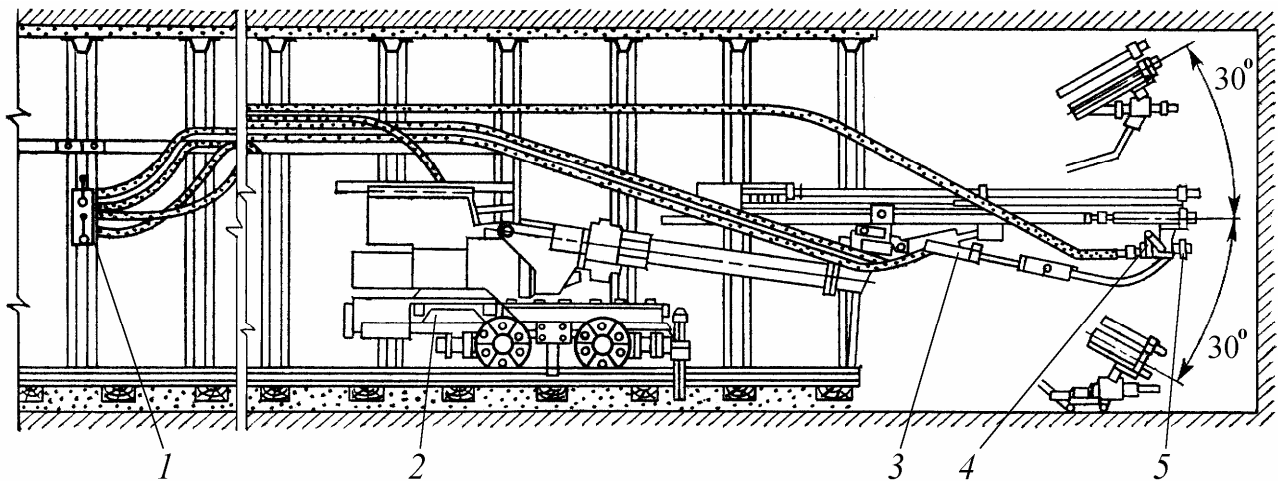


Рисунок 2.26 – Навісне гідрообладнання ГН: 1 – пульт керування; 2 – бурова установка БУ-1; 3, 4 – механізми повороту гідромонітора у горизонтальній та вертикальній площинах; 5 – виконавчий орган (малогабаритний гідромонітор)

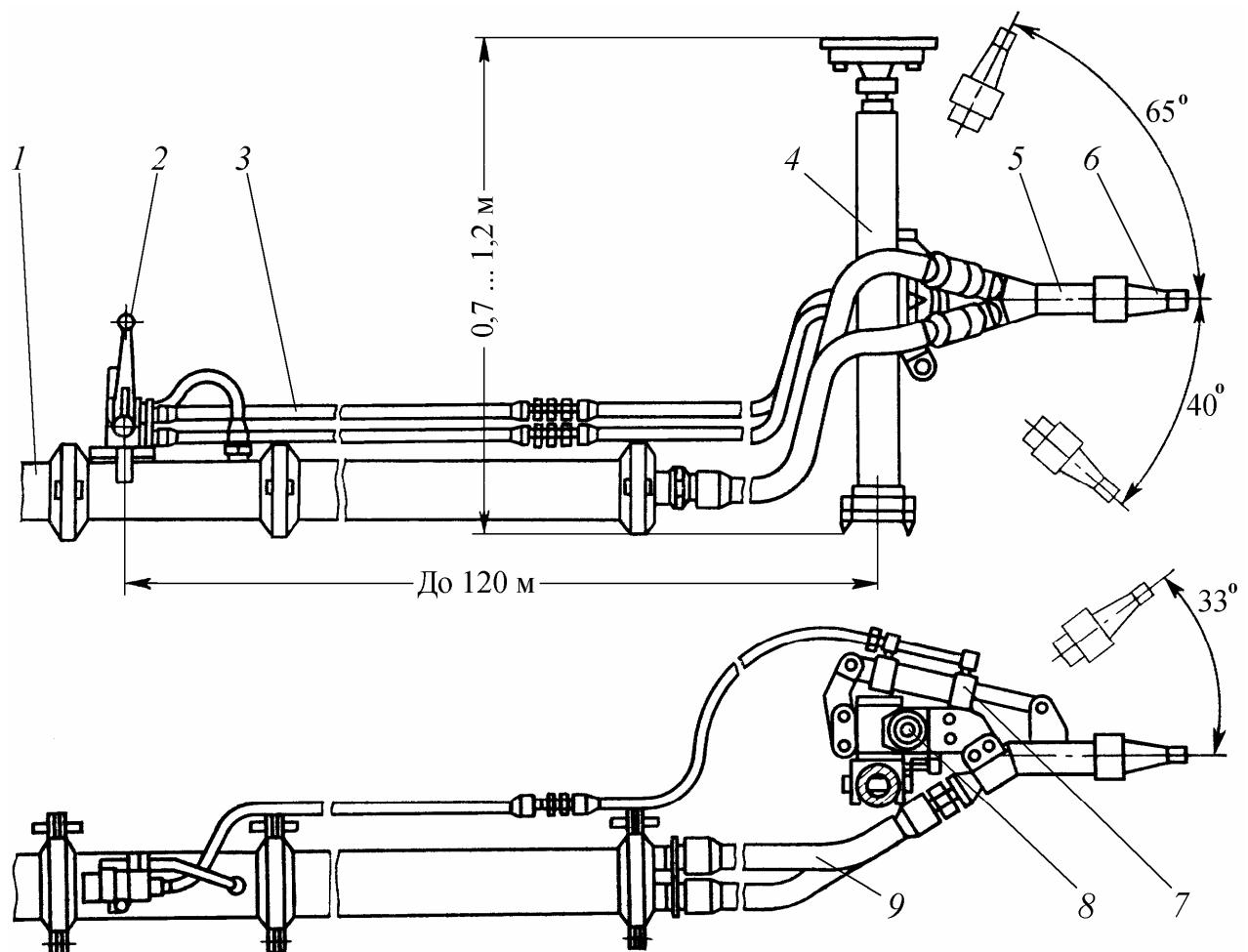


Рисунок 2.27 – Колонковий гідромонітор ГКД: 1 – трубопровід робочої води; 2 – пульт керування; 3 – шланги дистанційного керування; 4 – стійка; 5 – ствол; 6 – насадка; 7 – привод горизонтального повороту ствола; 8 – привод вертикального повороту ствола; 9 – шланги підведення робочої води

Таблиця 2.13 – Параметри гідромоніторів для підземних робіт

Параметри	Гідромонітори							
	Г-1	ГМДЦ-4	12ГД-2	СГУ-2М	12ГП-2	ГН	ГКД	ГП-4
Робочий тиск води, МПа *	До 10	До 12	До 12	9 (36)	До 12	5 ... 10	До 10	16 (27)
Частота пульсацій тиску, Гц								20
Витрата води, м ³ /год.	До 200	До 150	До 400	До 285	До 400	50 ... 120	До 100	150 ... 180
Діаметр вхідного отвору, мм	100	100	130		150			
Кут повороту ствола, градус:								
в горизонтальній площині**	180	90 (210)	100 (190)		180		35	90 (210)
нагору	60	80	80		80		65	80
униз	7	20	20		30		40	20
Діаметр змінних насадок, мм		16; 18; 20; 22; 25	25; 28; 30; 32		20; 22 ;25; 28; 30;	14; 17; 19	12 ... 20	16 ... 22
Максимальна відстань до пульта керування, м		10	10		12	120		10
Продуктивність гідровідбійки т/год., при $f = 0,6 \dots 0,8$ 0,8 ... 1,0 1,0 ... 1,2		50	80 ... 140 60 ... 80 30 ... 60		70	60 ... 100		
Швидкість пересування, м/год.					До 150			
Основні розміри, мм:								
довжина	1400	1650	2220	5875	4100		880	2100
ширина	600	450	875	1400	1250		75	900
висота	440	650	775	1200	1100		315	640
Маса гідромонітора, кг	75	170	285	5700	3000	38,5	55	370

* в дужках – тиск після підвищувача тиску (СГУ-2М) або тиск в імпульсі (ГП-4)

** в дужках – кут повороту з перестановкою пальця, що фіксує

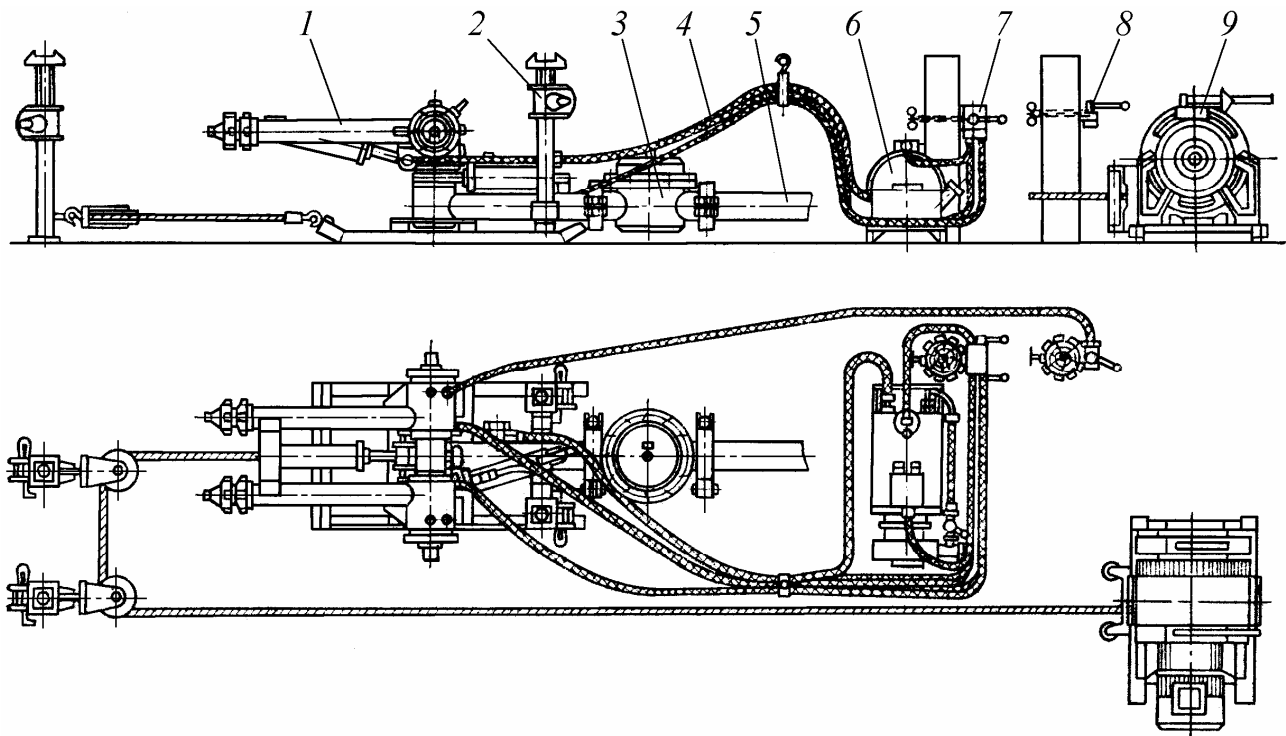


Рисунок 2.28 – Імпульсний гідромонітор ГІ-4: 1 – двоствольний гідромонітор; 2 – стійка кріплення гідромонітора; 3 – пневмогідроаккумулятор; 4 – шланги дистанційного керування; 5 – трубопровід робочої води; 6 – маслостанція; 7 – пульт керування; 8 – пусковий кран; 9 – лебідка

Гідромонітор укомплектовано маслостанцією, гідроциліндрами повороту стволів, високонапірними рукавами і пультом дистанційного керування ГМДЦ-3М.

Виробничий досвід експлуатації гідромонітора показав, що його застосування підвищує продуктивність гідровідбійки в 1,5 ... 2 рази. При цьому далекобійність струменя збільшується в 2 рази.

Гідромонітор з імпульсним підвищенням тиску ГПД-2 призначений для руйнування корисних копалин і порід імпульсними струменями високого тиску на пластах потужністю понад 0,6 м з кутом падіння не менш 6° і коефіцієнтом міцності до 3,0 по шкалі проф. М. М. Протод'яконова.

Принцип роботи гідромонітора ГПД-2 полягає у перетворенні стаціонарного потоку в два пульсуючих, з наступним накладенням на них імпульсу високого тиску. Система керування забезпечує роботу в автоматичному коливальному режимі, а при необхідності — стаціонарне витікання води через один з стволів. Гідромонітор ГПД-2 комплектується гідроциліндрами повороту стволів і пультом дистанційного керування, які живляться напірною робочою водою.

Застосування гідромонітора *ГПД-2* дозволяє підвищити продуктивність і знизити енергоємність гідровідбійки в 5 ... 7 разів у порівнянні з гідромоніторами, які серійно випускаються.

2.3.2 Гідромоніторні агрегати

У вітчизняній і закордонній практиці виявляється великий інтерес до буріння свердловин і проведення по них нарізних виробок або виїмки вугілля із застосуванням агрегатів, обладнаних струминними виконавчими органами. Застосування у якості виконавчих органів таких машин струменів води високого тиску, запропоноване УкрНДІ-гідровугіллям, ДонВугІ і ДонНТУ, дозволяє створити легкі мобільні машини для спрямованого буріння свердловин і проведення нарізних виробок, для чого:

- виконавчий орган, що рухається, у вертикальній площині повинен дотримуватися гіпсометрії пласта;
- відхилення виконавчого органа від заданого напрямку в площині пласта має бути обмеженим або цілком виключеним;
- буровий став і його напрямна не повинні робити динамічних впливів на стінки свердловини;
- агрегати повинні мати засоби для транспортування відбитого матеріалу від вибою до штреку.

Застосування високонапірних струменів дозволяє виносити приводну частину агрегату з проведеного вироблення, залишаючи в ній тільки виконавчий орган і частину машини, що подає. При застосуванні високонапірних струминних виконавчих органів значно поліпшуються санітарно-гігієнічні умови праці робітників, повністю виключається пилоутворення.

Для струминного буріння свердловин та безлюдної виїмки вугілля розроблені агрегати *АГС* та *ГВД-3*, а також комплекс *КБГ*, табл. 2.14.

Агрегат *АГС*, рис. 2.29, працює за наступною схемою. При буравленні свердловин виконавчий орган з трьома насадками подається до вибою за допомогою верстата подачі, за рахунок нарощування трубчастих секцій із з'єднаннями. Під час подачі води в свердловину здійснюється обертання насадок виконавчого трубчастого органа в секторі 60° за рахунок хитання ставу на верстаті подачі силовим домкратом, що має автоматичний кінцевий перемикач.

При використанні агрегату *АГС* для безлюдної виїмки вугілля, після проведення свердловини з відкаточного штреку за підняттям до

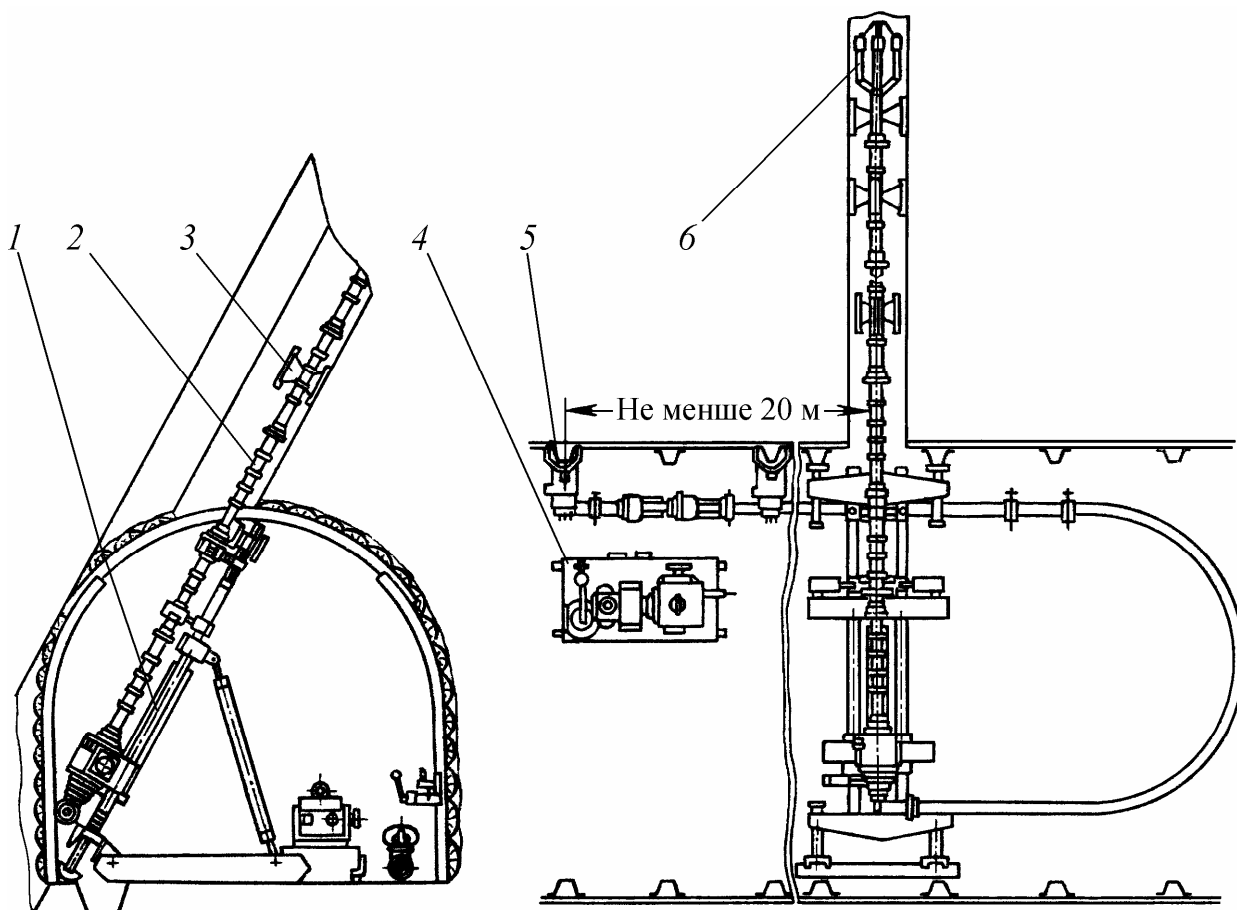


Рисунок 2.29 – Гідромоніторний агрегат АГС: 1 – верстат подачі; 2 – штанга, що подає воду; 3 – опорний ліхтар; 4 – маслостанція; 5 – пульт керування; 6 – виконавчий орган

вентиляційного, буровий виконавчий орган замінюється на виймальний — з однією насадкою, яка направлена перпендикулярно вісі ставу. Рухаючи виконавчий орган уздовж свердловини в зворотному напрямку, відбивають вугілля з одної, або з обох сторін від свердловини.

Перестановкою фіксатора сектора повороту верстата подачі насадку разом з виконавчим органом можна повернути на кут до 360° . Для забезпечення спрямованого буріння на головній частині ставу, а також через кожні 7 ... 10 м проведеної свердловини встановлюються опорні ліхтарі.

Керування агрегатом АГС здійснюється дистанційно з відстані 15 ... 20 м від верстата подачі. Агрегат АГС може бути застосований на гідрошахтах, а при зневоднюванні пульпи й проясненні технологічної води в підземних умовах — на шахтах зі звичайною «сухою» технологією.

Таблиця 2.14 – Технічні характеристики гідромоніторних агрегатів

Параметри	Гідромоніторні агрегати		
	<i>АГС</i>	<i>ГВД-3</i>	<i>КБГ</i>
Потужність пласта, м	0,3 й більше	0,7 ... 1,5	0,3 й більше
Кут падіння, градус	6 ... 90	6 ... 35	6 ... 90
Діаметр свердловини (розмір нарізної виробки), м	0,3 ... 0,8	до 1 × 1,2	
Довжина свердловини (нарізної виробки), м	до 150	до 75	до 150
Робочий тиск води, МПа	до 16	до 16	20
Витрата води, м ³ /год.	до 150	до 200	18
Технічна продуктивність агрегату:			
по бурінню, м/год.	до 15	до 25	8 ... 15
по виїмці, т/год.	до 50	до 50	15 ... 50
Зусилля подачі, МН	до 120	до 100	
Маса, кг	9300	9600	2600 *

* без насосної установки

При промисловій експлуатації агрегату *АГС* здійснювалося буріння довгих свердловин на усю висоту поверху за підняттям на ділянці пласта з кутом падіння від 20° до 40°. Середнє відхилення свердловини за простяганням складає 1,5 ... 2 м, а максимальне — не більше 8 м. Промислова експлуатація показала, що гідромоніторний агрегат *АГС* конструктивно простий, основні вузли малогабаритні, разом з тим потужність, що підводиться до робочого органа, складає 450 ... 500 кВт. Відсутність контакту бурового органа з вибоєм свердловини, висока продуктивність гідротранспорту й утворення струменями випереджальної порожнини забезпечують спрямоване буріння на усю висоту поверху.

Гідромоніторний агрегат *ГВД-3*, рис. 2.30, призначений для проведення нарізних вироблень з наступною очисною виїмкою без присутності людей у вибої. Гідромонітор за допомогою ставу, що складається із секцій метрової довжини, пересувається верстатом подачі, керованим дистанційно зі спеціального пульта. Напірна вода подається до гідромонітора по високонапірному шлангу. При прямому ході (нагору) агрегатом проводиться виробка перетином 1 × 1,2 м за допомогою спеціального виконавчого органа з трьома насадками. Виїмка вугілля ведеться зворотнім ходом.

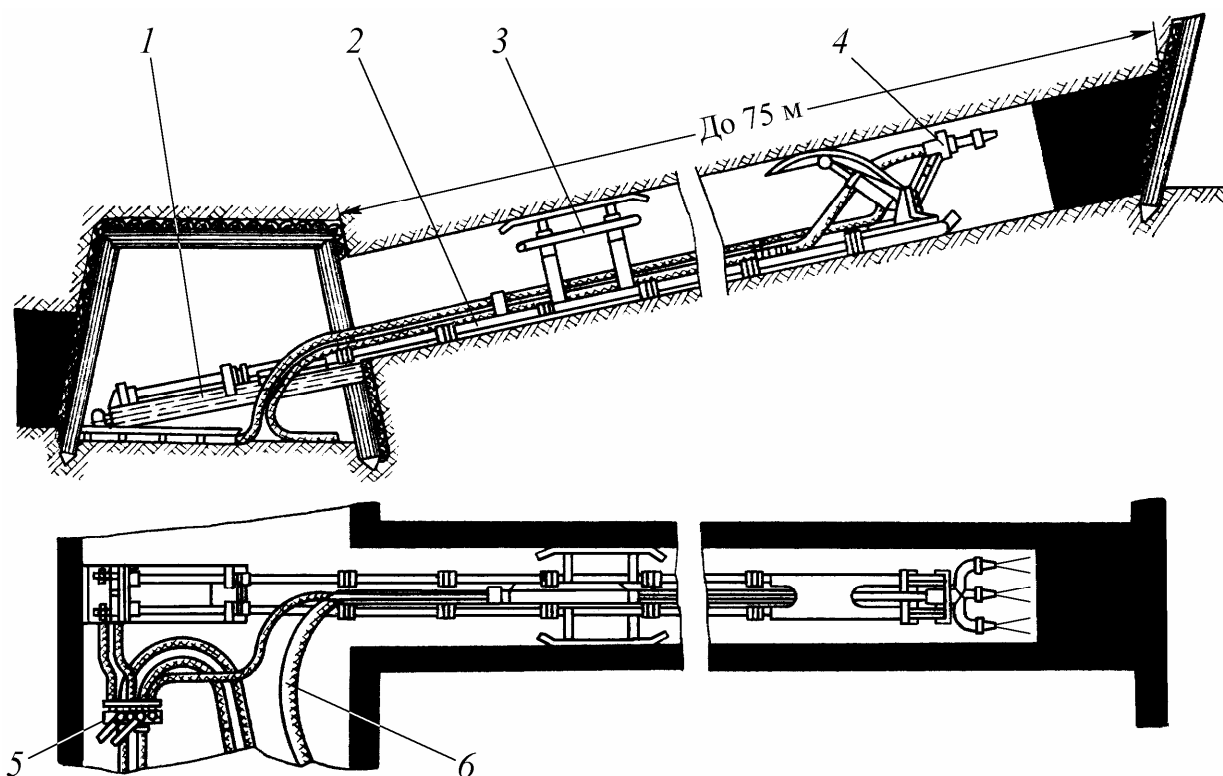


Рисунок 2.30 – Гідромоніторний агрегат ГВД-3: 1 – верстат подачі; 2 – секція подачі; 3 – розпірний ліхтар; 4 – гідромонітор; 5 – пульт керування; 6 – напірний рукав

Керування рухом виконавчого органа під час нарізки виробки здійснюється дистанційно з пульта, розташованого в штреку на відстані 15 ... 20 м. При нарощуванні секції подача води припиняється закриттям засувки. Став подачі одразу нарощується на 2 ... 3 і більше секцій в залежності від ефективності гідровідбійки. Для додання ставу жорсткості при його русі через кожні 7 ... 10 м на секціях монтуються розпірні ліхтарі. Виконавчий орган гідромонітора переміщується паралельно підшві пласта.

Гідромоніторний агрегат підключається до водопроводу за допомогою гнучких бурових рукавів високого тиску і швидкоз'єднаних з'єднань.

У ході промислової експлуатації гідромоніторного агрегату ГВД-3 встановлено, що середня технічна швидкість проведення вироблень дорівнює 25 м за зміну, а трудомісткість робіт — 1,27 людино-годин на 1 м.

Для підвищення ефективності гідравлічного руйнування при бурінні свердловин і наступній очисній виїмці без постійної присутності людей в очисному просторі (безлюдна виїмка вугілля), особливо на дуже тонких пластах потужністю менше 0,6 м і пластах, схиль-

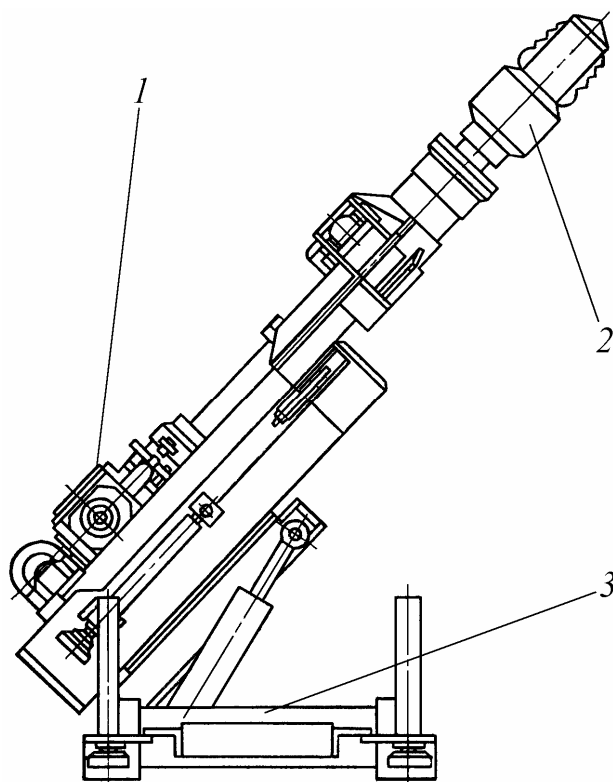


Рисунок 2.31 – Комплекс *КБГ* для безлюдної виїмки вугілля:

- 1 – привод обертання;
- 2 – виконавчий орган;
- 3 – станок подачі

них до раптових викидів вугілля і газу, розроблений комплекс *КБГ*, рис. 2.31. Комплекс складається з верстата подачі з маніпулятором і насосної установки. Верстат подачі служить для додання ставу зворотно-обертального руху і подачі ставу в свердловину.

Маніпулятор призначений для механізації установки і зняття штанг на вісь буріння. Рама з захватами, призначеними для утримання ставу подачі при нарощуванні і демонтажі, переміщується по напрямних поворотної платформи. Поворотна платформа служить для орієнтації приводу обертання в площині пласта.

Проведені УкрНДГідровугіллям дослідження і промислові іспити по відпрацьовуванню параметрів технології буравлення шпар різного призначення й очисної виїмки за допомогою гідравлічних агрегатів дозволили визначити основні області застосування агрегатів на шахтах:

- 1) відпрацьовування тонких і дуже тонких пластів засобами безлюдної виїмки;
- 2) проведення пластових вироблень для підготовки ділянок по технологічних схемах зі струговою виїмкою;
- 3) дистанційне буріння свердловин різного технологічного призначення.

2.3.3 Механогідравлічні машини.

На міцних вугіллях, де відбійка гідромоніторами недостатньо ефективна, доцільно застосовувати виймальні машини, що руйнують вугілля виконавчими органами трьох типів: механічного, механогідравлічного або гідромеханічного. Транспортування відбитого вугілля здійснюється при роботі цих машин за допомогою низько-напірної води.

У якості приводів цих машин можна застосовувати як електродвигуни, так і гідравлічні турбіни. Застосування останніх дозволяє спростити пускову апаратуру і відповідно зменшити масу самого привода. Технічні характеристики машин приведені в табл. 2.15.

Для проведення нарізних виробок по вугіллю на положистих пластах потужністю 0,8 ... 1,8 м механогідравлічним способом застосовують комбайн «Урал-38», рис. 2.32.

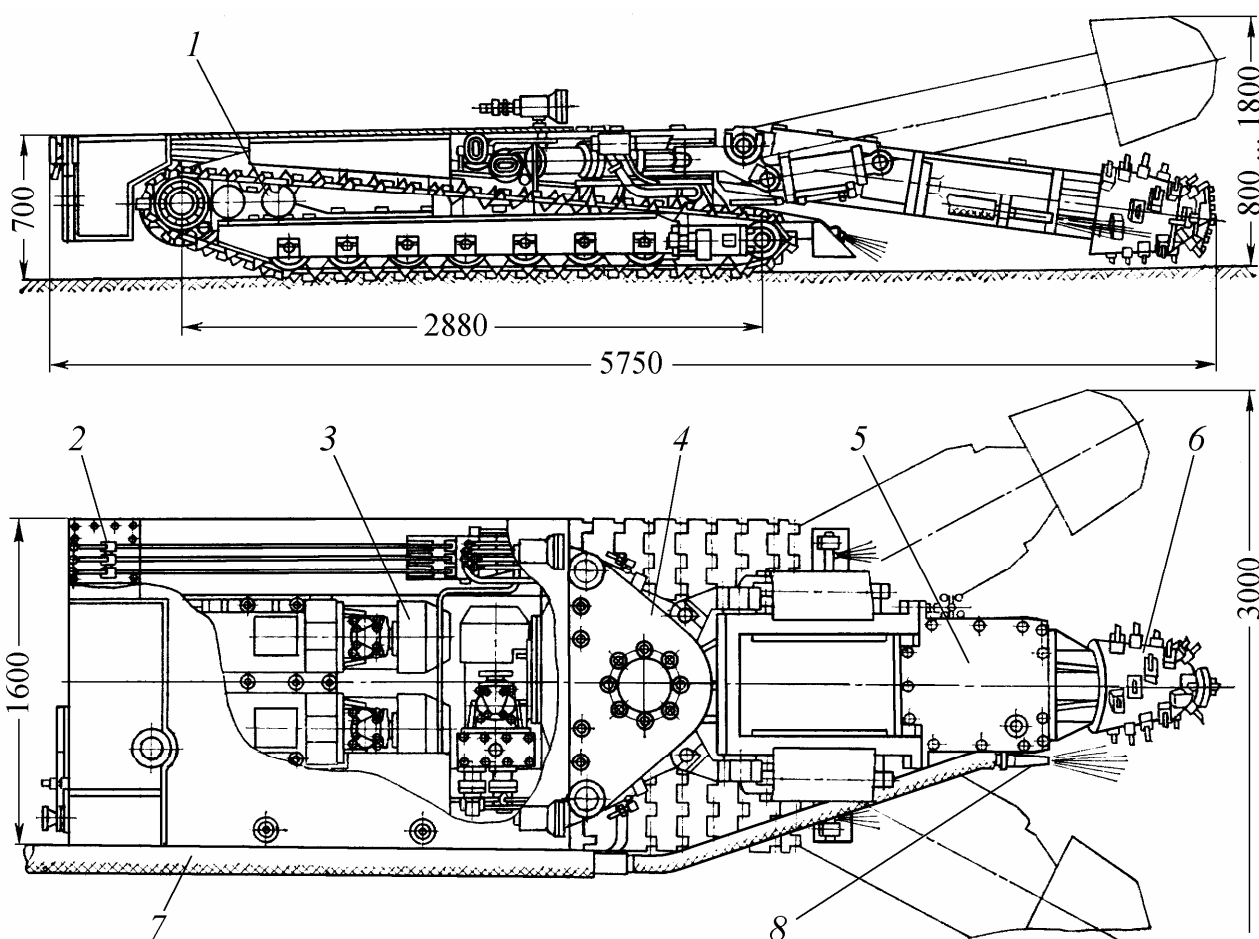


Рисунок 2.32 – Комбайн «Урал-38»: 1 – ходова частина; 2 – пульт керування; 3 – привод ходової частини; 4 – поворотна платформа; 5 – рукоять з приводом виконавчого органу; 6 – виконавчий орган; 7 – гумовий рукав подачі напірної води для гідротранспорту; 8 – насадка

Таблиця 2.15 – Параметри механогідравлічних машин і агрегатів

Параметри	Механогідравлічні машини та агрегати					
	«Урал-38»	К-56МГ	ГПКГ	МГПП-3А	ЛМГП-5	АП-2
Потужність пласта, м	0,8...1,8	1,9...2,5			1,8...2,35	
Кут падіння пласта, градус	До 15	До 15			До 90	
Міцність f вугілля, породи	До 2	До 4	До 4	До 7	До 2	До 10
Продуктивність: по проведенню виробки, м/год. по видобуванню вугілля, т/год.	До 120	До 135	До 180	1,1	До 4	До 35
Розміри виробки: ширина, м	3	2,0...3,4	2,2...4,7	2,25		
висота, м	0,8...1,8	1,9...2,5	1,8...3,8	2,25		
площа перетину, м ²		3,8...8,5	4,7...16	5	4,6...6,6	7,0
Швидкість подачі комбайна на вибій, м/мін.	1,97	1,82	6			8,98
Тиск робочої води, МПа		0,5...2,5	До 1,5	2,8...3,0	3	1,5...2,5
Витрата води, м ³ /год.		150...250	100...200	200...230	135	
Сумарна потужність електродвигунів, кВт		67	75			
Максимальний розмір куска породи, мм						400
Діаметр пульповоду, мм						117
Тиск на підшву, МПа	0,07	0,075	0,06			0,087
Основні розміри, мм: довжина	5780	5150	6500	5800	4000	6250
ширина	1600	1380	2500	2250	1720	1800
висота	750	1550	1300	1773	1785	2050
Маса, т	15	12,7	14	20	5,3	15,6

* продуктивність навантаження відбитої породи

Виконавчий орган комбайна виконаний у вигляді коронки, що має форму усіченого конуса, оснащений різцями, укріплений на поворотній рукояті і разом з редуктором і електродвигуном повертається відносно горизонтальної і вертикальної осей.

Основні вузли комбайна «Урал-38» уніфіковані з основними вузлами комбайнів *К-56МГ* і *4ПУ*. Кожен гусеничний візок має окремий привод від електродвигуна. Для забезпечення змиву відбитого вугілля вода подається під тиском 1 ... 1,5 МПа по трубах до насадки, установлені на поворотній стрілі виконавчого органу. При роботі комбайна практично відсутнє пилоутворення завдяки великій кількості води, що підводиться для змиву. Керування комбайном здійснюється з електричного і гідравлічного пультів, розташованих на задньому торці комбайна, крім того, є гідросистема дистанційного керування комбайном з переносного пульта. Електроустаткування комбайна має рудничне вибухобезпечне виконання.

Для механізованої виїмки вугілля короткими вибоями, а також для проведення підготовчих виробок по вугіллю або з невеликою присічкою порід, що вміщують, з міцністю $f \leq 4$ призначений комбайн *К-56МГ*, рис. 2.33.

Комбайн *К-56МГ* складається з наступних основних вузлів: виконавчого органу стрілоподібного типу вибірної дії, верхнього перекриття, гідросистеми з домкратами, поворотної платформи, шланга для подачі води, маніпуляторів, ходової частини, електроустаткування у вибухобезпечному виконанні.

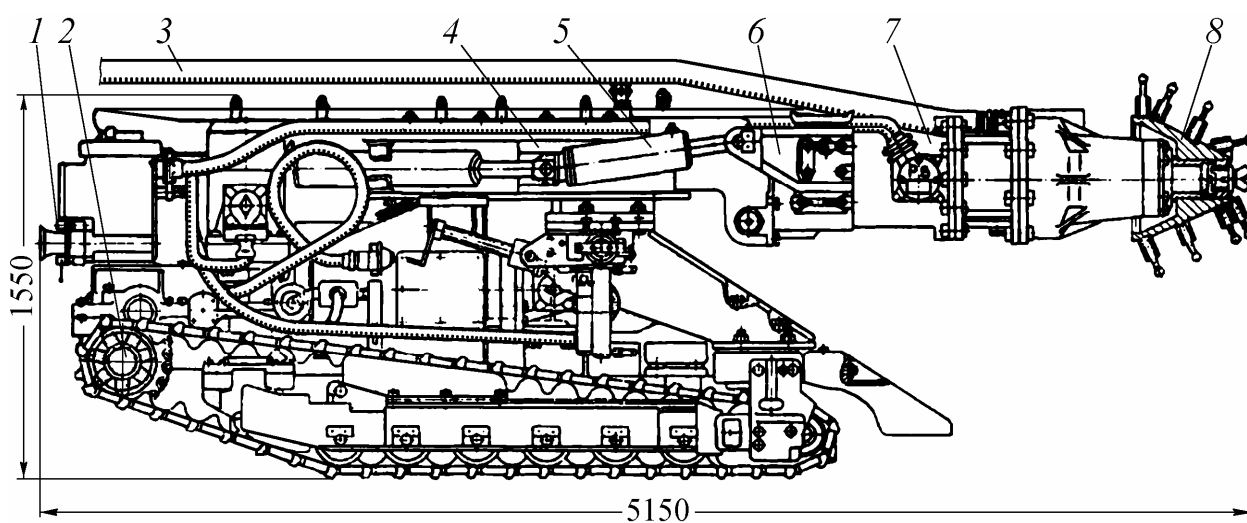


Рисунок 2.33 – Комбайн *К-56МГ*: 1 – пульт керування; 2 – ходова частина; 3 – шланг подачі напірної води до робочого органу; 4 – поворотна платформа; 5 – гідросистема з домкратами переміщення робочого органу; 6 – поворотна рукоять; 7 – привод виконавчого органу; 8 – виконавчий орган

Опорною базою комбайна є гусеничний ходовий візок, що має окремий електричний привод на кожну гусеницю, чим забезпечується добре маневрування.

За допомогою гідродомкратів системи гідроприводу здійснюється поворот стріли виконавчого органа комбайна. Керування комбайном ведеться машиністом з пультів, розташованих на задньому торці комбайна.

Для проведення горизонтальних і похилих підготовчих виробок по вугіллю з присічкою бокових порід з коефіцієнтом міцності $f \leq 4$ і очисної виїмки вугілля короткими вибоями в умовах гідрошахт призначений прохідницький комбайн **ГПКГ**.

Комбайн складається з виконавчого органа, що представляє собою телескопічну стрілу з різцевою коронкою, ходової частини гусеничного типу, електроустаткування, гідросистеми керування і системи гідрозмиву, опорного візка. Зруйновані виконавчим органом вугілля і порода за допомогою води транспортуються саопливом із приви́бійного простору і далі по виробленню.

Для проведення виробок на гідрошахтах по породах з коефіцієнтом міцності $f \leq 7$, а також по вугіллю з присічкою породи застосовується механогідравлічна машина **МГПП-3А**, рис. 2.34.

Прохідницька машина вибухобезпечна завдяки застосуванню гідротурбінних двигунів для привода робочого органа. Машина **МГПП-3А** складається з виконавчого органа з гідротурбінним приводом, гідроблоків керування і гусеничного візка. Виконавчий орган,

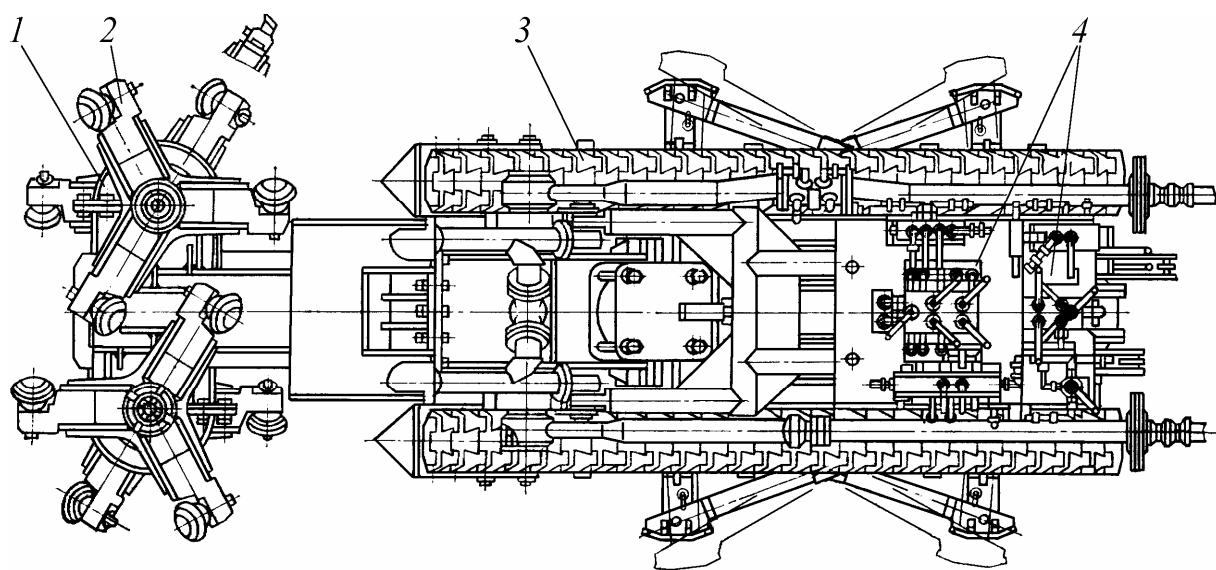


Рисунок 2.34 – Механогідравлічна прохідницька машина **МГПП-3А**:

1 – виконавчий орган; 2 – шестипроменеві коронки; 3 – гусеничний візок;
4 – гідроблоки керування

шарнірно з'єднаний з кареткою і з домкратом вертикального хитання, являє собою редуктор, на приводному валу якого встановлена радіальна турбіна, а на двох кінцях вихідного вала — шестипроменеві коронки з зубками, що ріжуть.

Гусеничний візок складається з рами, до якої кріпляться дві щоки, у яких установлені: натяжний пристрій, храпове з'єднання, колеса і приводні зірочки, закріплені на півосях фрикційною муфтою. На храповому колесі встановлена стопорна собачка, що виключає можливість мимовільного руху машини.

Для розвороту машини фрикційна муфта розмикається і стопорна собачка виводиться з зачеплення, а зірочки гусениць обертаються в протилежних напрямках. При русі машини вперед чи назад собачки храпових коліс установлюються відповідно на «Хід уперед» чи «Хід назад», при цьому диски фрикційної муфти замикаються, у результаті дві півосі працюють як цілий вал. При ході машини назад стопорна собачка виводиться з зачеплення. Коронки з редуктором роблять дуговий коливальний рух по вертикалі, обертаючись назустріч одна одній. Такий рух відбувається періодично з зупинкою в крайньому верхньому і крайньому нижньому положеннях для врізання виконавчого органа на глибину стружки до 30 мм.

Виконавчий орган подається на вибір у крайньому верхньому та крайньому нижньому положеннях автоматично, за допомогою гусеничного ходу або механізму подачі. Машина приводиться в рух водою, що підведена по високонапірному шлангу; цією же водою транспортується зруйноване вугілля.

Для проведення підготовчих вироблень по вугіллю на пластах потужністю більше 1,8 м з кутом падіння до 90° створено прохідницьку машину *ЛМГП-5*, рис. 2.35, яка має високу маневреність, невелику масу, транспортабельна, проста у монтажу-демонтажу, що дозволяє рекомендувати її для ефективного застосування при проведенні штреків на крутих пластах.

Виконавчий орган машини *ЛМГП-5* складається з двох барабанів, що ріжуть, які приводяться в обертання через редуктор за допомогою ковшових турбін. Редуктор установлений на водило. Поворотна колонка, на якій закріплене водило з редуктором і виконавчим органом, гідродомкратами повертається в горизонтальній площині, а у вертикальній площині водило переміщується гідродомкратом, шток якого шарнірно закріплений у вушках поворотної колонки. Стійкість машини при роботі забезпечується вертикальним

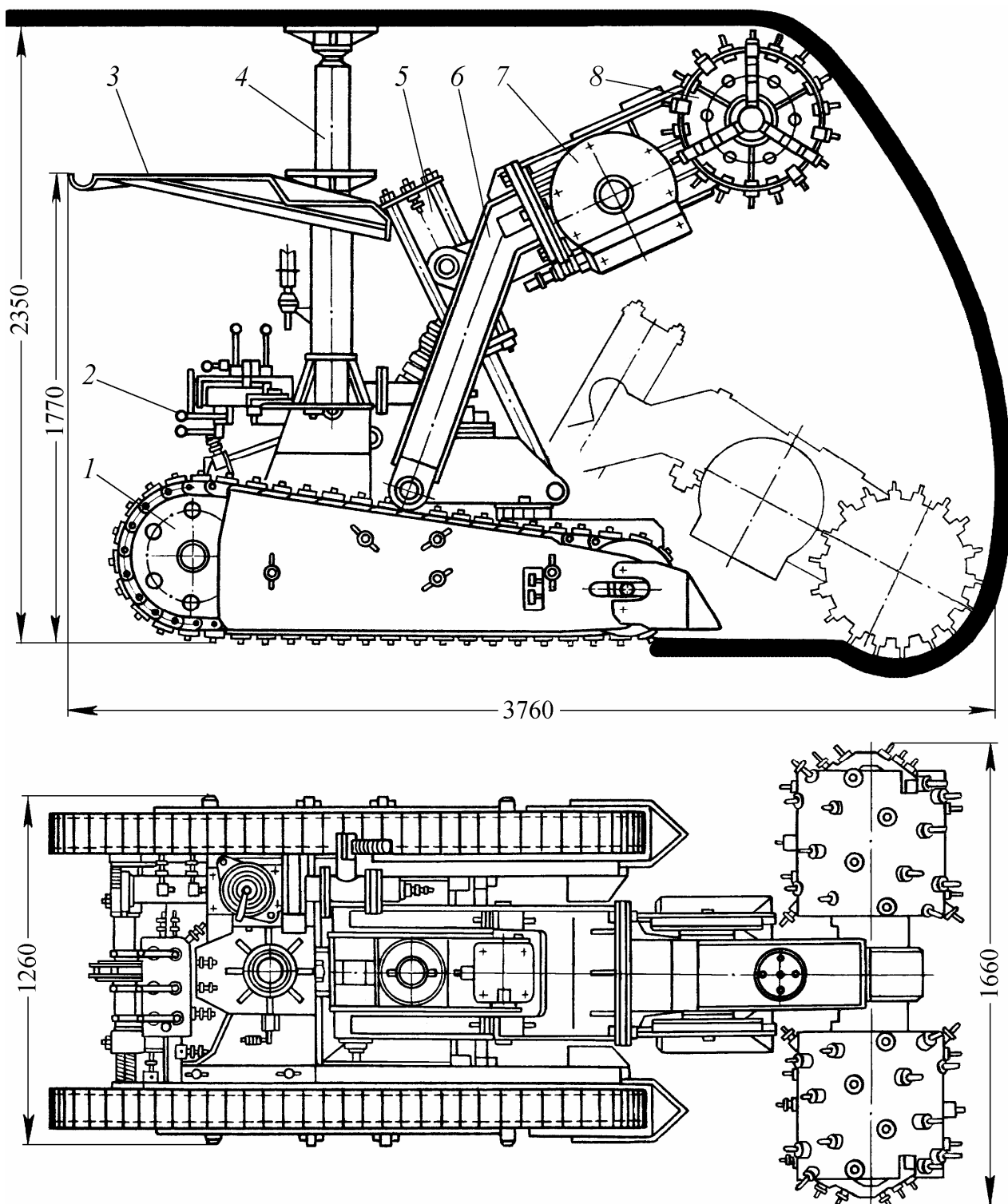


Рисунок 2.35 – Легка механогідравлічна прохідницька машина ЛМГП-5:

1 – гусеничний візок; 2 – пульт керування; 3 – захисний козирок; 4 – розпірний гідродомкрат; 5 – гідродомкрат підйому виконавчого органу; 6 – водило; 7 – привод виконавчого органу (турбіна з редуктором); 8 – виконавчий орган

розпірним гідродомкратом. Гусеничний візок складається з рами, до якої кріпляться бічні щоки, приводного вала з храповим колесом, гідродомкрата, зірочок і натяжних пристроїв. Приводний вал оберта-

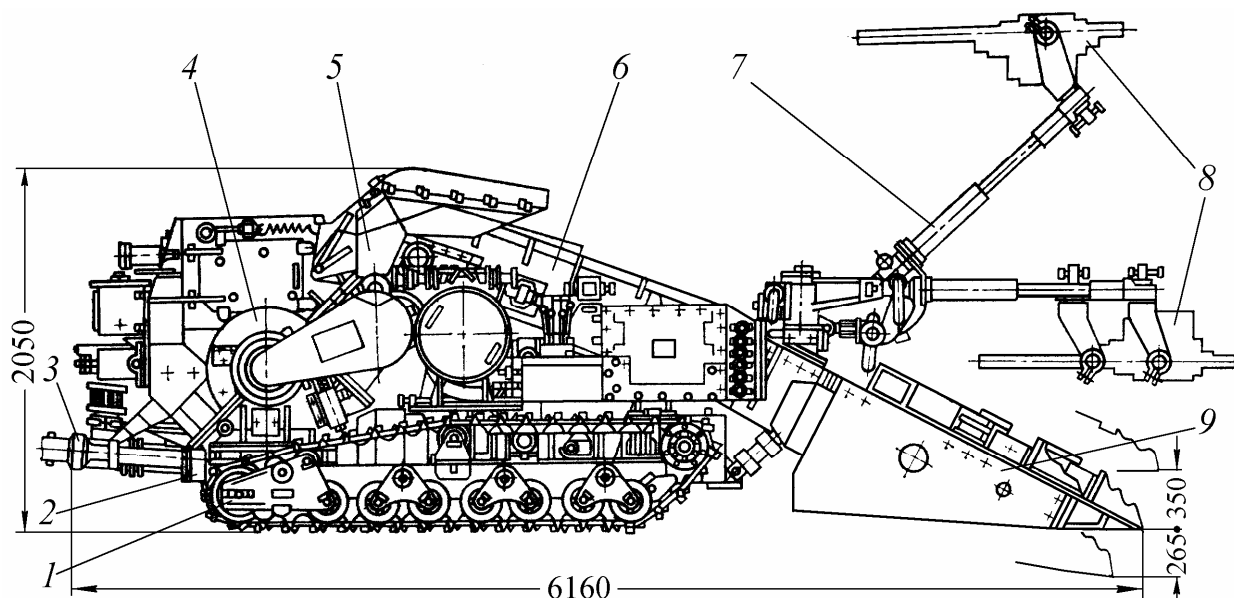


Рисунок 2.36 – Прохідницький агрегат АП-2: 1 – гусеничний візок; 2 – гідроелеватор; 3 – пульпопровід; 4 – дробарка; 5 – живильник; 6 – скребковий конвеєр; 7 – маніпулятор; 8 – електросвердло СЕК-1; 9 – пристрій, що нагортає

ється через храпове колесо від гідродомкрата. Переключенням собачки храпового механізму забезпечується реверсування обертання приводного вала.

Прохідницький агрегат АП-2, рис.2.36, призначений для механізації операцій прохідницького циклу при проведенні підготовчих вироблень по породах міцністю $f \leq 10$ буро-підричним способом зі складанням породи в шахті. Агрегат забезпечує буріння шпурів, збирання відбитої породи, роздроблювання великих кусків та підготовку пульпи для подальшого гідротранспортування.

Проведення виробок виконується у такий спосіб. Після буріння шпурів агрегат відводиться від вибою та виконуються підривні роботи й провітрювання. Агрегат підходить до штабеля породи, включається високонапірна вода, конвеєр та лапи, що нагортають. Порода, що нагортається, надходить до скребкового конвеєра, який виносить її на валковий живильник дробарки. Дробарка здрибнює породу до транспортабельної крупності. Далі порода потрапляє у піддон, де змішується з водою. Пульпа, що утворилася, підхоплюється струменем гідроелеватора й уноситься через дифузор останнього у пульпопровід.

Ходова частина агрегату АП-2 і більшість інших вузлів сконструйовані на базі породонавантажувальної машини 2ПНБ-2. Для подачі гірської маси на конвеєр і кріплення маніпуляторів служить

частина агрегату, що нагортає, яка максимально уніфікована з машиною 2ПНБ-2.

Дробарка складається з валкового живильника, нижнього корпусу з гідроелеватором, верхнього корпусу і ротора з двома жорстко закріпленими білами. Щоб виключити влучення з порожнини дробарки шматків більше 60 мм, верхня частина корпусу разом з ротором відділена від нижньої колосниковими ґратами. Гідроелеватор вмонтований у нижню частину корпусу (піддон), що дозволило зменшити висоту агрегату.

На агрегаті монтуються електроустаткування, устаткування маслосистеми, розведення високонапірної води і система зрошення. Підключення агрегату до магістралі високонапірної води здійснюється за допомогою гнучкого шланга діаметром 76 мм, а відвод гідросуміші — за допомогою металевого шарнірного пульповоду діаметром 117 мм.

Безпечні умови експлуатації агрегату забезпечують системи зрошення і пилопридушення, механічні й електричні блокування.

2.3.4 Гідроімпульсні машини

Дослідження ефективності імпульсних струменів при руйнуванні гірських порід різної міцності показали, що імпульсні струмені в порівнянні зі звичайними забезпечують підвищення динамічного тиску в 2...3 рази, підвищують ефективність руйнування за рахунок одержання оптимального тиску у вибою з меншими енергетичними витратами. Дослідження МГІ (Росія) і ДонНТУ по вивченню динамічних характеристик струменів з імпульсним підвищенням напору при руйнуванні зв'язних порід показали, що питома енергоємність руйнування такими струменями удвічі менша, ніж безперервними струменями.

Існуючі схеми пристроїв для формування імпульсних струменів можна класифікувати на 4 основні групи за особливостями робочого процесу: *гідроімпульсатори; гідропушки; гідроімпульсні генератори коливань тиску без його підвищення; поршневі мультиплікатори.*

Найбільш простим принципом одержання імпульсних струменів є принцип перекриття більшого перетину вихідного сопла. У цьому випадку плин здійснюється в такий спосіб: через сопло з великим вихідним перетином відбувається плин рідини з деякою швидкістю. У деякий момент часу миттєво перекривається частина більшого перетину, залишаючи менший вихідний перетин. При цьому відбува-

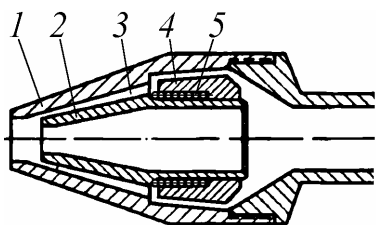


Рисунок 2.37 – Насадка А. В. Бричкина, В. Б. Потоцького, В.С. Бондаревського і В. Д. Мороза з пружинним клапаном: 1 – зовнішній патрубок (сопло); 2 – внутрішній патрубок; 3 – кільцевий канал; 4 – клапан; 5 – пружина

ється гальмування рідини і за рахунок гідравлічного удару підвищується тиск в зоні гальмування, що приводить до збільшення швидкості плинну через малий перетин.

З урахуванням цього принципу різними авторами запропонований ряд гідромоніторних насадок. На рис. 2.37 зображена насадка А. В. Бричкина, В. Б. Потоцького, В. С. Бондаревського і В. Д. Морозова. Вихідне сопло виконане у виді двох співвісно розташованих патрубків 1 і 2, які утворюють кільцевий канал 3. На внутрішньому патрубку встановлений клапан 4, який тиском рідини зрушується уліво, стискаючи пружину 5, і перекриває канал 3. Унаслідок різкого уповільнення швидкості відбудеться гідравлічний удар з підвищенням тиску рідини і швидкості її витікання через центральний патрубок. Після поширення удару до насоса чи розрядника і його відбиття хвиля зниженого тиску дійде до клапана і пружина 5 відведе клапан у вихідне положення.

Подальше удосконалювання цієї конструкції привело до розробки *гідроімпульсатора*, рис. 2.38. Принцип дії гідроімпульсатора подібний до описаного вище, але у даному випадку коливальні рухи виконує внутрішня насадка 6, яка штоком 3 з'єднана з пружиною 1. Рухаючись вправо до упору в зовнішню насадку 5, внутрішня насадка перекриває кільцевий канал, що зменшує прохідний перетин потоку, і у результаті гідравлічного удару формується швидкісний імпульсний струмінь. Після приходу зворотної хвилі і зниження тиску пружина 1 відводить шток 3 з насадкою 6 у вихідне положення. Варіюючи натяг пружини 1, можна домогтися необхідного режиму імпульсів.

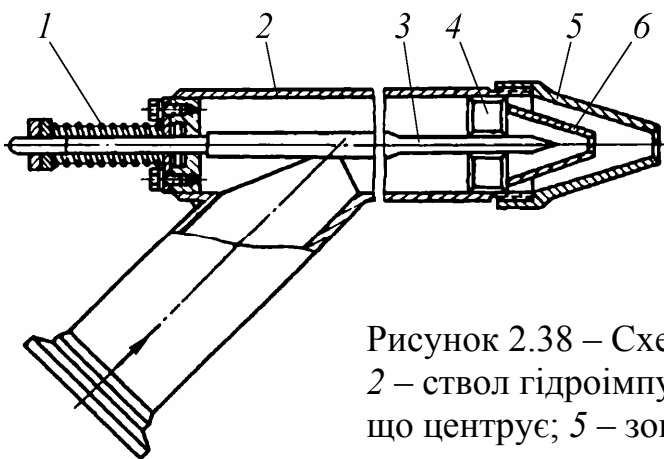


Рисунок 2.38 – Схема гідроімпульсатора: 1 – пружина; 2 – ствол гідроімпульсатора; 3 – шток; 4 – крильчатка, що центрує; 5 – зовнішня насадка; 6 – внутрішня насадка

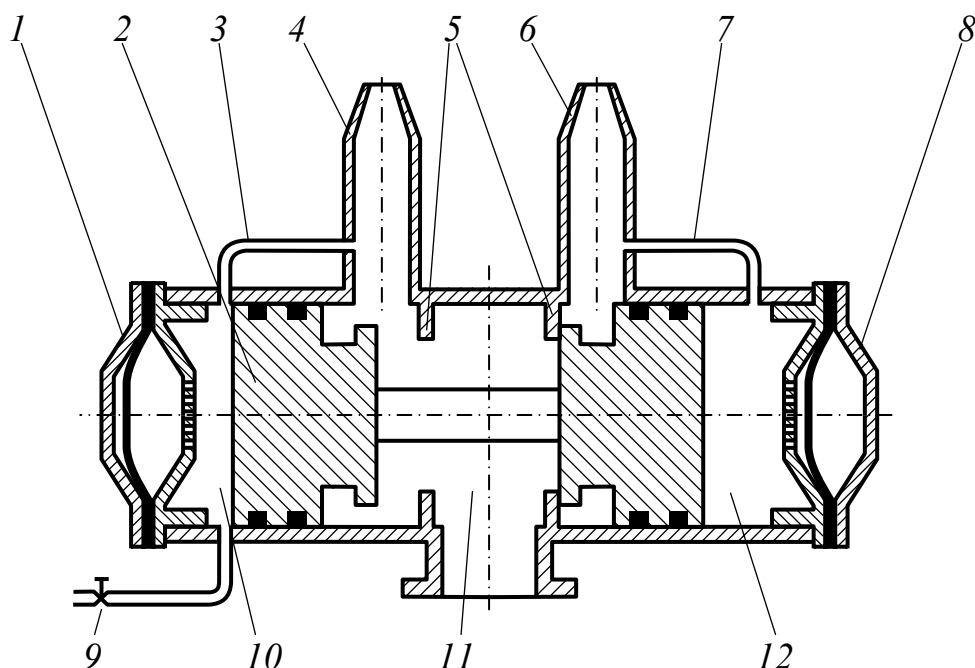


Рисунок 2.39 – Принципова схема імпульсного гідромонітора ГІ-4: 1, 8 – повітряні ковпаки; 2 – поршень-клапан; 3, 7 – перевідні трубки; 4, 6 – стводи; 5 – сидла; 9 – вентиль керування; 10, 11, 12 – порожнини

Розроблений у ДонНТУ двоствольний імпульсний гідромонітор **ГІ-4**, загальну характеристику якого надано у п. 2.3.1, перетворює стаціонарний потік на два пульсуючих шляхом перемикання прохідних каналів. Перемикач потоку складається з поршня-клапана 2 та повітряних ковпаків 1 і 8, рис. 2.39, і змонтований у поворотній голівці гідромонітора (див. рис. 2.28). Робоча рідина поступає у камеру 11, з якої, у залежності від положення поршня-клапана 2, буртики якого притиснуті до лівого або правого сидла 5, надходить у лівий 4 або правий 6 ствол. Запоршневі порожнини 10 і 12 з'єднані зі стводами 4 і 6 перевідними трубками 3 і 7. Одна з порожнин (наприклад, 10) з'єднана з атмосферою через вентиль 9.

Для введення перемикача у режим автоколивань закривають вентиль 10. Рідина по трубці 3 надходить у порожнину 10 і через отвори заповнює повітряний ковпак, віджимаючи його мембрану. Тиск у порожнині підвищується і поршень-клапан 2 пересувається вправо (по схемі), перемикаючи напрям руху рідини, яка надходить тепер не до лівого 4, а до правого 6 стvola. Тиск у лівому стволі падає до атмосферного і рідина починає по трубці 3 виходити з порожнини 10. Оскільки у повітряному ковпаку 1 знаходиться деякий обсяг рідини, а трубка 3 має значний гідравлічний опір, тиск у порожнині 10 залишається підвищеним і дорівнює тиску повітря у ковпаку 1, доки мембрана ковпака не буде притиснута до решітки.

Одночасно, підвищення тиску у правому стволі призводить до заповнення рідиною через трубку 7 порожнини 12 і повітряного ковпака 8. Коли тиск у порожнині 12 перебільшить тиск у порожнині 10, поршень-клапан 2 знову пересунеться у ліве (за схемою) положення. Тепер рідина надходитиме до лівого ствола 4, тиск у правому стволі впаде до атмосферного. Рідина заповнить порожнину 10 і ковпак 1, а з порожнини 12 і ковпака 8 витікатиме. Коли тиск у порожнині 10 стане вищим, ніж у порожнині 12, поршень-клапан знову пересунеться вправо і т. д.

Виведення перемикача з режиму автоколивань здійснюється відкриттям вентиля 9, який з'єднує порожнину 10 з атмосферою.

Карагандинським політехнічним інститутом розроблена конструкція двоствольного імпульсного гідромонітора, заснованого на принципі використання енергії гідравлічного удару. В основі одержання імпульсних водяних струменів надвисокого тиску лежить інерційний метод одержання імпульсних струменів за допомогою гідрогармат чи імпульсних водометів. Сутність даного методу полягає в наступному: деякий обсяг води розганяється в стволі циліндричної форми до визначеної швидкості, а потім, не змінюючи напрямку, направляється в насадку з внутрішньою конічною поверхнею, де у результаті різкого зменшення прохідного перетину і відповідного гальмування потоку відбувається різке підвищення тиску.

Для вуглевидобувних підприємств, що розробляють круті і крутопохилі шари, у ДонНТУ розроблено *гідроімпульсну виймальну установку ГІУВм* з генератором імпульсного струменя, який перетворює стаціонарний маловитратний потік води ($5 \dots 5,5 \text{ м}^3/\text{год}$) високого тиску (до 32 МПа) в імпульсний потік підвищених миттєвих витрат (до $100 \text{ м}^3/\text{год}$).

Генератор, рис. 2.40, складається з головного клапана 2, з'єданого зі стволом 1, робочого пневмогідроаккумулятора (накопичувача) 10, клапана, що керує, 24 і баластного пневмогідроаккумулятора 6. Накопичувач має три робочі порожнини, розділені поршнями 12 та 15. Порожнина 11 з'єднана з магістраллю 9 і призначена для накопичення обсягу пострілу. Порожнина 16 заповнена стисненим повітрям, яке служить пружним елементом для накопичення енергії пострілу. Проміжна порожнина 14 заповнена олією і каналом 32 з'єднана з порожниною 29 клапана 24. Кільце 13 обмежує хід поршня 12. Клапан 24 керує головним клапаном 2 шляхом з'єднання порожнини 20 з магістраллю або з атмосферою. Головний клапан 2 перекриває або відкриває прохід рідині з накопичувача до ствола 1. Баластний

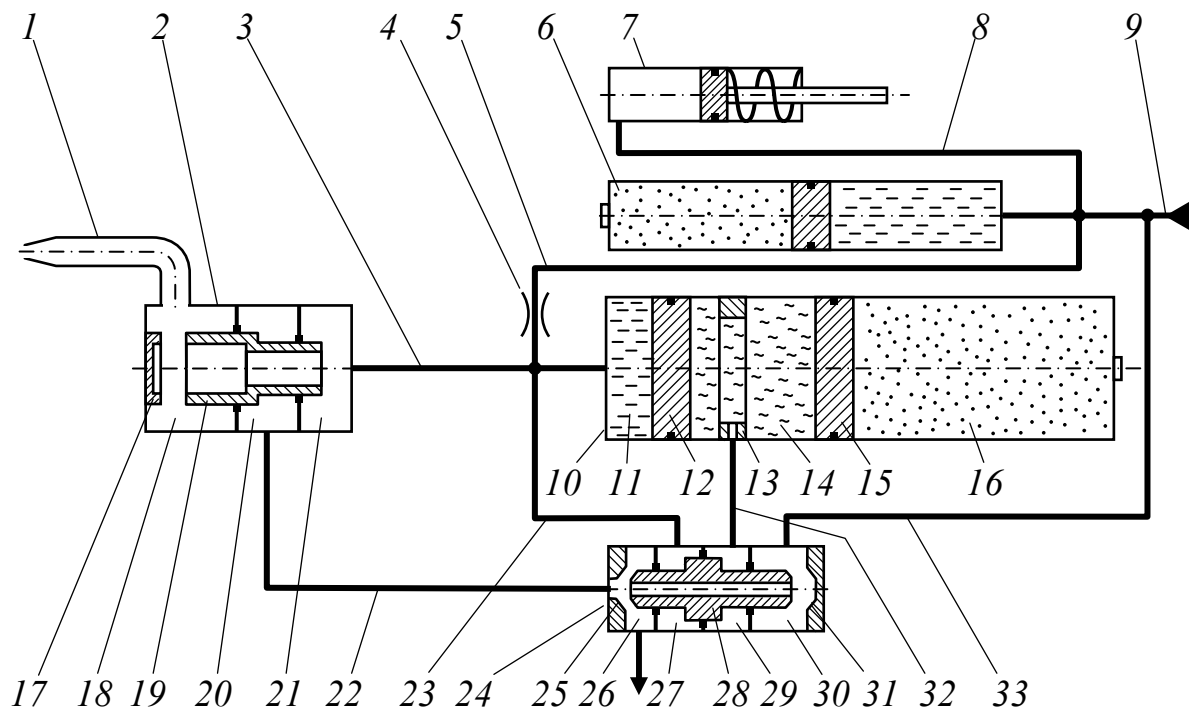


Рисунок 2.40 – Схема генератора імпульсного струменя машин *МБГІ-І* та *ГІУВм-І*: 1 – ствол; 2 – головний клапан; 4 – дросель; 6 – баластний пневмогідроакумулятор; 7 – гідродомкрати розпору; 10 – робочий пневмогідроакумулятор (накопичувач); 12, 15 – поршні робочого пневмогідроакумулятора; 13 – нерухоме кільце; 19, 28 – поршні-клапани; 17, 25, 31 – сідла клапанів; 24 – клапан, що керує; 3, 5, 8, 9, 22, 23, 32, 33 – канали; 11, 14, 16, 18, 20, 21, 26, 27, 29, 30 – робочі порожнини гідроапаратів

пневмогідроакумулятор 6 призначений для захисту магістралі, що підводить, від динамічних процесів, які протікають у генераторі.

Робота генератора полягає у чергуванні циклів накопичення рідини і пострілів. Подача рідини з магістралі 9 починає цикл накопичення. Тиск у камерах 27 і 29 клапана 24 у цей час однаковий. Поршень-клапан 28 під дією різниці тисків у камері 26, яка з'єднана з атмосферою, і 30, яка з'єднана з магістраллю каналом 33, займає ліве положення, притискаючись до сідла 25. Камера 20 головного клапана 2 з'єднується з магістраллю 9 через канал 22, центральний отвір у поршні-клапані 28 і канал 33, і поршень-клапан 19 притискається до сідла 17, перекриваючи прохід рідини з лінії 3 до ствола 1. Рідина, що надходить до генератора з магістралі 9, поступає у накопичувач 10 та баластний пневмогідроакумулятор 6. Через падіння тиску на дроселі 4 тиск у порожнині 11 накопичувача менший, ніж у магістралі, і дорівнює тискові масла і стисненого повітря у порожнинах 14 і 16.

Поршень 12 накопичувача рухається вправо (за схемою), доки не зустрінеться з кільцем 13. Рух рідини через дросель 4 зупиняється і тиск у порожнині 11, а також у з'єднаній з нею лінією 23 камері 27

клапана 24, миттєво зростає до тиску в магістралі 9. Через різницю тисків у камерах 27 і 29 поршень-клапан 28 зсувається вліво, притискаючись до сидла 31. Камера 20 головного клапана 2 через камеру 26 з'єднується з атмосферою і поршень-клапан 19 зсувається вліво. Рідина з накопичувача 10 надходить через внутрішній отвір поршня-клапана 19 до ствола 1 – відбувається “постріл”.

Через спорожнювання накопичувача 10 тиск у порожнині 11 і зв'язаній з нею порожнині 27 клапана 24 знижується майже до атмосферного, і поршень-клапан 28 різницею тисків у порожнинах 27 і 29 повертається у ліве положення. Порожнина 20 знову з'єднується з магістраллю, і головний клапан закривається. Генератор імпульсів переходить у режим накопичення.

Частота пострілів визначається ємністю накопичувача (максимальним об'ємом порожнини 11) та подачею робочої рідини — час одного імпульсу дорівнює часу, потрібному на заповнення накопичувача та на його спорожнення. Останнє відбувається за значно (у 15...20 разів) коротший період часу, що зумовлює великі миттєві витрати при пострілі.

Гідроімпульсна виймальна установка ГІУВм, рис. 2.14, складається з рами 12, на якій змонтовані елементи генератора імпульсної струї: головний клапан 6 та клапан 8, що керує, гідропневмоаккумулятор-накопичувач 9 та баластний пневмогідроаккумулятор 11. Загнутий під кутом 90° ствол 3 з насадкою 13 приєднаний до обойми 4 головного клапана 6 поворотною обоймою 5. За допомогою гідродомкрата 2 положення ствола 3 відносно підшви пласта можна регулювати у межах 0 ... 0,6 м.

Установка дозволяє виймати пласти потужністю 0,45 ... 1,5 м з опором різанню до 150 кН/м. Руйнування вугільного масиву провадиться імпульсним струменем води тиском близько 18 ... 25 МПа, при цьому вологість відбитого матеріалу не перевищує 3 ... 7%, що дозволяє транспортувати його традиційними засобами шахт звичайної “сухої” технології.

Для живлення виймальної машини можна використовувати будь-який високонапірний насос, що забезпечує тиск води не менш 30 МПа при подачі насоса 5 ... 6 м³/год. Найбільш придатними є насосні установки АНТ-02 виробництва заводу ім. Г. І. Петровського, м. Дзержинськ, і УНГ-5,4, завод ім. С. М. Кірова, м. Горлівка Донецької обл., Україна, які використовуються на шахтах для гідророзмиву і нагнітання води у вугільні пласти. Підведення потоку води від насоса до машини виконується по гнучкому високонапірному рукаві з умовним проходом не менш 20 мм. Переміщення виймальної машини

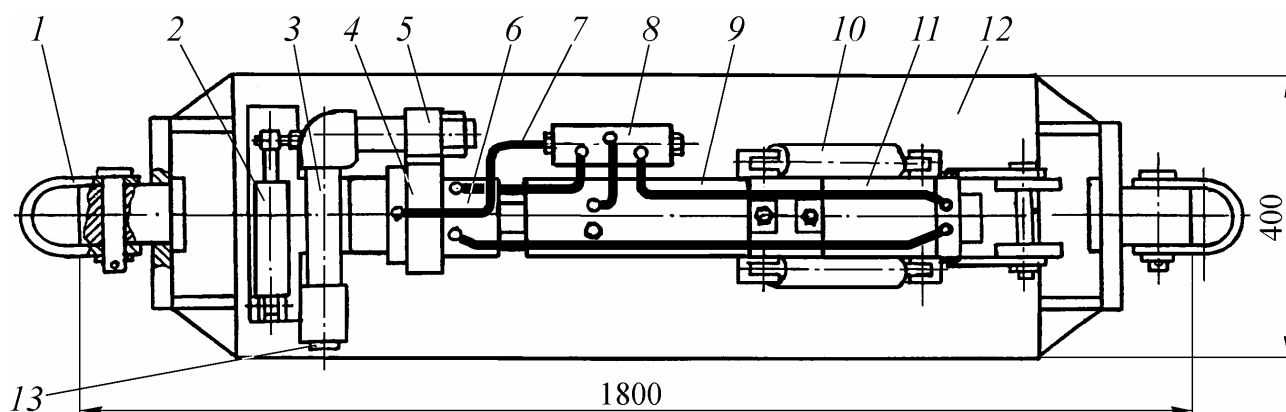


Рисунок 2.41 – Гідроімпульсна виймальна установка ГІУВм: 1 – причіпний пристрій; 2 – домкрат підйому ствола; 3 – ствол; 4 – обойма головного клапана; 5 – обойма ствола; 6 – головний клапан; 7 – перевідні трубки; 8 – клапан, що керує; 9 – пневмогідроаккумулятор-накопичувач; 10 – домкрати підйому генератора імпульсного струменя; 11 – баластний пневмогідроаккумулятор; 12 – рама; 13 – насадка



Рисунок 2.42 – Машина бурова гідроімпульсна МБГІ-1: 1 – решітка; 2 – насадки; 3 – стволи; 4 – головний клапан; 5 – обойма головного клапана; 6 – рама; 7 – домкрат розпору; 8 – пневмогідроаккумулятор-накопичувач; 9 – баластний пневмогідроаккумулятор; 10 – клапан, що керує; 11 – піддон; 12 – обойма; 13 – розпір

можливе за допомогою будь-якої лебідки, що забезпечує швидкість не менш 6 м/хв.

Для проведення підготовчих свердловин за підняттям у комплексі з ГІУВм доцільно використовувати **машину бурову гідроімпульсну МБГІ-1**.

Машина МБГІ-1, рис. 2.42, базується на тому ж генераторі імпульсного струменя, що й ГІУВм. На відміну від останньої, машина МБГІ-1 має два стволи, розташовані в передній частині машини і направлені уздовж її осі. Проходження свердловини здійснюється таким чином: у горизонтальній виробці встановлюється станок подачі, який просуває буровий став з машиною на кінці у свердловину. По

ставу до генератора підводиться високонапірна вода. Поворотний механізм бурового станка через став подачі обертає стволи з робочими насадками навколо осі машини. Завдяки круговому руху стволів гідроімпульсні струмені руйнують вугільний пласт, формуючи в ньому виробку круглого перетину.

Через деякий час поворотний механізм і високонапірний насос вимикаються і став подачі нарощують на чергову секцію. Далі цикл проведення свердловини повторюється.

Технічна характеристика машин *МБГІ-1* і *ГЛУВм* наведена у табл. 2.16.

На рис. 2.43 наведено приклад технологічної схеми розробки тонких крутих та крутопохилих пластів із застосуванням машин *МБГІ-1* та *ГЛУВм*. Для забезпечення фронту очисної виїмки вугілля установкою *ГЛУВм* здійснюється попереднє буріння свердловин 13 машиною *МБГІ-1* 12, для чого у відкаточному штреку 9 встановлюється буровий станок 11, а також насос і пульт керування буровою установкою (на рис. не показані). У вентиляційному штреку 1 монтується обладнання для очисної виїмки вугілля: насосна установка 2, лебідка 4, пульт керування 5 і кран-балка 7. Виймальна машина 8 опускається на тросі 6 у свердловину, через високонапірний рукав 3 до неї підводиться робоча вода.

Таблиця 2.16 – Технічні характеристики гідроімпульсних машин

Параметри	Машина	
	<i>МБГІ-1</i>	<i>ГЛУВм</i>
Продуктивність технічна, м/мін т/мін	5 ... 10	1 ... 2
Глибина виїмки, м, за один прохід за цикл	—	0,15
	—	0,9
Межі регулювання висоти ствола по відношенню до підшви пласта, м	—	0 ... 0,6
Діаметр свердловини, м	0,4	—
Кут нахилу свердловини до горизонту, град	35 ... 90	—
Зусилля подачі на вибій, кН	1200	—
Обертальний момент, Нм	7200	—
Робоча рідина	технічна вода	
Тиск робочої рідини, МПа	32	
Витрата робочої рідини, м ³ /год	5 ... 6	
Габаритні розміри, мм:	довжина	1920
	ширина	400
	висота	400
Маса, кг	420	400

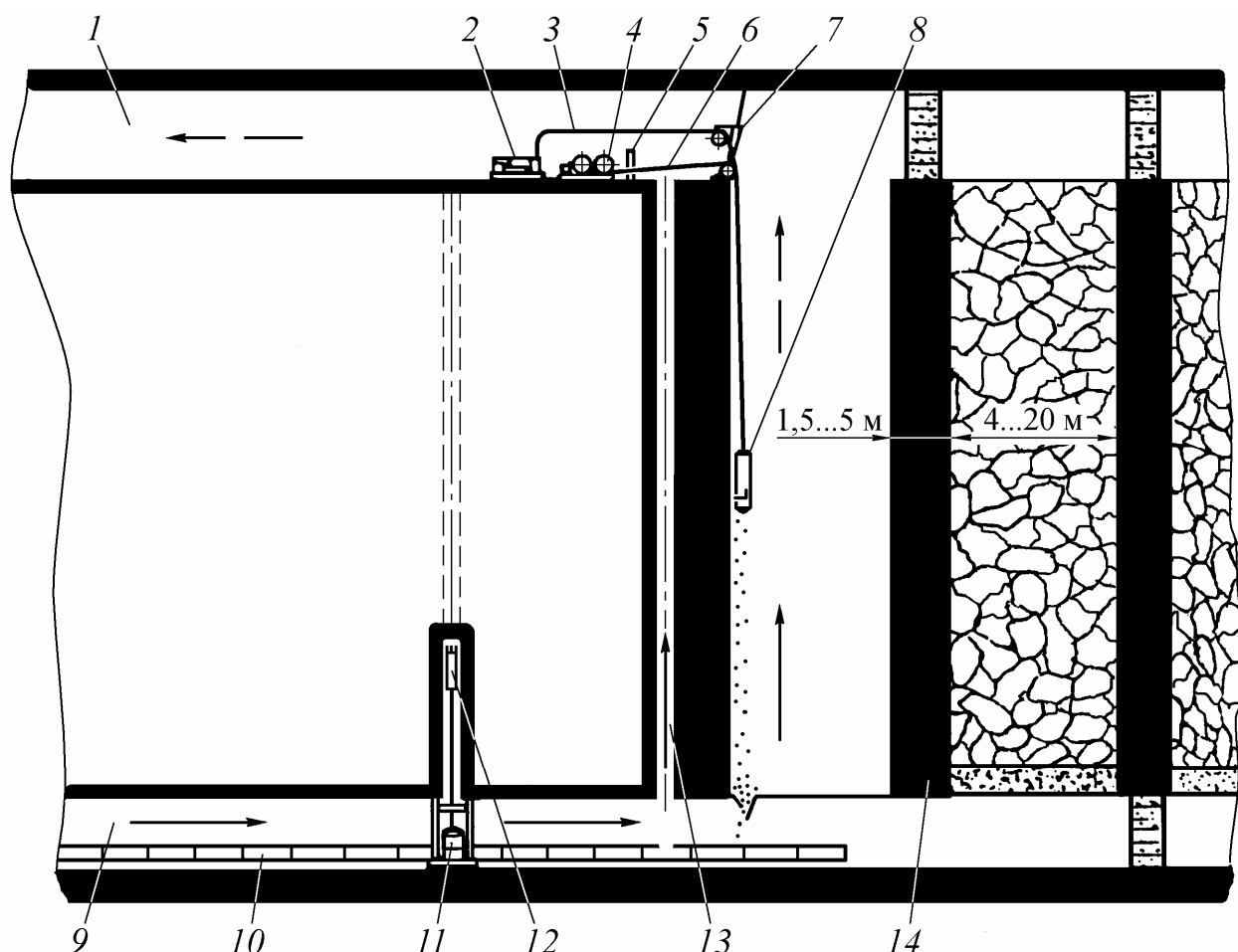


Рисунок 2.43 – Технологічна схема відпрацювання крутих і круто-похилих пластів із застосуванням машин *МБГІ-1* та *ГІУВм-1*: 1 – вентиляційний штрек; 2 – насосна установка; 3 – високонапірний рукав; 4 – лебідка; 5 – пульт керування; 6 – канат; 7 – кран-балка; 8 – машина виймальна *ГІУВм-1*; 9 – відкаточний штрек; 10 – скребковий конвейер; 11 – буровий станок; 12 – машина бурова *МБГІ-1*; 13 – свердловина; 14 – цілик

Руйнування пласта здійснюється у човниковому режимі, шляхом послідовних опускань і піднімань машини уздовж лави. Спочатку, за 4 ... 6 проходів, у пласті прорізається щілина на глибину до 1 м. Для цього рекомендується встановлювати ствол машини на висоту найслабкішої пачки пласта. Потім ствол встановлюється на відбійку пачки по підосві або покрівлі пласта і робиться 4 ... 6 проходів.

Процес виймання вугілля продовжується безперервно до завершення розробки камери, після чого установка *ГІУВм* витягується у вентиляційний штрек і опускається у наступну свердловину.

Для руйнування міцних вугіль та порід інститутом УкрНДІ-гідровугіллям розроблено імпульсні водомети надвисокого тиску *ІВ-1*; *ГБ-1*; *ІВ-5* та *ІВ-15*. Схема водомета, що пояснює принцип одержання імпульсних струменів, показана на рис. 2.44.

Імпульсний водомет складається з циліндра 4, з'єднаного зі стволом 6, який закінчується конічною насадкою 7. З іншої сторони циліндр герметично закритий дном, у якому закріплений золотник 1. Циліндр 4 з'єднаний патрубками з ресиверами 2 і 10. У циліндрі 4 пересувається поршень 3 зі штоком 5. Через патрубок 13 подається вода, надходження якої у водомет починається при відповідному положенні розподільника 11, який через патрубок 12 сполучає порожнину водомета з атмосферою. Отвір конічної насадки водомета закривається спеціальною заглушкою 8. Золотник 1, розподільник 11 і заглушка 8 зв'язані між собою спеціальними автоматичними приладами, схематично показаними у виді зв'язку 9.

Імпульсний водомет працює у такий спосіб. Ресивери заповнюються стисненим повітрям, поршень 3 віджимается в крайнє праве положення, показане пунктиром. Після того, як через патрубок 13 у водомет починає надходити вода, поршень починає відсуватися в ліве вихідне положення, стискаючи повітря в ресиверах. Дійшовши до крайнього положення, поршень натискає на виступаючий шток золотника 1, що надає руху системи автоматичного керування розподільником 11 і заглушкою 8. При цьому заглушка відкривається, а розподільник 11 перекидається і з'єднує порожнину циліндра 4 з атмосферою; при цьому тиск на поршень зменшується до атмосферного. Під дією стисненого в ресиверах повітря поршень 3 розганяється, і його шток 5, рухаючись по стволі 6, виштовхує циліндричний обсяг води через насадку 7. По закінченні циклу водомет починає працювати в автоматичному режимі. Частота пострілів визначається продуктивністю насоса, що подає воду у водомет, і може бути доведена до 100 і більш пострілів у хвилину.

Проведені дослідження показали, що водомети *ІВ-1* і *ГБ-1* здатні розвивати тиск, близький до розрахункового. З водомета *ІВ-1* удалося отримати імпульсні водяні струмені тиском до 130 МПа при частоті 13 ... 14 пострілів у хвилину й обсязі води близько 550 ... 600 см³.

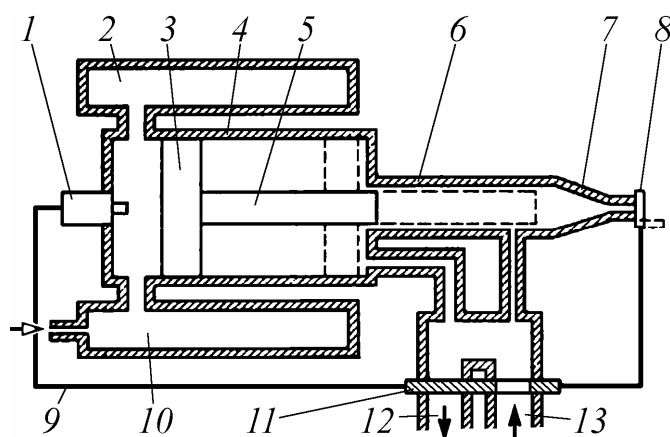


Рисунок 2.44 – Схема імпульсного водомета надвисокого тиску:

- 1 – золотник; 2, 10 – ресивери;
- 3 – поршень; 4 – циліндр;
- 5 – плунжер; 6 – ствол;
- 7 – насадка; 8 – заглушка;
- 9 – механічний зв'язок;
- 11 – розподільник;
- 12 – патрубок скидання води;
- 13 – напірний патрубок

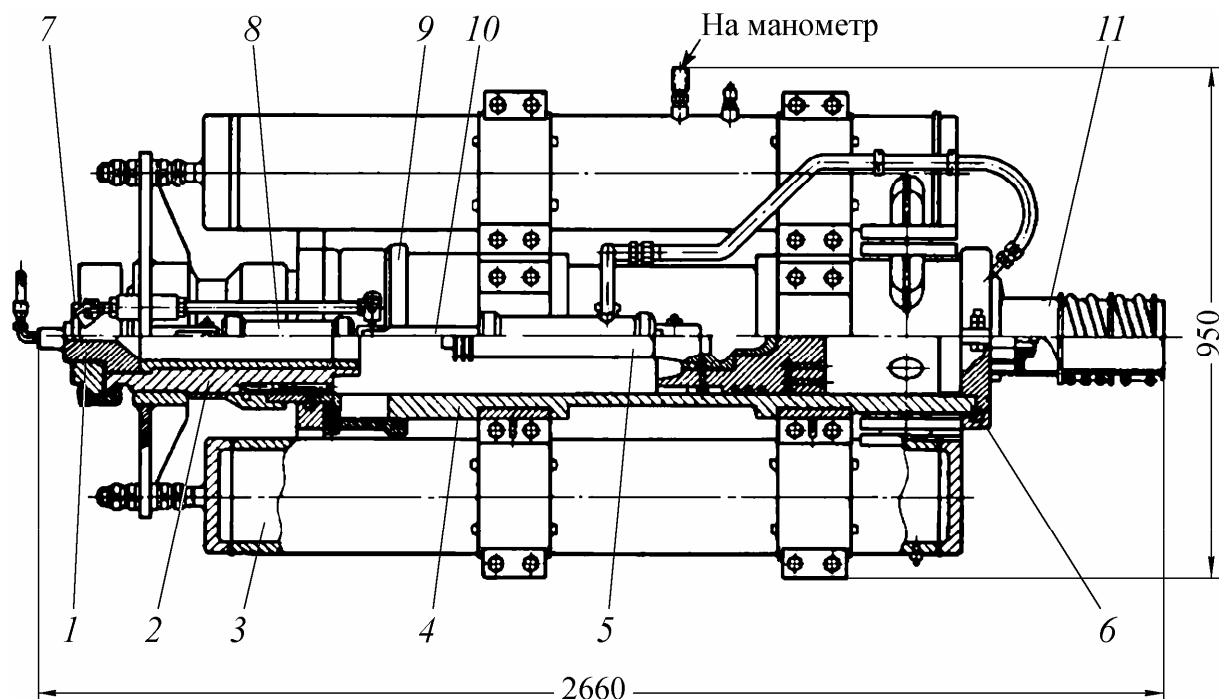


Рисунок 2.45 – Імпульсний водомет *ІВ-5*: 1 – насадка; 2 – ствол; 3 – ресивери; 4 – циліндр; 5 – поршень; 6 – дно циліндра з швидкокороз’ємним з’єднанням; 7 – механізм закриття насадки; 8 – домкрат пневматичний для керування механізмом закриття насадки; 9 – головний золотник; 10 – домкрат гідравлічний для керування головним золотником; 11 – золотник керування

Водомет *ГБ-1* при скорострільності 130 ... 150 пострілів у хвилину і тиску понад 200 МПа викидав близько 35 ... 50 см³ води.

Струмені з водомету *ІВ-1* руйнували на відстані 1,2 ... 1,8 м зразки антрацитів міцністю $f = 1,5 \dots 2,0$ по шкалі проф. М. М. Протодьяконова. Зразки порід, представлені глинистими сланцями міцністю $f = 2,5 \dots 3,5$, руйнувалися погано. Промислові іспити *ІВ-1* на пласті з міцністю вугілля $f = 1,8 \dots 2,3$ показали, що водяні імпульсні струмені, які викидаються водометом, руйнують пласт шляхом утворення великих каверн зовнішнім діаметром 60 ... 70 мм, внутрішнім діаметром 30 ... 40 мм, глибиною 200 ... 300 мм. Імпульсні водяні струмені, створювані водометом *ГБ-1*, мають меншу ефективність.

На підставі проведених досліджень зроблений висновок: руйнування гірських порід міцністю $f = 6 \dots 8$ може бути здійснено тільки імпульсними водяними струменями, що значно перевершують тиск 1 000 МПа при обсязі одного пострілу 700 ... 800 см³. Створені більш потужні імпульсні водомети надвисокого тиску *ІВ-5*, і *ІВ-15*, розраховані на одержання імпульсних водяних струменів тиском відповідно до 800 і до 1500 МПа при частоті 15 ... 20 пострілів у хвилину й обсязі води, що викидається, 800 см³. Конструкцію водомета *ІВ-5* наведено на рис. 2.45.

2.4 Розробка порід усмоктуванням. Землесосні снаряди

2.4.1 Загальні відомості

Усмоктуванням називають процес, який полягає у залученні потоком води твердих часток ґрунту або породи в усмоктувальний трубопровід ґрунтового насосу (або іншого засобу гідротранспорту).

Процес усмоктування може застосовуватись для *первинної* або *вторинної* розробки. У першому випадку використовуються **землесосні снаряди** — плавучі землесосні установки, які призначені для виймання гірської маси, що знаходиться під шаром води у природних або штучних водоймах, і транспортування її на відвали, збагачувальні установки або проміжні ємності. Спектр застосування земснарядів дуже широкий: будівельні, гідротехнічні, днопоглиблювальні роботи, створення виїмок, каналів; у гірничій промисловості земснаряди виконують розкривні та видобувні роботи у затоплених кар'єрах. Поєднання в одній установці засобів розробки та гідротранспорту забезпечує високу продуктивність, малу трудомісткість та безперервність видобування, сприяє включенню землесосних снарядів до систем комплексної гідромеханізації гірничих робіт. Використання земснарядів усуває проблему осушення котлованів та дозволяє розробляти корисні копалини в умовах підвищеної вологості ґрунту або навіть зі дна природної водойми.

Вторинна розробка усмоктуванням здійснюється стаціонарними або плавучими *землесосними установками*, які забезпечують гідравлічний транспорт гірської маси, відбитої гідромонітором або вийнятої екскаватором. У цьому випадку всмоктування ведеться із зумпфа або бункера, куди гірнича маса потрапляє вже зруйнованою.

2.4.2 Розмив порід у процесі усмоктування

Процес усмоктування відбувається через те, що машина для гідротранспорту (це може бути ґрунтовий насос, ерліфт, гідроелеватор) створює різницю тисків поза і всередині усмоктувальної труби. У результаті в усмоктувальну трубу гідротранспортної машини надходить рідина. Навколо наконечника усмоктувальної труби утворюється зона, у якій відбувається рух рідини до отвору наконечника, — **зона усмоктування**. При роботі на чистій воді вона має форму сфери, у якій швидкості підходу рівномірно убують в усіх

напрямах. При усмоктуванні незв'язних гірських порід відбувається екранування сфери поверхнею вибою, тому струмені, що підтікають, викривляються і отримують складний обрис, який залежить від розташування наконечника у вибої, рис. 2.46.

При наближенні усмоктувальної труби до поверхні вибою швидкість руху води в кільцевій щілині між породою і трубою зростає. Рух води при деякій швидкості викликає рух часток породи і винос їх у напрямку до осьової лінії усмоктувальної труби, рис. 2.47.

Існує два режими усмоктування порід: *поверхневий* та *глибинний*. При поверхневому режимі між усмоктувальним наконечником та шаром породи залишається зазор, через який рухається вода, захоплюючи частки породи з поверхні шару. Такий режим не дозволяє забезпечити високу консистенцію пульпи.

Глибинний режим полягає у зануренні наконечника у шар породи і всмоктуванні пульпи, яка утворюється завдяки фільтрації рідини через породу. Цей режим дозволяє отримати більш високу консистенцію пульпи, але ускладнює роботу насоса, який має створювати більшу різницю тисків.

Розмив породи залежить, в основному, від середньої швидкості руху води, що надходить через кільцеву щілину. При постійній відстані між усмоктувальною трубою і вибоєм середня швидкість руху води

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega_{\text{щ}}} = \mu \sqrt{\frac{2p_{\text{в}}}{\rho}}, \quad (2.55)$$

де μ – коефіцієнт швидкості; Q – витрата рідини; ρ – щільність рідини; $p_{\text{в}}$ – вакуум в усмоктувальній трубі; $\omega_{\text{щ}}$ – площа щілини усмоктування:

$$\omega_{\text{щ}} = P_y h_{\text{щ}} = \pi D_y h_{\text{щ}}; \quad (2.56)$$

P_y , D_y — периметр та діаметр усмоктувального наконечника; $h_{\text{щ}}$ — висота щілини усмоктування. Для усмоктувального отвору круглої форми

$$v_{\text{ср}} = v_y \frac{\omega_y}{\omega_{\text{щ}}} = v_y \frac{D_y}{4h_{\text{щ}}}; \quad (2.57)$$

ω_y — площа прохідного перетину усмоктувального отвору; v_y — швидкість руху води на вході в усмоктувальний отвір.

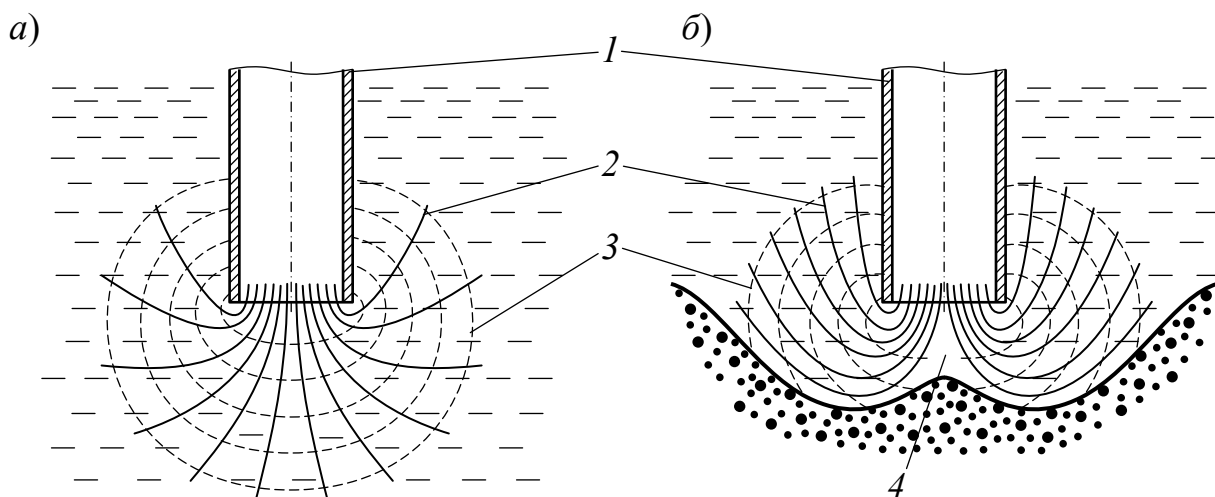


Рисунок 2.46 – Схема розподілення швидкостей в зоні усмоктування при роботі на чистій воді (а) і при усмоктуванні ґрунту (б): 1 – усмоктувальний трубопровід; 2 – лінії течії; 3 – лінії рівних швидкостей; 4 – зона завихрення

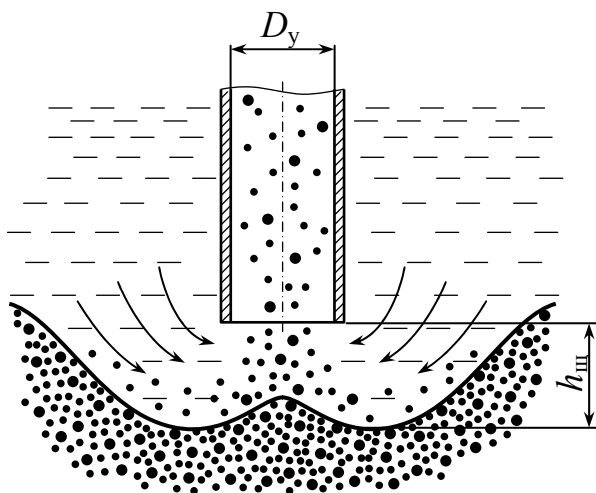


Рисунок 2.47 – Схема залучення породи в усмоктувальний трубопровід

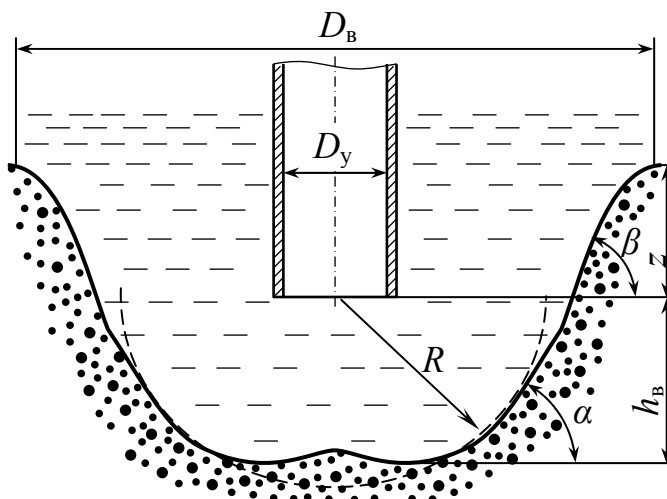


Рисунок 2.48 – Схема воронки граничного розмиву

Процес розмиву породи в зоні усмоктування можна розглядати як процес переносу часток русловим або напірним потоком при високому насиченні зважених часток. При цьому необхідно враховувати форму і розміри воронки, що утвориться. Основною характеристикою при руйнуванні незв'язних порід усмоктуванням є **розмивна швидкість**, тобто середня швидкість потоку, при якій починаються відрив і переміщення часток породи. Розмивна швидкість визначається за наступними емпіричними формулами:

формула В. С. Кнороза:

$$\frac{v_p^2}{2g} = 0,001 k h_{\pi}^{0,24} d_{\text{cp}}^n; \quad (2.58)$$

формула В. Н. Гончарова та І. І. Леві:

$$\frac{v_p^2}{2g} = 0,001 k d_{\text{cp}} \left(\ln \frac{h_{\pi}}{d_{\text{cp}}} \right)^2; \quad (2.59)$$

формула Д. Т. Рощупкина для однорідних пісків:

$$\frac{v_p^2}{2g} = 0,001 \left(14 d_{\text{cp}} + \frac{5}{d_{\text{cp}}} \right), \quad (2.60)$$

та для різнозернистих пісків:

$$\frac{v_p^2}{2g} = 0,001 \sum \left(14 d_i + \frac{5}{d_i} \right) P_i, \quad (2.61)$$

де d_{cp} – середній діаметр часток породи, мм; d_i , P_i – середній діаметр часток, мм, та ваговий вміст часток i -ї фракції; h_{π} – глибина потоку; k , n – коефіцієнти, що залежать від конкретних умов.

Розмивна швидкість зростає зі збільшенням діаметра часток, тобто вона залежить від фракційного складу породи.

В результаті усмоктування ґрунту навколо наконечника усмоктувальної труби утворюється виїмка. По мірі її поглиблення відстань від наконечника до вибою збільшується, прохідний перетин щілини усмоктування росте, що викликає зменшення середньої швидкості потоку в щілині й інтенсивності ерозійного розмиву породи. Якщо середня швидкість у щілині усмоктування стане менше розмивної швидкості, то процес розмиву зупиниться. Виїмка, що утворилася в результаті, являє собою **воронку граничного розмиву**, рис. 2.48.

Глибину воронки граничного розмиву можна визначити з рівняння:

$$v_y \pi D_y^2 = v_p 2\pi R^2, \quad (2.62)$$

де R — радіус півсфери, на якій радіальні швидкості потоку рідини дорівнюють розмивній швидкості.

Виразивши радіус півсфери R через глибину воронки $h_{\text{в}}$, одержимо формулу для визначення глибини воронки граничного розмиву (тобто максимальну висоту щілини усмоктування):

$$h_b = z + \frac{D_y}{2} \sqrt{\frac{v_y}{2v_p}}, \quad (2.63)$$

де z — занурення усмоктувальної труби.

Діаметр воронки граничного розмиву по верху

$$D_b = 2h_b \operatorname{ctg} \alpha + 2z \operatorname{ctg} \beta + D_y, \quad (2.64)$$

де α — кут динамічного ухилу; β — кут природного ухилу. Для піщаних порід під водою $\alpha = 28 \dots 30^\circ$, $\beta = 30 \dots 40^\circ$.

Інтенсивність усмоктування залежить від швидкості руху води у наконечнику, яка може змінюватися в межах $0,5 \dots 3$ м/с. Практика показує, що найбільш сприятливі умови усмоктування деяких порід мають місце при швидкості руху води $1 \dots 2$ м/с. Розміри воронки усмоктування залежать від витрати гідросуміші, що усмоктується, діаметра часток породи, розмірів усмоктувального отвору і величини заглиблення його в ґрунт. Слід враховувати, що при значному зменшенні щільності усмоктування вхідні втрати напору в усмоктувальній лінії можуть перевищити усмоктувальну здатність насоса, і настає режим кавітації.

Отже, для забезпечення ефективної роботи усмоктувального пристрою необхідно робити гідравлічний розрахунок усмоктувальної лінії ґрунтового насоса для відповідних умов ґрунтозабору з урахуванням параметрів шару твердого матеріалу.

2.4.3 Землесосні снаряди. Загальні відомості. Класифікація.

Землесосні снаряди — це плаваючі машини, що добувають ґрунт з-під води й у вигляді водогрунтової суміші (пульпи) перекачують цей ґрунт на деяку відстань. Землесосні снаряди використовуються у будівництві, гірничій промисловості та для днопоглиблювання.

У гідротехнічному будівництві землесосні снаряди виконують найрізноманітніші земляні роботи, основними з яких є розробка котлованів під гідротехнічні споруди, зведення гребель та інших насипів. В гірничій промисловості землесосні снаряди широко застосовують при розробці піщано-гравійних родовищ, а також для виймання матеріалу зі шламонакопичувачів збагачувальних фабрик.

Землесосні снаряди, що застосовуються на будівельних та гірничих роботах, відрізняються від снарядів для днопоглиблення тим, що вони не пристосовані для роботи на судноплавних фарватерах і, частіше за все, не мають автономних силових установок. Днопоглиблювальні снаряди пристосовані для буксирування на великі відстані й

іноді навіть мають власні рушії, що дозволяють їм самостійно здійснювати далекі переходи.

Особливості днопоглиблювальних робіт, як правило, дозволяють обходитися малими напорами ґрунтових насосів; гірничі і будівельні роботи, навпаки, частіше за все вимагають великих напорів.

Умови проведення гірничих і будівельних робіт відрізняються від днопоглиблювальних своєю більшою тривалістю. Роботи в одній точці ведуть протягом кількох років, а іноді навіть і десятиліть, що дозволяє на снаряді залишити мінімум побутових та підсобних помешкань, перенесши їх на берег. На днопоглиблювальних снарядах звичайно влаштовуються побутові помешкання на повний склад команди, майстерні для поточного ремонту, комори й ін.

Землесосні снаряди класифікуються:

1. *За призначенням:*

- *днопоглиблювальні (річні та морські);*
- *для застосування у гідротехнічному будівництві;*
- *для гірничої промисловості.*

2. *За типом агрегату.* В останні роки поряд із *насосами* на землесосних снарядах як основний агрегат починають застосовувати *водоструминні насоси (ежектори) і ерліфти.*

3. *За способом ґрунтозабору.* Відомі три принципово різних способи ґрунтозабору, відповідно до чого землесосні снаряди діляться на такі типи:

- *такі, що розроблюють ґрунт шляхом безпосереднього його усмоктування з під води;*
- *такі, що всмоктують ґрунт із попереднім розпушуванням його механічним способом;*
- *такі, що всмоктують ґрунт із попереднім розпушуванням його гідравлічним способом.*

4. *За способом транспортування ґрунту:*

- *такі, що перекачують ґрунт по плавучому пульповоду;*
- *такі, що подають ґрунт по підвісному пульповоду, який іноді називають лонгкулуаром;*
- *такі, що навантажують пульпу у розташовану поряд баржу або викидають струменем на берег.*

5. *За способом керування:*

- *із ручним керуванням, що здійснює оператор (багермейстер);*
- *з автоматичним керуванням, що здійснюється за допомогою спеціальних приладів, що регулюють роботу окремих виконавчих механізмів і землесосного снаряда в цілому.*

6. *За способом енергопостачання:*

- *автономні* снаряди, на яких змонтовано первинні двигуни, які забезпечують енергією всі робочі механізми снаряда;
- снаряди з живленням від *зовнішніх електромереж* — електроземлесосні снаряди.

7. *За способом робочих переміщень*, яким забезпечується постійний контакт між ґрунтозабірним пристроєм і розроблювальним ґрунтом:

- *якірні*;
- *пальово-якірні*;
- *без'якірні*, у яких ґрунтозабірний пристрій основні робочі переміщення робить незалежно від корпусу снаряда.

8. *За конструкцією корпусу:*

- *нерозбірні*, корпуси яких являють собою один конструктивний елемент;
- *розбірні*, корпуси яких складаються з окремих понтонів або секцій, які допускають розбирання, чим полегшується транспортування снарядів.

9. *За розміщенням основного устаткування*. Залежно від того, де змонтовані ґрунтові насоси, розрізняють:

- *палубні* землесосні снаряди, ґрунтові насоси яких змонтовані на палубі;
- *трюмні*, ґрунтові насоси яких змонтовані в трюмі;
- землесосні снаряди із *зануреними ґрунтовими насосами*; ґрунтові насоси цих снарядів змонтовані на рамі ґрунтозабірного пристрою і під час роботи занурені у воду.

10. *За кількістю ґрунтових насосів:*

- *однонасосні*;
- *двонасосні*, ґрунтові насоси яких можуть бути з'єднані *послідовно* або *паралельно*; на деяких снарядах насоси залежно від конкретних умов можуть з'єднуватися як послідовно, так і паралельно.

11. *За наявністю на борту житлових приміщень:*

- такі, що не мають житлових кают;
- такі, що мають житлові каюти.

Основними параметрами землесосного снаряда є *продуктивність* землесосного снаряда по ґрунту, *напір*, що здатний розвивати ґрунтовий насос земснаряда, та *максимальна глибина*, з якої землесосний снаряд може витягати ґрунт. Крім того, землесосний снаряд може бути характеризований ще цілим рядом числових показників:

габарити корпусу снаряда, його повна водотоннажність і осадка, ширина прорізу, який може розробляти снаряд; загальна потужність, споживана землесосним снарядом, і потужність приводу його основних агрегатів, тягове зусилля папільонажних лебідок та ін.

Землесосні снаряди прийнято позначати двома числами через дефіс — перше число позначає умовну продуктивність снаряда по ґрунту, друге — повний напір, що розвивається ґрунтовим насосом. Якщо говорять «землесосний снаряд 300-40», то це означає, що снаряд має умовну продуктивність 300 м³/год. ґрунту, і здатний розвивати корисний напір 40 м. вод. ст. Іноді в позначенні землесосного снаряда після цифр пишуть додатково літери, що характеризують його спеціальне призначення. Наприклад, у позначенні 100-40К літера К значить «кар'єрний»; у позначенні 500-70Гл — літери Гл значать «глибинний».

Деякі землесосні снаряди називають відповідно марці встановленого на них ґрунтового насоса, наприклад 12Р-7, 16ГрУ-8Л, або позначають індивідуально. Так, МЗ-6, МЗ-7 і МЗ-8 — земснаряди для меліоративних робіт (прокладання каналів); цифра позначає модифікацію земснаряда. Технічну характеристику деяких землесосних снарядів наведено у табл. 2.17.

2.4.4 Конструкція землесосного снаряда

Типовий землесосний снаряд, призначений для використання у гідротехнічному будівництві або в гірничий промисловості, рис. 2.49, складається з плавучого корпусу 5, на якому змонтоване устаткування: ґрунтозабірний пристрій 1 з механізмом його підйому і опускання 2, ґрунтовий насос 7 з електричним або дизельним двигуном, засоби для робочих переміщень — лебідки 4, 8, та прикольні палі 9, палубні надбудови 6, а також допоміжне устаткування — допоміжні насоси, контрольно-вимірювальні прилади, засоби керування і автоматизації та допоміжні пристрої загальносуднового характеру.

Ґрунтозабірний пристрій є найважливішим вузлом землесосного снаряда і визначає ефективність роботи снаряда в цілому. Призначення ґрунтозабірного пристрою складається в безупинному відділенні ґрунту від вибою і змішуванні цього ґрунту з водою. Існує велика кількість різних систем ґрунтозабірних пристроїв, основні з яких розглянуті у п. 2.4.5. Вибір тієї чи іншої системи залежить від характеру ґрунту, що підлягає розробці.

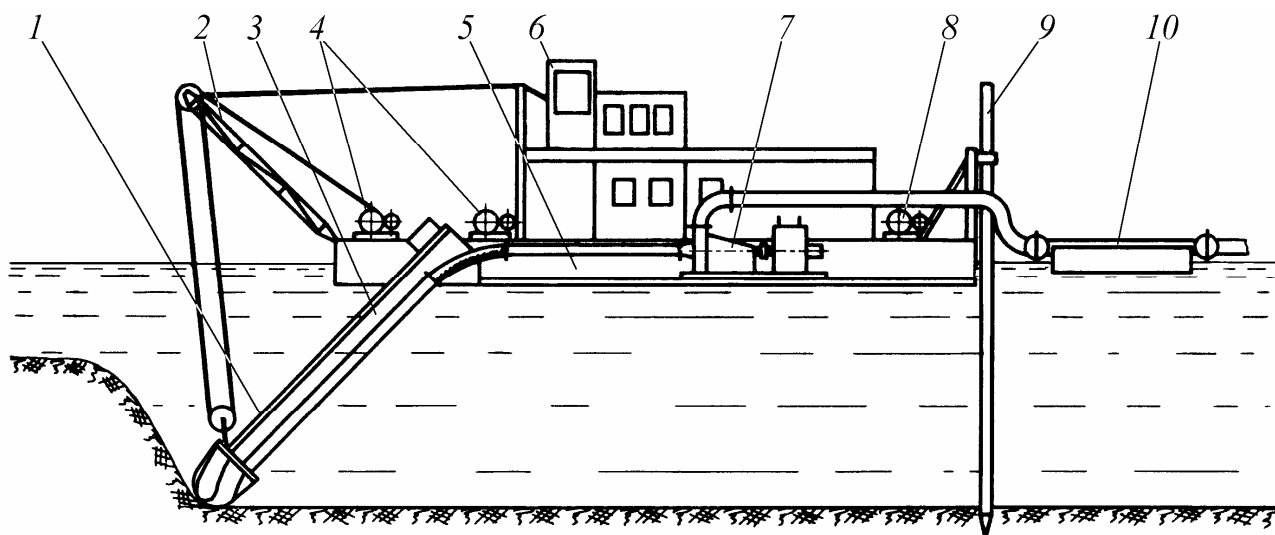


Рисунок 2.49 – Схема землесосного снаряда: 1 – ґрунтозабірний пристрій; 2 – стріла для підвішування ґрунтозабірного пристрою; 3 – усмоктувальний трубопровід; 4, 8 – лебідки; 5 – корпус; 6 – палубні надбудови; 7 – ґрунтовий насос; 9 – папільонажна паля; 10 – напірний трубопровід

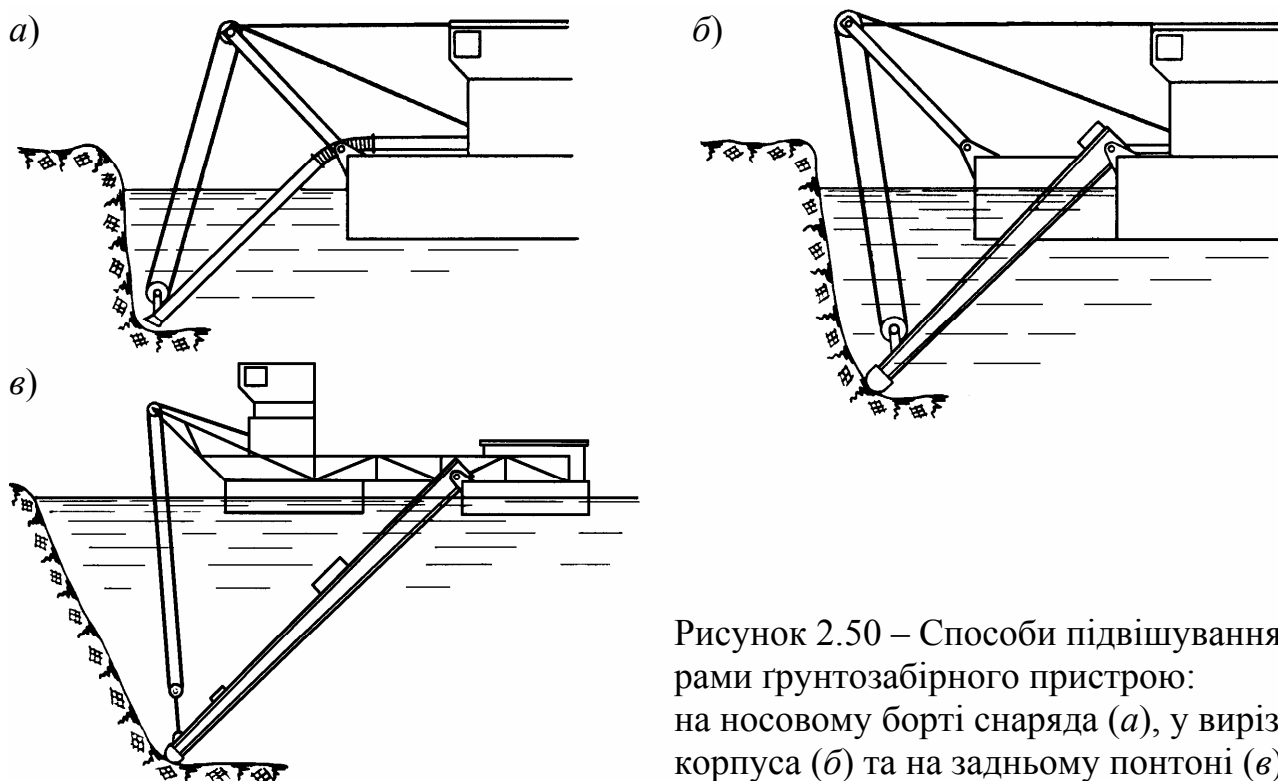


Рисунок 2.50 – Способи підвішування рами ґрунтозабірного пристрою: на носовому борті снаряда (а), у вирізі корпусу (б) та на задньому понтоні (в)

Ґрунтозабірний пристрій монтується на рамі, яка підвішується до корпусу снаряда на шарнірі і може повертатися у вертикальній (а іноді – і у горизонтальній) площині. На рис. 2.50 показано три способи підвішування рами ґрунтозабірного пристрою.

Підвішування рами ґрунтозабірного пристрою безпосередньо до транця на носовому борті снаряда, рис. 2.50 а, застосовно тільки для невеликих снарядів, або якщо ґрунтозабірний пристрій складається з

Таблиця 2.17 – Параметри землесосних снарядів

Землесосні снаряди	Технічна продуктивність по породах, м³/год	Тип грунтового насоса	Подача грунтового насоса, м³/год	Напр. м. вод. ст	Діаметр пульту, м	Тип ґрунто-забірного пристрою: К – ковшовий, Ф – фрезерний, Р – роторний, В – вільне усмоктання	Максимальна глибина розробки, м	Осадка, м	Тип двигуна: Д – дизельний, Е – електричний	Встановлена потужність двигунів, кВт	Маса, т
УПМ-2	40...50	63Н	400	25	150	В, Ф	3	0,5	Д	75 к.с.	8
«Утенок»	20...40	8Гру-12	400	19,5	250	В, Ф	6	0,6	Е	86	22
80-30	50...80	10Гру-8	720	30	300	В, Ф	6	0,7	Е	247	21
100-35	80...120	3ГМ-1	1200	35	350	В, Ф	7	0,7	Е	400	32
150-45	100...150	3ГМ-1-350	1450	45	400	Р	10	0,8	Е	680	32
160-50Р	100...160	12ГрТ-8	1330	58	400	Ф	8	1,1	Е	630	120
12Р-7	60...150	12Р-7	1600	58	400	Ф, Р	6	0,8	Е	480	110
МЗ-8	80...160	ГруV-1600/25	1600	25	300	В, Ф	6	0,5	Д	300 к.с.	32
ЗРС-Г	150...200	ГруV-1600/25	1600	25	350	В, Ф	11	0,5	Д	300 к.с.	82
100-40К	100...180	3ГМ-2М	1900	58	400	Ф	12	0,7	Е	752	112
200-50	150...250	3ГМ-2М	1900	58	400	Ф	8	0,8	Е	830	146
16ГруУ-8Л	150...200	16ГруУ-8Л	2140	56	400	К, Ф	12	1,2	Е	848	174
МЗ-6	200...330	16ГруУ-8Л	2140	56	464	В, Ф	10	0,9	Д	1080 к.с.	363
180-60	180...200	16ГруУТ-8М	2200	60	500	В	10	0,8	Е	900	150
300-40М	220...420	20ГруУ-8	4000	67	530	В, К, Ф	11	1,1	Е	2020	290
300-40УП	200...420	20Р-11	4000	54	600	Ф	6	1,5	Е	2300	385
350-50Л	220...420	20Р-11	4000	54	600	Ф	10	1,1	Е	2020	230
350-50Г	350...420	20Р-11	4000	54	600	К, Ф, Р	18	1,7	Е	2300	470
500-60	340...650	500-60	5600	70	700	Ф, Р	15	1,5	Е	2970	400
500-70Гл	400...1000	28ГруУ-12 (2 шт.)	6000	70	700	Ф	45	1,9	Е	3543	1070
1000-80	600...1270	1000-80	12000	86	800	Ф	15	1,4	Е	5130	650
1500-100	800...1400	36ГруУ-8 (2 шт.)	13000	56	800	К, Ф	18	1,6	Е	9150	980
3000-90Гл	3000...4000	Спец. н. (2 шт.)	20000	90	1000	Ф	35	5,0	Е	12224	1500

однієї усмоктувальної труби невеликої довжини і рама, як самостійна конструкція, відсутня.

На рис. 2.50 б показано найпоширеніший спосіб підвіски рами ґрунтозабірного пристрою. Рама підвішується в спеціальному вирізі в носовій частині корпусу. Такий спосіб підвіски зводить до можливого мінімуму диферент і спрощує улаштування копра для її підйому й опускання.

На рис. 2.50 в показано схему підвіски рами ґрунтозабірного пристрою на глибинних снарядах. Корпус снаряда складається з трьох понтонів. До переднього транця заднього понтона підвішена рама ґрунтозабірного пристрою. Два передніх понтони розташовуються так, що рама знаходиться між ними. На передніх понтонах монтується копер для підйому й опускання рами ґрунтозабірного пристрою. Усі понтони зв'язані між собою твердими фермами. Снаряд 500-70Гл, створений за такою схемою, дозволяє вести розробку з глибини 45 м, снаряд фірми “Pacific Coast Engineering &Co” (США) — до 60 м.

Усмоктувальний трубопровід 3, рис. 2.49, з'єднує ґрунтозабірний пристрій з усмоктувальним патрубком ґрунтового насоса. Його діаметр вибирається в залежності від продуктивності ґрунтового насоса і, певною мірою, від розмірів часток ґрунту, що розробляється. Усмоктувальний трубопровід повинний мати малий гідравлічний опір і високу герметичність.

Важливим вузлом усмоктувального трубопроводу є гнучке з'єднання між рухомою ділянкою трубопроводу, закріпленою на рамі ґрунтозабірного пристрою, і нерухомою — прокладеною по корпусі снаряда. Існує декілька технічних рішень цього з'єднання, але переважна більшість снарядів будується з *шаровим шарніром* або *гнучким шланговим з'єднанням*. Основними перевагами шлангового з'єднання є малий гідравлічний опір, висока герметичність, простота обслуговування і достатня зносостійкість, але шланг має менший термін служби і може бути пошкоджений великоуламковими включеннями.

Механізм для підйому й опускання ґрунтозабірного пристрою (*рамопідйомний пристрій*) звичайно складається з однієї або двох лебідок, системи блоків і стріли. На ряді сучасних землесосних снарядів підйом і опускання ґрунтозабірного пристрою здійснюються за допомогою гідроциліндрів.

Ґрунтовий насос 7, рис. 2.49, або, як іноді кажуть, «землесос» служить для передачі енергії потоку пульпи і забезпечує її рух в

усмоктувальних і напірних комунікаціях землесосного снаряда. Грунтовий насос є головною машиною, що перетворює основну частину енергії, що витрачається землесосним снарядом, у корисну роботу з переміщення ґрунту. Тому параметри ґрунтового насоса є основними для характеристики землесосного снаряда в цілому та у значній мірі визначають параметри всіх інших вузлів снаряда.

Технологічно доцільно ґрунтовий насос розмістити якнайнижче і якнайближче до ґрунтозабірного пристрою. Це дозволяє зменшити вакуум в усмоктувальному тракті, або навіть створити деякий підпір, що веде до підвищення продуктивності землесосного снаряда.

Якщо ґрунтовий насос монтується на палубі корпусу землесосного снаряда, рис. 2.51 а, то геометрична висота усмоктування (різниця положення центра робочого колеса і рівня води у водоймі) $H_r > 0$, тобто на вході в ґрунтовий насос обов'язково буде вакуум. Таке розміщення насоса хоча і зручно у обслуговуванні, але майже не застосовується, оскільки веде до істотного зниження інтенсивності ґрунтозабору.

Найчастіше на землесосних снарядах ґрунтовий насос встановлюють у трюмі, рис. 2.51 б. В залежності від осадки земснаряда геометрична висота усмоктування H_r може бути як більше, так і менше нуля, але вона є значно меншою, ніж при палубному розташуванні насоса. Це дещо покращує умови усмоктування, але, через втрати напору в усмоктувальному тракті, на вході в насос і в даному випадку буде створюватися вакуум. У деяких земснарядах насос встановлюється в спеціальному заглибленому відсіку корпусу. Таке компонування дозволяє одержати досить значне негативне значення H_r , достатнє для компенсації утрат напору і ліквідації вакууму.

Існують землесосні снаряди, у яких ґрунтовий насос встановлено на рамі ґрунтозабірного пристрою, рис. 2.51 в, г. Значне заглиблення ґрунтового насоса створює в його усмоктувальному патрубку позитивний тиск, що сприяє одержанню високих консистенцій пульпи. Ґрунтовий насос при підпорі може стійко працювати на найвищих консистенціях. Така схема з успіхом застосована на глибинних землесосних снарядах 500-70Гл, 500-40Гл та інших.

Розміщення ґрунтового насоса на рамі ґрунтозабірного пристрою пов'язано з рядом конструктивних труднощів і ускладнює обслуговування. Існує два конструктивних рішення: з винесеним рис. 2.51 в, і підводним рис. 2.51 г, розташуванням електродвигуна. Перше рішення дозволяє уникнути герметизації двигуна, спрощує

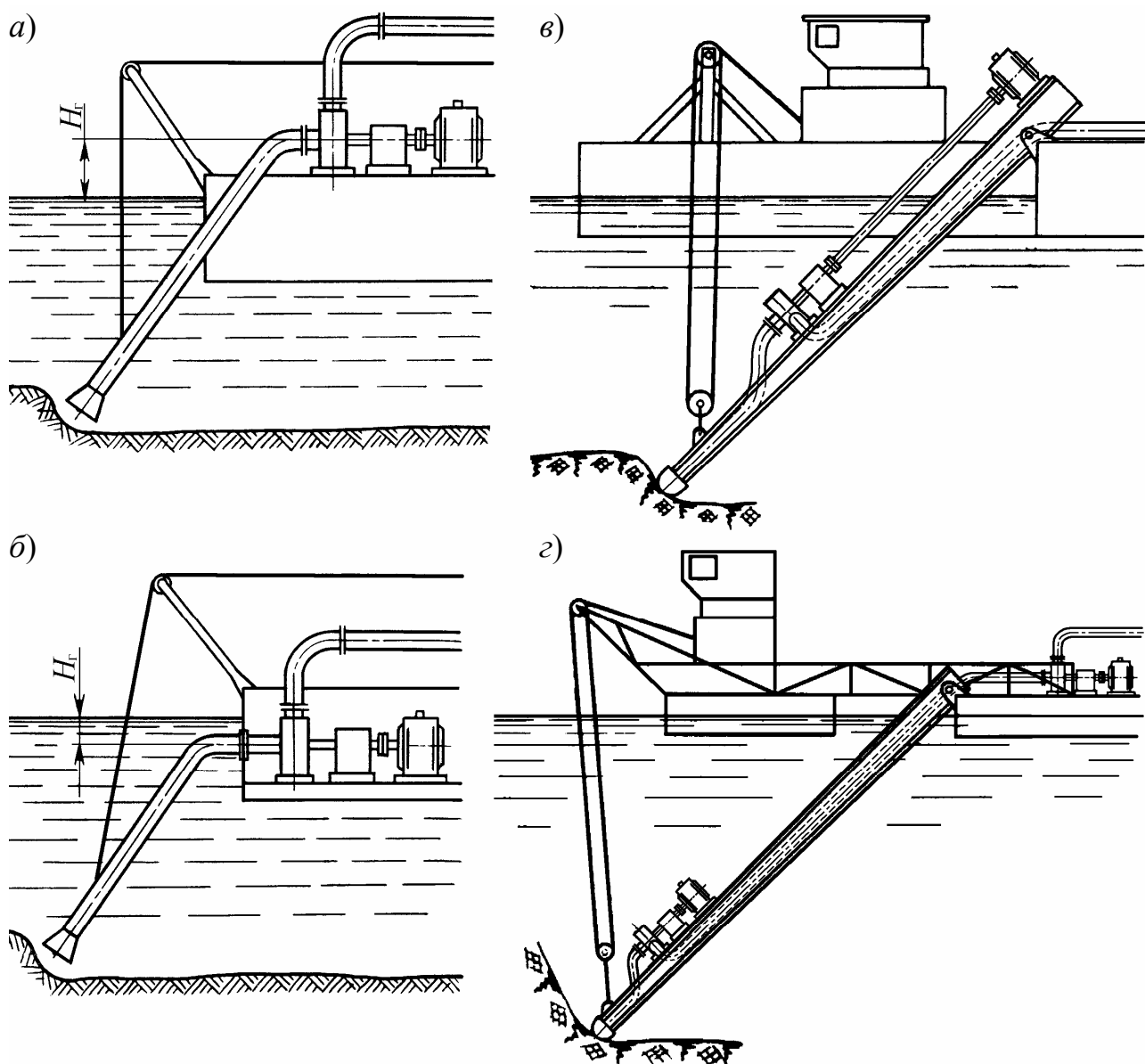
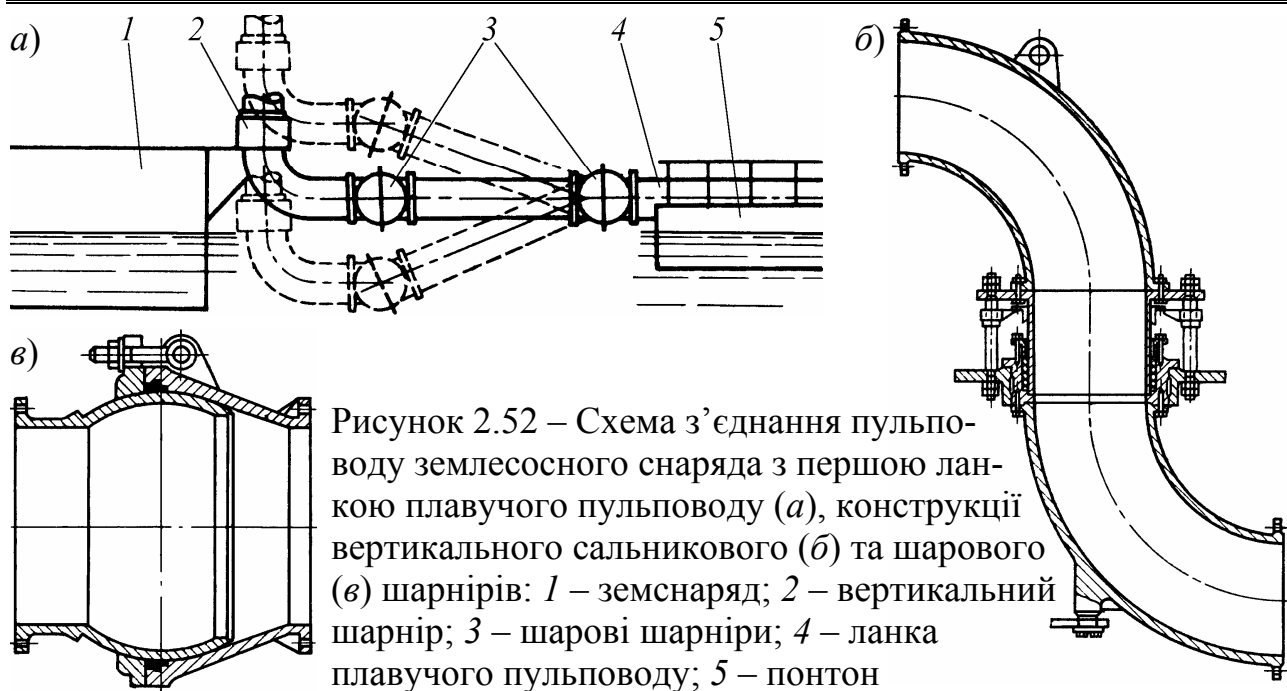


Рисунок 2.51 – Схеми розташування ґрунтового насоса на палубі земснаряда (а), у трюмі (б) та на рамі ґрунтозабірного пристрою: з винесеним (в) та підводним (г) положенням електродвигуна

його обслуговування, але вимагає створення довгого (20 ... 30 м) валопроводу. Підводне положення двигуна дає змогу встановити насос безпосередньо біля ґрунтозабірного пристрою, що забезпечує найкращі умови усмоктування, але потребує герметизації двигуна та ускладнює його обслуговування.

На деяких земснарядах, наприклад 500-70Гл, встановлюють два насоси, з'єднані послідовно: перший — на рамі ґрунтозабірного пристрою, другий — на палубі, або у трюмі. Це дозволяє отримати великий вихідний напір; при цьому перший насос працює зі зниженою частотою обертання колеса, створюючи невеликий напір, що забезпечує стабільне усмоктування і зменшує вірогідність кавітації.



Напірні трубопроводи 10, рис. 2.49, з'єднують напірний патрубок ґрунтового насоса з береговими трубопроводами (пульповодами), по яких пульпа подається до місця укладання ґрунту. Напірні комунікації складаються з двох ділянок: корпусної і плавучої, яку називають гнучким плавучим пульповодом. Діаметр цих труб визначається продуктивністю ґрунтового насоса. Важливими вузлами напірного трубопроводу є гнучкі з'єднання між його корпусною і плавучими ділянками, рис.2.52 а. Ці з'єднання не повинні перешкоджати робочим переміщенням землесосного снаряда. Найчастіше використовують вертикальні сальникові шарніри, які забезпечують поворот у горизонтальній площині на кут до 360° , рис.2.52 б, та шарові шарніри, рис.2.52 в, що дозволяють секціям плавучого пульповоду повертатися на невеликі кути (до 20°) у вертикальній, горизонтальній площині та навколо власної вісі.

Пристрої для робочих переміщень ґрунтозабірного органа снаряда забезпечують безупинний контакт його з ґрунтом. Існує ряд пристроїв для забезпечення робочих переміщень. На землесосних снарядах для будівництва або гірничої промисловості пристрої для робочих переміщень, як правило, складаються з лебідок 4 і 8 та пальового апарата 9 тієї чи іншої конструкції, рис. 2.49.

На сучасних землесосних снарядах встановлюються однобарабанні лебідки, кожна з яких має незалежний електричний привод. Найбільш розповсюджена схема розміщення лебідок на сучасному землесосному снаряді показана на рис. 2.53. При такому розташуван-

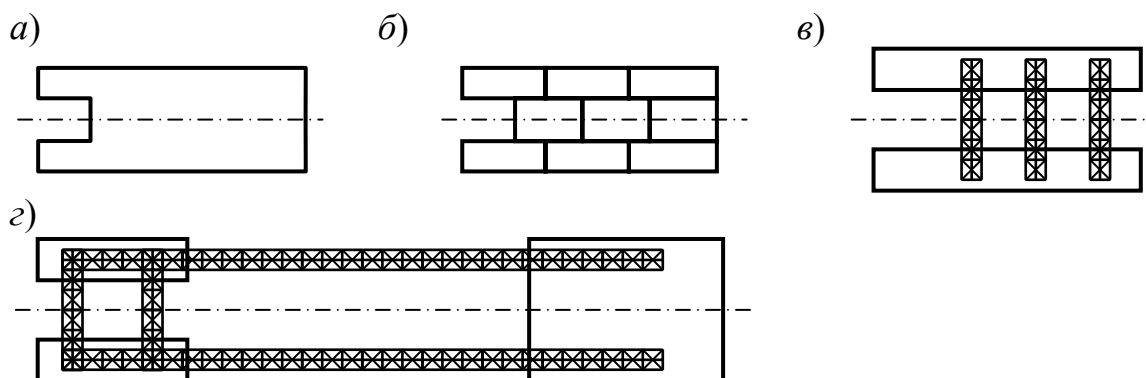
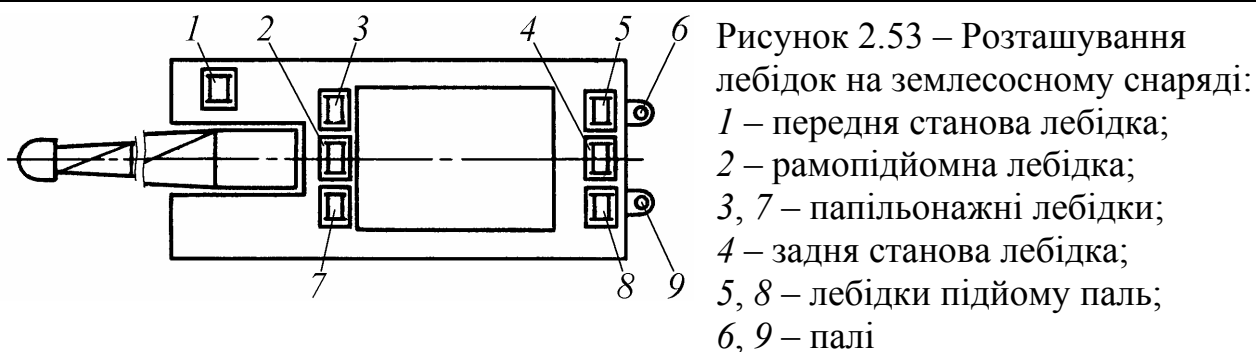


Рисунок 2.54 – Корпуси землесосних снарядів: однопонтонний нерозбірний (а), розбірний (б), двохпонтонний “катамаран” (в) та трьохпонтонний (г)

ні лебідок щонайкраще вирішуються питання прокладки всіх тросів. На малюнку показано сім лебідок: передня та задня *станові*, ліва та права *папільонажні*, — для керування положенням земснаряда у подовжньому та поперечному напрямках; *рамопідйомна* — для керування положенням рами ґрунтозабірного пристрою та дві лебідки для підйому паль. На великих снарядях рамопідйомну лебідку доцільно розмістити на даху снаряда за рубкою керування. Часто обмежуються установкою шести лебідок, відмовляючись від переднього станового троса. Іноді навіть не встановлюється і задня станова лебідка.

Корпус 5 землесосного снаряда, рис. 2.49, є плавучою базою, на якій монтуються всі пристрої снаряда, окрім плавучої частини напірного трубопроводу, що знаходиться на самостійних понтонах. Тип і конструкція корпусу землесосного снаряда визначаються продуктивністю снаряда, його призначенням і умовами плавання. Корпус снаряда повинний мати достатній запас плавучості й остійності.

Корпуси землесосних снарядів виготовляються *нерозбірними* або *розбірними*. Нерозбірні корпуси являють собою єдину конструкцію, рис. 2.54 а, та збираються на заводі-виготовлювачі або, іноді, безпосередньо у польових умовах. Розбірні корпуси збираються з окремих понтонів, габарити яких допускають перевезення їх залізницею або автомобільним транспортом, рис. 2.54 б.

Ряд сучасних землесосних снарядів будується на корпусах типу “катамаран”, які складаються з двох окремих понтонів прямокутної форми, з’єднаних сталевую фермою — “мостом”, рис. 2.54 в. Такі корпуси прості у виготовленні, транспортабельні та мають кращу остійність завдяки широкому рознесенню понтонів. Корпуси деяких глибинних земснарядів складаються з трьох понтонів, з’єднаних фермою: двох попереду й одного позаду, рис 2.54 г та 2.50 в.

Насоси, що подають чисту воду, є дуже важливим допоміжним устаткуванням землесосних снарядів. Основним споживачем чистої води є ґрунтові насоси, до яких вона подається для промивання зазорів між деталями з метою зниження зносу. Крім того, чиста вода подається до ежекторів для відсмоктування повітря при запуску ґрунтових насосів, у підшипники валової лінії привода фрезерних розпушувачів, у сальникові компенсатори для ущільнення і ще до цілого ряду точок. Допоміжні насоси розташовуються нижче ватерлінії, завдяки чому вони завжди готові до пуску.

Енергетичні установки з *первинними двигунами* на землесосних снарядах застосовуються при неможливості одержання електроенергії від берегових мереж. Як первинні двигуни, як правило, застосовуються дизелі відповідної потужності. На великих електричних снарядах додатково до берегового живлення іноді встановлюється аварійний дизель-генератор потужністю до 250 кВт.

2.4.5 Ґрунтозабірні пристрої землесосних снарядів

Ґрунтозабірні пристрої землесосних снарядів відрізняються від подібних пристроїв усіх інших землерийних машин тим, що вони не тільки відокремлюють ґрунт і передають його яким-небудь механізмам для переміщення, але й змішують ґрунт із водою для гідротранспортування. Раціональна конструкція ґрунтозабірного пристрою визначає ефективність роботи землесосного снаряда в цілому.

До конструкції ґрунтозабірних пристроїв висувають такі *вимоги*: максимальна *простота* і водночас можливість *ефективної розробки визначеної групи ґрунтів*, що зустрічаються в межах одного об’єкта; забезпечення *оптимальної продуктивності* встановленого на землесосному снаряді ґрунтового насоса; можливість розробки ґрунту на заданій *глибині*.

Залежно від гірничо-геологічних умов роботи землесосних снарядів і вимог до глибини і профілю виїмки, ґрунтозабірні пристрої повинні забезпечити розробку сипучих ґрунтів із прошарками щіль-

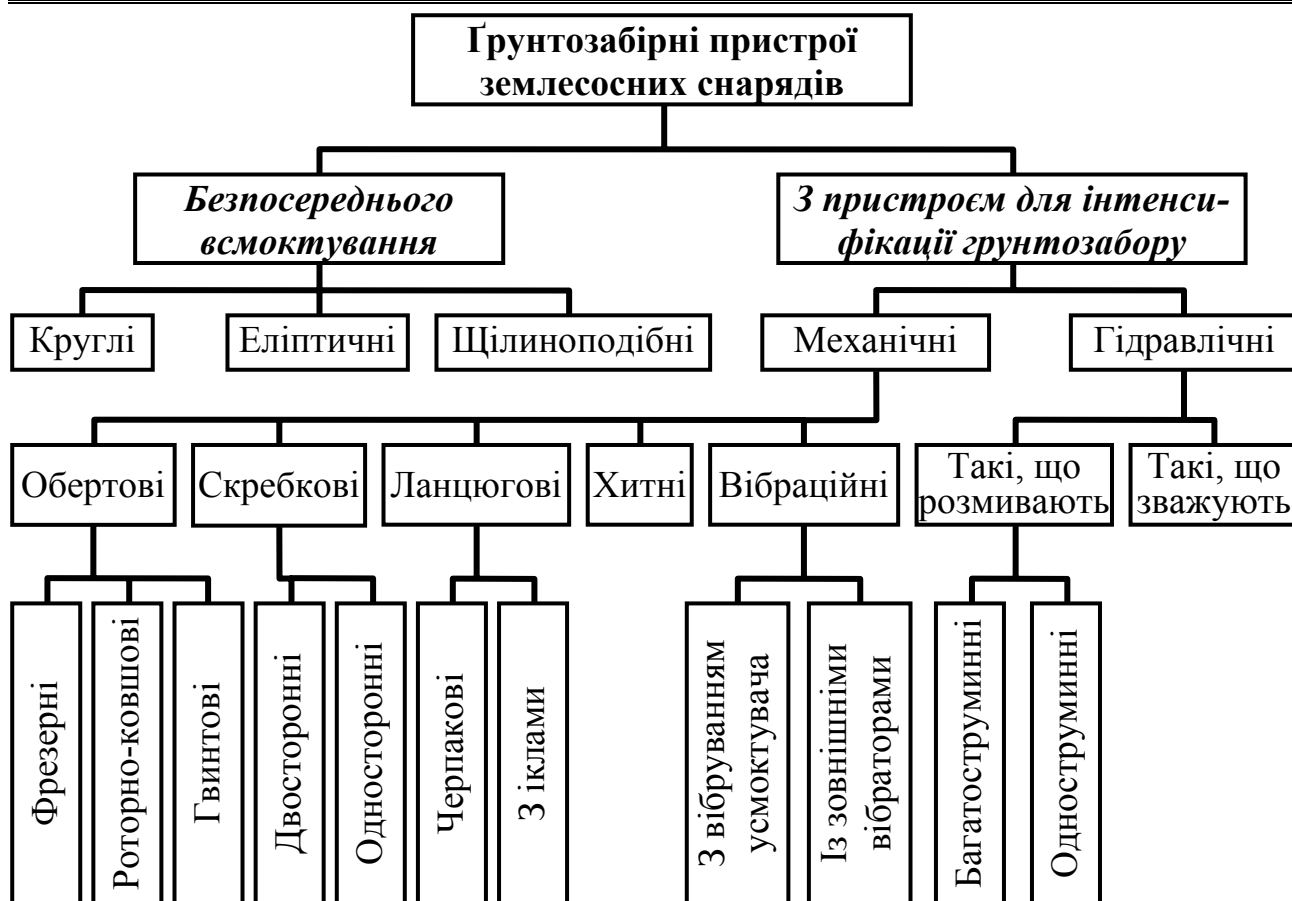


Рисунок 2.55 – Класифікація ґрунтозабірних пристроїв землесосних снарядів

них мулів і суглинків, відбір негабаритних включень, розмір яких перевищує розмір прохідних перетинів деталей проточної частини ґрунтового насоса, зв'язних щільних, злежалих, пластичних ґрунтів і ґрунтів, що налипають, та ін.

Наявний в арсеналі гідромеханізаторів великий набір різних ґрунтозабірних пристроїв дозволяє розробляти майже усі види ґрунтів (крім скельних). При виборі виду ґрунтозабірного пристрою для землесосних снарядів враховують два основних чинники, що визначають ефективність їх застосування, — *глибину розробки й тип ґрунту*, що розроблюється.

Існуючі ґрунтозабірні пристрої можуть бути розбиті на дві основні групи: ґрунтозабірні пристрої *безпосереднього всмоктування* без розпушення, та такі, в яких для підвищення інтенсивності ґрунтозабору застосовують *пристрої, що розпушують*. Класифікація ґрунтозабірних пристроїв показана на рис. 2.55.

Всмоктувальні наконечники за своєю формою діляться на *круглі, еліптичні і щілиноподібні* рис. 2.56. На будівельних земснарядах частіше за все застосовують круглі і, рідше, еліптичні. Щілино-

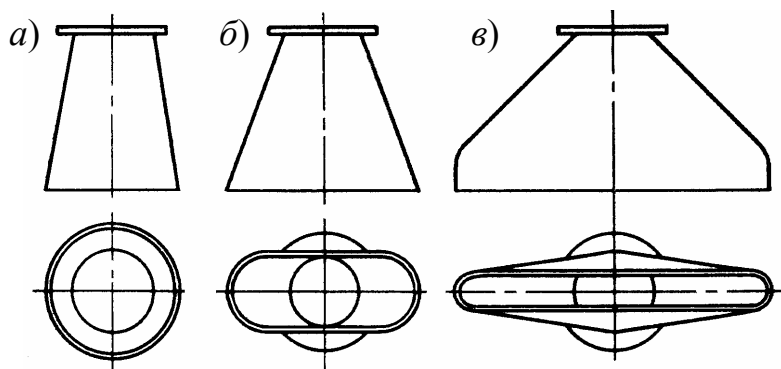


Рисунок 2.56 – Форми усмоктувальних наконечників: круглий (а), еліптичний (б) та щілиноподібний (в)

подібні наконечники застосовують на днопоглиблювальних траншейних снарядах.

Безпосереднє всмоктування ґрунту з-під води дає достатній ефект тільки при розробці чистих пісків, що не злежалися. При розробці ж пісків, що злежалися або містять навіть незначні домішки глини або мулу, продуктивність усмоктування без попереднього розпушування значно знижується. Тому більшість землесосних снарядів обладнують якимось розпушувальним пристроєм.

Фрезерні розпушувачі, що здійснюють розпушування ґрунту за допомогою *фрези* тієї або іншої конструкції, одержали найбільше поширення. Розпушувач складається з фрези 3, маточина якої закріплена на валу 1, що обертається, рис. 2.57, та приводу. Привод фрези (електродвигун та редуктор) зазвичай встановлюється на верхньому кінці рами ґрунтозабірного пристрою і не занурюється у воду. Довжина вала в такому випадку дорівнює довжині рами. На деяких вітчиз-

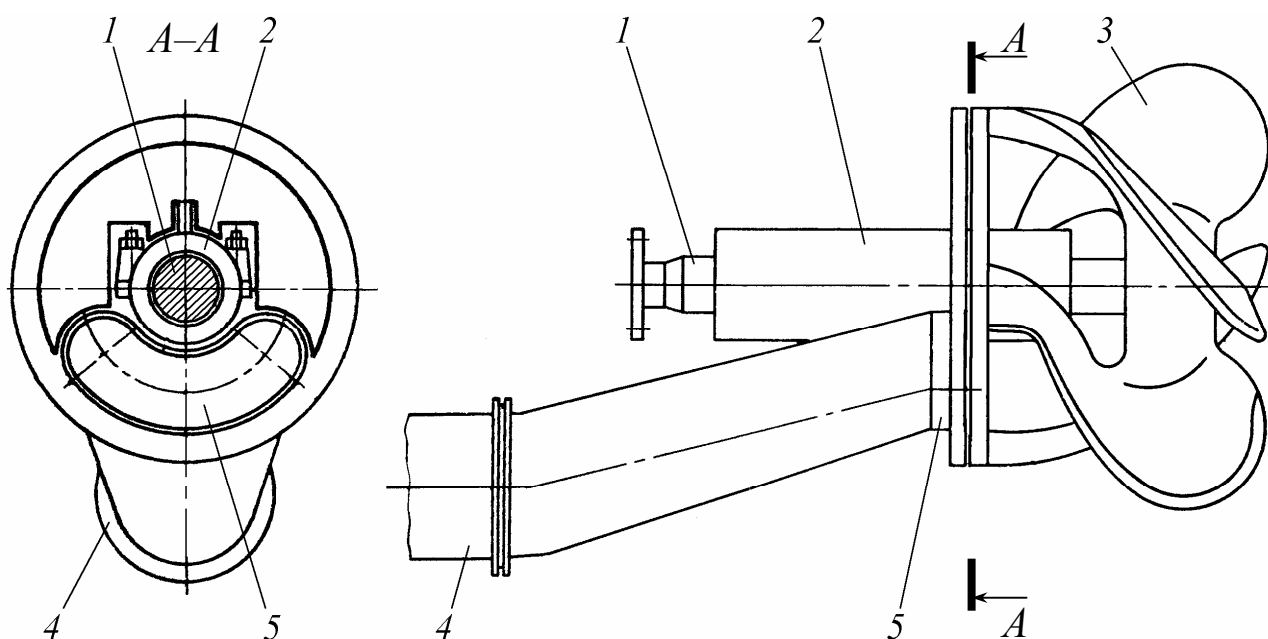


Рисунок 2.57 – Фрезерний розпушувач: 1 – вал; 2 – підшипникова опора; 3 – фреза; 4 – усмоктувальний трубопровід; 5 – вхідний отвір усмоктувальної труби

няних та зарубіжних глибинних снарядах фреза приводиться у рух гідромотором, встановленим безпосередньо біля фрези, що дозволяє відмовитися від довгого валопроводу. Вхідний отвір усмоктувальної труби 3 вписується між головним підшипником 2 і кільцем фрези, і тому має форму скривленого еліпса. Площа цього отвору повинна забезпечувати вхідну швидкість, достатню для гідротранспортування даного ґрунту.

Існує багато типів фрез як за формою, так і за конструктивними рішеннями. Усі фрези мають *ножі*, різальні крайки яких, обертаючись навколо деякої осі, зрізають ґрунтову стружку. Форму ножів фрези вибирають так, щоб вони одночасно з розпушуванням подавали ґрунт до вхідного отвору всмоктувальної труби.

Рационально побудована фреза має передусім забезпечувати задану *продуктивність* при мінімальній питомій витраті потужності. Фрези, що призначаються для розробки зв'язних ґрунтів, повинні мати властивість *незалиплюваності*. Крім того, ґрунт, що зрізається, треба дробити на дрібні частини, чим полегшується його всмоктування, проходження через робоче колесо насоса і подальше гідротранспортування. Фрези повинні мати високу *міцність* і *зносостійкість*. Різальна кромка ножів на великих фрезах має бути змінною і виготовлятися з особо зносостійких сталей.

Через розмаїття механічних властивостей ґрунтів, що видобуваються, практично неможливо сконструювати фрезу, яка б ефективно працювала на будь-якому ґрунті. Сучасні земснаряди комплектують набором змінних фрез, кожна з яких призначена для якогось певного типу ґрунту.

Загальні розміри фрези мають бути, по можливості, близькі до розмірів *зони всмоктування*. Великі розміри фрези призведуть до збільшення втрат ґрунту (просипання), оскільки зрізаний ґрунт, знаходячись за межами зони всмоктування, не попадає в приймальний отвір усмоктувальної труби. Менші розміри фрези будуть перешкоджати всмоктуванню ґрунту, що знаходиться за межами фрези, але ще в зоні всмоктування.

Для визначення середнього діаметра фрези можна користуватися формулами (за Б. М. Шкундіним):

$$\begin{aligned} \text{— для легких ґрунтів} \quad D_{\phi} &= 0,23 Q_{\tau}^{0,35}; \\ \text{— для важких ґрунтів} \quad D_{\phi} &= 0,21 Q_{\tau}^{0,35}, \end{aligned} \quad (2.65)$$

де D_ϕ – діаметр фрези, м; Q_T – продуктивність (по ґрунту) землесосного снаряда, м³/год.

Довжина фрези $L_\phi = (0,63 \dots 0,92) D_\phi$. Коротші фрези використовуються для важких ґрунтів.

Окружна швидкість обертання фрези з умови найкращого передавання зрізаного ґрунту до всмоктувального отвору (за Б. М. Шкундіним)

$$v_\phi = (0,6 \dots 0,85) v_{\text{вс}}, \quad (2.66)$$

де $v_{\text{вс}}$ – швидкість усмоктування, яку розраховано по оптимальній подачі ґрунтового насоса.

Продуктивність виймання ґрунту при пошаровій розробці

$$Q_T = D_\phi L_\phi v_\phi k_D k_L k_{\text{пр}}, \quad (2.67)$$

де v_ϕ – середня швидкість папільонування; k_D – коефіцієнт використання фрези по діаметру; при розробці щільних незв'язних ґрунтів $k_D = 0,85 \dots 0,95$; k_L – коефіцієнт використання фрези по довжині; при робочих переміщеннях на палях у нерухомих напрямних $k_L = 0,55 \dots 0,65$; при напірному пальовому ході $k_L = 0,9 \dots 1,0$; $k_{\text{пр}}$ – коефіцієнт просипання ґрунту; $k_{\text{пр}} = 0,75 \dots 0,85$.

Явища, що відбуваються при фрезерному ґрунтозаборі, відрізняються винятковою складністю, оскільки являють собою сполучення недостатньо вивчених процесів різання й усмоктування ґрунту. Визначення за допомогою розрахунків зусилля руйнування ґрунту та обертального моменту являє значні труднощі. Наявні методи не можуть бути рекомендовані для широкого застосування. Так, наприклад, у формулу, рекомендовану лабораторією гідромеханізації Калінінського політехнічного інституту (Росія) для визначення зусилля, що формується на ножі фрези, входить сім різних коефіцієнтів, що залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту, кута різання, швидкості різання, кута установки ножів у плані (по відношенню до осі обертання фрези) та від форми ножа.

З огляду на недостатність дослідних даних для визначення всіх цих коефіцієнтів, звичайно строкатий характер ґрунтів у вибої, а також змінну товщину стружки, для визначення зусилля фрезерування можна вийти з даних табл. 2.18, у якій наведено статистичні значення питомих енерговитрат розпушування залежно від характеру ґрунту, який розробляється.

Таблиця 2.18 – Питомі енергетичні витрати на розпушування ґрунту фрезерними розпушувачами

Тип ґрунту	Питомі енерговитрати, кВт·год/м ³
Піски розпушені незлежалі, торф	0,20 ... 0,30
Піски злежалі, піски гравелісті, супесі, мулісті піски, льос, піски з прошарками мулу або суглинків, мули й піски наносні	0,35 ... 0,45
Торф пнистий	0,50 ... 0,60
Суглинки легкі, мули злежалі	0,45 ... 0,60
Глини легкі нежирні	0,60 ... 0,75
Глини щільні	0,75 ... 0,90
Скеля м'яка, розбірна	0,90 ... 1,2

Потужність приводу фрезерного розпушувача

$$N_{\phi} = Q_{\tau} w, \quad (2.68)$$

де w – енерговитрати руйнування 1 м³ ґрунту.

Окружне зусилля й обертальний момент розпушування

$$P_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{v_{\phi} \eta_{\phi}}; \quad M_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{2\pi n_{\phi} \eta_{\phi}}, \quad (2.69)$$

де n_{ϕ} – частота обертання фрези; η_{ϕ} – коефіцієнт корисної дії приводу фрези; $\eta_{\phi} = 0,75 \dots 0,80$.

При визначенні зусилля, що діє на один ніж фрезерного розпушувача, можна враховувати, що одночасно в роботі знаходиться 1,25 ... 2 ножа, тобто

$$P_{н.ф} = (0,5 \dots 0,8) P_{\phi}. \quad (2.70)$$

Конструктивні рішення фрез. Все розмаїття конструктивних рішень фрез може бути розділене на три основні групи:

- 1) *відкриті фрези* з кріпленням ножів на спицях;
- 2) *закриті фрези* (митроподібні);
- 3) *реверсивні фрези*.

Відкриті фрези, рис. 2.58 а, б, найбільш прості за своєю конструкцією. Розрізняють відкриті фрези з прямими, рис. 2.58 а, і криволінійними, рис. 2.58 б, ножами. Фреза складається з кількох ножів 1, які з'єднані з маточиною 2 спицями 4. Для забезпечення міцності конструкції нижні кінці ножів об'єднані кільцем 3. За способом виготовлення фрези бувають: зварними з прокатного металу,

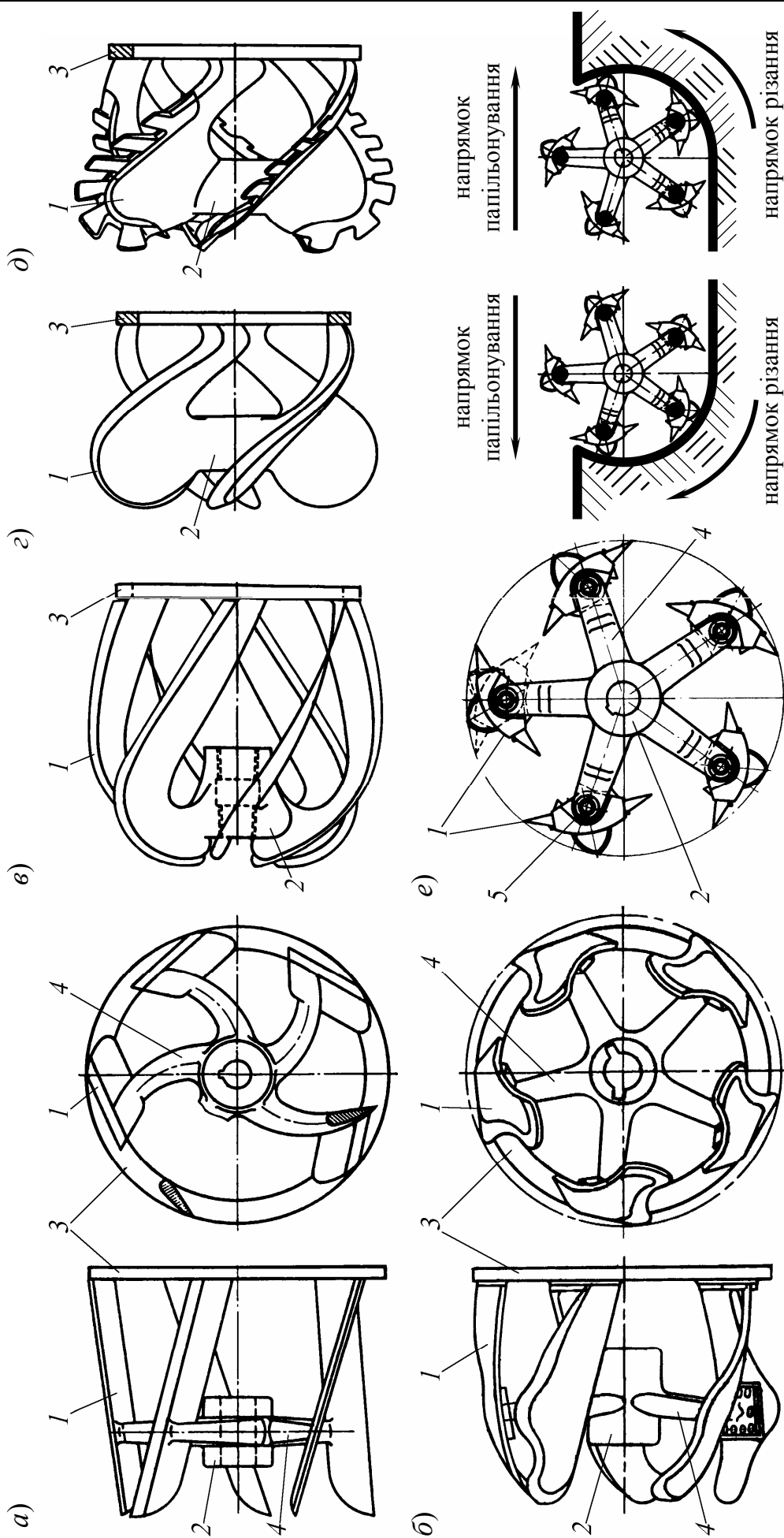


Рисунок 2.58 – Фрези відкриті з прямими (a) та фігурними (b) ножами; закрита “митроподібна” фреза (c); відвальні фрези з гладкими ножами (z) та з ножами, що оснащені зубцями (d); реверсивна фреза (e): 1 – ножі; 2 – маточина; 3 – кільце; 4 – спиці; 5 – шарнір

зварними з окремих литих деталей, збірними на болтах і суцільно-литими. Ножі фрез звичайно мають змінні різальні леза, виготовлені з металу підвищеної твердості і зносостійкості. Змінні леза кріпляться до ножів фрези на заклепках, електрозварюванням або рідше на болтах з потайними голівками.

Закриті або, як їх звичайно називають, митроподібні фрези, рис. 2.58 в, відрізняються від відкритих відсутністю спиць. Ножі 1 верхніми заломленими кінцями зведені до маточини 2, нижні кінці з'єднуються кільцем 3. Закриті фрези виготовляють зварними, кованими або литими. Іноді закриті фрези виготовляють збірними, на болтових або зварних з'єднаннях, але частіше за все митроподібні фрези виготовляються суцільнолитими.

При роботі в піщаних і піщано-гравійних ґрунтах перевагу варто віддати закритим фрезам. Такі фрези здатні давати значно вищу, у порівнянні з відкритими, консистенцію — до 30%. Ця перевага є, вочевидь, результатом відсутності спиць, що у відкритих фрезах являють собою своєрідну решітку перед входом в усмоктувальну трубу, що заважає надходженню ґрунту, зрізаного передньою частиною ножа. Зазначена перевага зникає при розробці зв'язних ґрунтів, що налипають. Між збіжними поверхнями ножів дуже швидко збирається ґрунт, до якого йде подальше прилипання, і вся лобова частина фрези виявляється щільно затрамбованою глиною.

Різновидом закритих фрез є *відвальні*, рис. 2.58 г, і *плужні* фрези. Ці фрези займають проміжне положення між відкритими і закритими фрезами і спеціально сконструйовані для видобування ґрунтів, що налипають. У них відсутні спиці, які є характерною рисою відкритих фрез, однак на відміну від закритих фрез у передній частині відсутнє змикання ножів, яке утворює застійну зону, що є небезпечним джерелом залипання. Ножі виконані у вигляді розвинених відвально-направляючих поверхонь, завдяки чому ґрунт не тільки відділяється від вибою, але і подається в зону всмоктування. Така форма поверхні перешкоджає утворенню джерел залипання.

Плужні фрези відрізняються від відвальних фрез тим, що в них посилені відвально-різальні елементи і відсутнє опорне кільце. Така конструкція виключає заклинювання рослинних включень в місці примикання ножів до кільця. Фрези такого типу успішно працюють на сильно пророслому, липкому глинисто-мулистому ґрунті.

Для видобування міцних ґрунтів ножі фрез обладнують *зубцями* зі зносостійкої сталі, рис. 2.58 д.

Реверсивні фрези або фрези з поворотними ножами, рис. 2.58 *е*, є різновидом відкритих фрез. Ножі 1 з'єднані зі спицями 4 за допомогою міцних шарнірів 5. Привод таких розпушувачів має бути реверсивним. При зміні напрямку папільонування напрямок обертання фрези змінюється на протилежний таким чином, щоб різання ґрунту завжди відбувалось знизу вгору. Завдяки шарнірному з'єднанню ножів зі спицями при зміні напрямку обертання ніж повертається зусиллям реакції ґрунту і займає необхідне для різання положення. Хоча різання знизу вгору у важких ґрунтах є більш ефективним, фрези з поворотними ножами не дістали поширення через малу надійність.

Роторно-ковшові ґрунтозабірні пристрої за принципом своєї дії аналогічні роторному екскаватору і відрізняються від нього тим, що ґрунт, що черпається і висипається в бункер, транспортується не стрічковим транспортером, а водою за допомогою ґрунтового насоса.

Роторно-ковшовий ґрунтозабірний пристрій, рис. 2.59, складається з багаточерпакового ротора 1, що охоплює циліндричний бункер 2. Бункер розташований концентрично з ротором і відкритий у верхній частині. До нижньої частини однієї з торцевих стінок бункера приєднана всмоктувальна труба 9. Ґрунт, захоплений черпаками ротора,

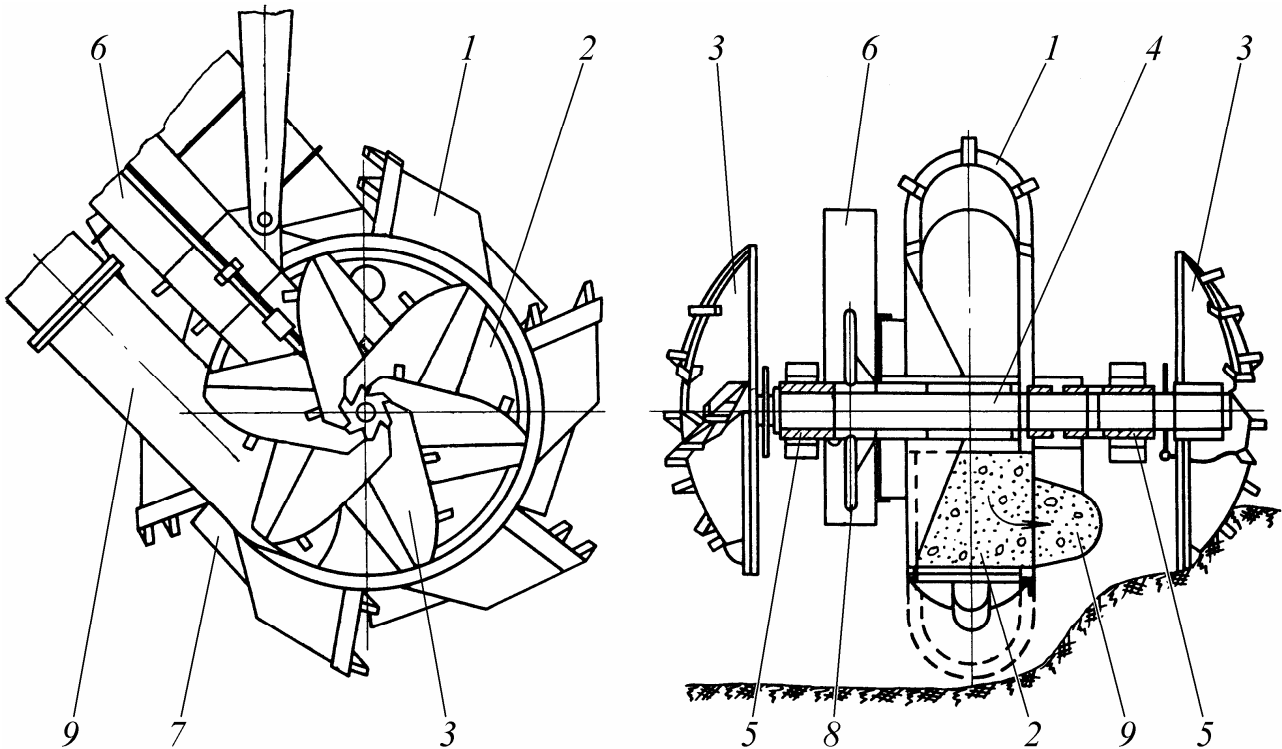


Рисунок 2.59 – Роторно-ковшовий розпушувач системи В. А. Мороза:
1 – ротор з ковшами; 2 – бункер; 3 – бічні фрези; 4 – вал; 5 – підшипники;
6 – кожух ланцюгової передачі; 7 – козирки; 8 – зірочка; 9 – усмоктувальний трубопровід

при його обертанні в період проходження ковшів над верхньою відкритою частиною бункера буде висипатися в нього і засмоктуватися разом з водою. На консолях вала посаджені бічні фрези 3, що полегшують пересування ротора в сторони. Обертання ротора здійснюється за допомогою ланцюгової передачі на зірочку 8. Вал ротора 4 обертається в підшипниках 5. Ланцюгова передача закрита кожухом 6. На днища ковшів приварені козирки 7, що захищають сусідні ковші від попадання негабаритних шматків або великих каменів.

На снарядах, обладнаних роторно-ковшовим ґрунтозабірним пристроєм, необхідно мати досконалий папільонажний пристрій, наприклад, у вигляді напірного пальового ходу. Найбільш перспективною галуззю застосування роторних ґрунтозабірних пристроїв вважається розробка важких гравійно-глинистих ґрунтів, не сильно злежалих конгломератів й інших *важких* для розробки, але незв'язних ґрунтів, які *не налипають*.

Ґрунтозабірні пристрої, що волочаться, являють собою своєрідний підводний скрепер або лопату, причому зрізаний ґрунт надходить безпосередньо в усмоктувальну трубу. На цьому принципі засновані ґрунтозабірні пристрої системи Фрюлінга, якими обладнуються ґрунтовідвозні днопоглиблювальні землесосні снаряди. До цього ж типу ґрунтозабірних пристроїв відноситься і ковшовий ґрунтозабірний пристрій системи Б.М. Шкундіна, рис. 2.60.

Два ковші 1 сполучені щокими 2 за допомогою потужних стяжних болтів 3 і можуть повертатися навколо осі 4, причому вихідний отвір правого або лівого ковша буде поєднуватися з вхідним отвором усмоктувальної труби 5. Поворот ковшів здійснюється тягою 6, з'єднаною з обоймою папільонажного блоку 7. Натяг папільонажних тросів при будь-якому їх напрямку натягне тягу 6, що викличе поворот кронштейна 9, з'єданого тягою 8 із щокію 2, що і приведе до повороту ковшів у потрібному напрямку. На рис. показане положення ковшів, що відповідає папільонуванню вліво. З входом в усмоктувальну трубу сполучено вихідний отвір лівого ковша. Останній своєю ріжучою крайкою знімає стружку ґрунту. Ґрунт, що зрізається, просувається вглиб ковша, і, оскільки вихід із ковша сполучений із входом в усмоктувальну трубу, то ґрунт буде всмоктуватися разом із відповідною кількістю води. При папільонуванні вправо ґрунтозабірний пристрій повернеться і в роботу включиться правий ківш.

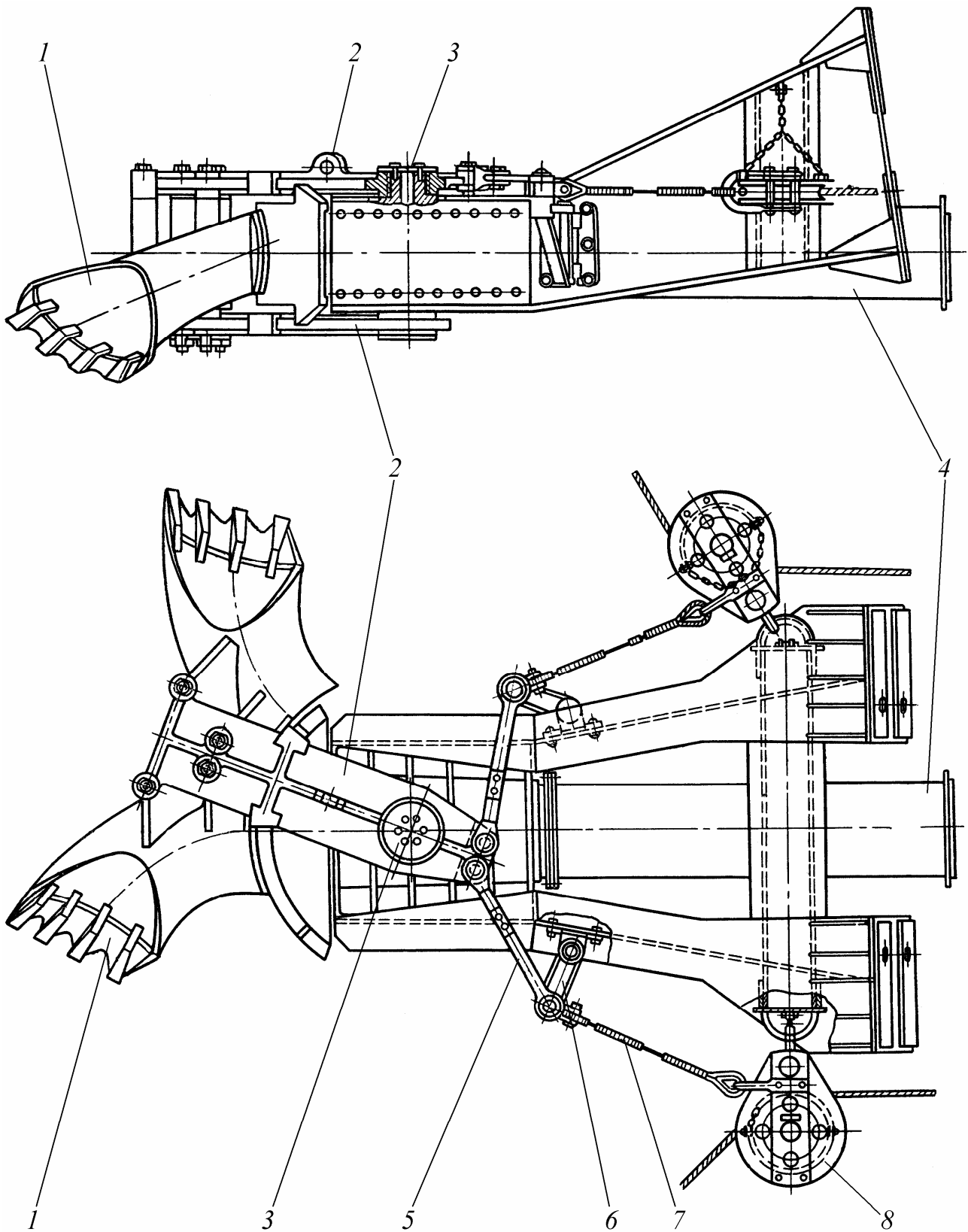


Рисунок 2.60 – Ковшовий ґрунтозабірний пристрій системи Б. М. Шкундіна:
 1 – ковші; 2 – щоки; 3 – вісь; 4 – усмоктувальний трубопровід; 5, 7 – тяги;
 6 – кронштейн; 8 – папільонажний блок

У ковшовому ґрунтозабірному пристрої створені сприятливі умови для всмоктування ґрунту. Ґрунт подається безпосередньо до приймального отвору всмоктувальної труби, весь потік води проходить через ківш, який в даний момент працює, що сприяє високому насиченню пульпи. На різальній кромці ковша можуть бути отримані значні зусилля різання ґрунту, які дорівнюють повному тяговому зусиллю папільонажних лебідок. Істотною перевагою пристрою є відсутність частин, що обертаються.

Ковшовий ґрунтозабірний пристрій вимагає досконалої системи папільонування. Цим вимогам відповідає напірний пальовий хід.

Ланцюгові ґрунтозабірні пристрої бувають із багатоківшевим ланцюгом, що черпає ґрунт і подає його в зумпф ґрунтового насосу для подальшого переміщення у вигляді пульпи, або з ланцюгом, оснащеним *іклами*, що по суті є рухомою решіткою, яка захищає всмоктувальну трубу від великих включень, здатних засмітити ґрунтовий насос.

Пристрої першого типу широко відомі в днопоглиблювальній практиці. Земснаряди, які працюють за таким принципом, отримали назву *черпаково-рефулерних*. Як правило, такі снаряди можуть вантажити ґрунт безпосередньо в шаланду, мінаючи ґрунтовий насос або ж подавати ґрунтовим насосом у вигляді пульпи на невелику відстань — 300 ... 500 м.

Розпушувачі з іклами поширені мало, оскільки створення їх пов'язане з рядом конструктивних труднощів.

Вібраційні ґрунтозабірні пристрої інтенсифікують усмоктування ґрунту за допомогою механічних коливань усмоктувального накопичника або спеціальної плити чи решітки, яка розташована безпосередньо в зоні усмоктування. Привод вібратора може бути електричним, з розташуванням вище рівня води, або гідравлічним. В останньому випадку привод є компактним і монтується під водою. Спроможність вібрації порушувати міцність ґрунтів дозволяє підвищити продуктивність землесосного снаряда. Найбільш ефективним є використання вібраційних ґрунтозабірних пристроїв при розробці піщано-гравійних ґрунтів, які містять валуни.

Гідравлічне розпушення ґрунтів здійснюється одним чи кількома струменями води, які подаються на вибір з насадок, розташованих біля усмоктувального отвору. Для цього до ґрунтозабірного пристрою спеціальним насосом подається чиста вода.

Теоретичні аспекти підводного розмиву викладені у п. 2.1.7. Швидкість струменя на всій його робочій ділянці повинна бути достатньою для розмиву ґрунту, див. табл. 2.4. Робоча довжина струменя визначається за залежністю (2.23).

Діаметр отвору насадки можна визначити наступним чином

$$d_n = \frac{l_p}{2m} \left(\sqrt{1 + \frac{16 Q_p m^2}{\pi v_p n_n l_p^2}} - 1 \right), \quad (2.71)$$

де l_p – довжина робочої ділянки струменя, потрібна для ефективної роботи ґрунтозабірного пристрою; n_n – кількість насадок; Q_p – витрати води на розмив ґрунту; при розробці піщано-гравійних слабозлежалих ґрунтів $Q_p \approx Q_t$; при розробці важкорозмивних ґрунтів витрату води необхідно збільшити в 1,5...2 рази; параметри m і v_p – див. п. 2.1.7. та 2.1.8.

Застосування підводного розмиву в рихлих піщаних ґрунтах не дає помітного підвищення продуктивності землесосних снарядів. У гравелистих пісках гідравлічне розпушування при раціональній конструкції всмоктувального наконечника дозволяє підвищити продуктивність видобування ґрунту на 15 ... 20 %.

Ежекторні ґрунтозабірні пристрої за принципом дії є водоструминними насосами, які встановлено на кінці усмоктувальної труби земснаряда. Напірна вода від допоміжного насоса надходить до патрубку 5 та потрапляє у циліндричний простір між зовнішньою 2 та внутрішньою 3 трубами. Звідти через кільцеву щілину, утворену вхідною горловиною 1 і втулкою 4, вода у вигляді кільцевого струменя з великою швидкістю витікає у камеру змішування. Енергія напірної води передається потоку пульпи, який усмоктується у отвір горловини 1, завдяки чому на виході з камери змішування (у дифузорі) утворюється підвищений тиск. Ежекторний наконечник має насадок 6, що розмиває ґрунт для полегшення всмоктування.

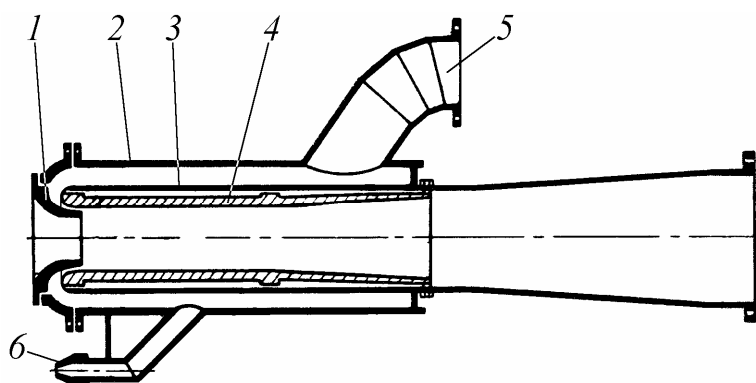


Рисунок 2.61 – Ежекторний наконечник: 1 – вхідна горловина; 2, 3 – зовнішня та внутрішня труби; 4 – втулка; 5 – патрубок подачі напірної води; 6 – насадка гідравлічного розпушувача

Впровадження ежекторного ґрунтозабору доцільне при розробці піщано-гравійних відкладень з глибини, що перевищує 20-25 м. У такому випадку тиск, який створюється ежектором, значно покращує умови роботи ґрунтового насоса, дозволяє уникнути кавітації, збільшити потужність усмоктування і забезпечити високу консистенцію пульпи.

У випадку, якщо не потрібно перекачувати видобутий матеріал на значну відстань, а він має бути завантажений у баржу або поданий на плавучу збагачувальну установку, розташовану безпосередньо на видобувному землесосному снаряді, ежекторний наконечник може виконувати функцію основної гідротранспортної установки. Ґрунтовий насос у такому випадку не встановлюється.

Ерліфтно-земснарядні комплекси є специфічним засобом гідравлічного видобування корисних копалин, в якому підйом ґрунту у проміжну ємність здійснюється ерліфтом, а ґрунтовий насос здійснює відкачку пульпи на карту наживу або до споживача. Ерліфтно-земснарядні комплекси (ЕЗК), у порівнянні з традиційними земснарядами, мають більш високу продуктивність, меншу трудомісткість і вартість видобування, забезпечують можливість розробки копалини на глибині кількох сотень метрів, у тому числі й з-під шару порід, що покривають, та роботу ґрунтового насоса з постійною високою концентрацією пульпи.

Ерліфт, що використовується для підйому твердого з дна водойми (наприклад, ерліфт ЕЗК) може працювати з досить високим к.к.д., порівняним з к.к.д. відцентрових насосів — до 60 ... 75 % [72]. При цьому ерліфт має низку безсумнівних переваг, головні з яких — простота і надійність у роботі, можливість транспортування гідросумішей з високою концентрацією твердої фракції — до 35 ... 40 %, (ґрунтові насоси й вуглесоси, відповідно до заводських інструкцій по експлуатації, мають працювати з концентрацією 10 %). Ерліфт не має частин, що рухаються або швидко зношуються, не потребує постійного спостереження й обслуговування, як того вимагає ґрунтовий відцентровий насос, простий і недорогий у виготовленні.

Ерліфт не боїться аварійних ситуацій, «смертельних» для насосних установок: може транспортувати гірську масу, що містить великі шматки, сміття, металеві предмети, працює, навіть якщо ґрунтозабірний пристрій завалений гірською масою. Ерліфт не

створює високих тисків у піднімальній трубі, простий і безпечний в обслуговуванні. Принцип дії та методику розрахунку ерліфта наведено у п.п. 4.4.3.

Ерліфтно-земснарядний комплекс монтується на корпусі 15 серійного земснаряда, рис. 2.62., звичайний ґрунтозабірний пристрій якого замінюється на ерліфт, який складається з ґрунтозабірного пристрою-змішувача 1, підйомної 2 й повітроподавальної 3 труб та повітровіддільника 8. Насосом 12 чиста забортна вода по трубопроводу 4 подається у насадки всмоктувального пристрою 1, що забезпечують розмив та розпушування ґрунту. Гідросуміш надходить до змішувача, який конструктивно суміщений з усмоктувальним прист-

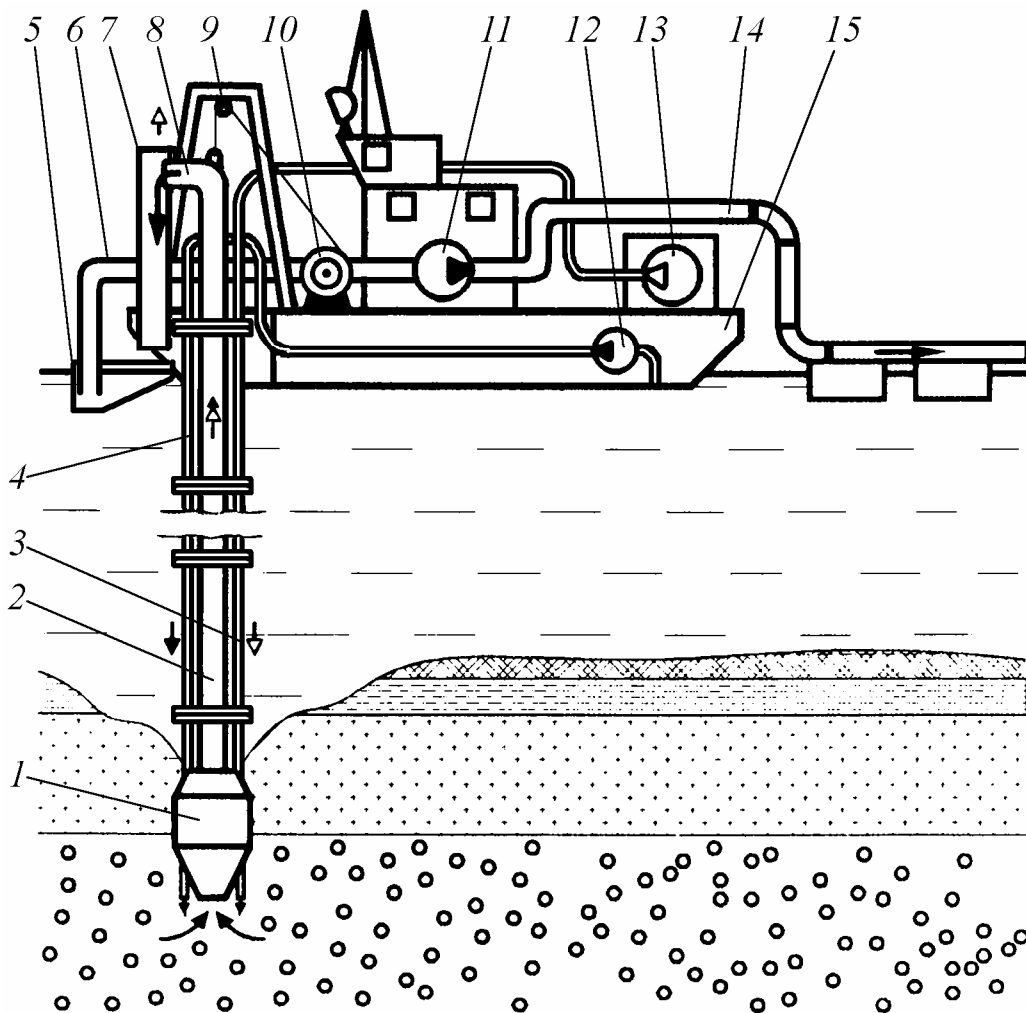


Рисунок 2.62 – Ерліфтно-земснарядний комплекс: 1 – ґрунтозабірний пристрій зі змішувачем; 2 – підйомна труба; 3 – повітроподавальна труба; 4 – труба подачі води для розмиву; 5 – проміжна ємність; 6 – усмоктувальний трубопровід ґрунтового насоса; 7 – скидна колона; 8 – повітровіддільник; 9 – блок; 10 – лебідка; 11 – ґрунтовий насос; 12 – допоміжний насос; 13 – компресор; 14 – напірний пульпопровід; 15 – корпус

роєм 1, де змішується зі стисненим повітрям, що подається в змішувач компресором 13 по повітроводу 3. Утворена трьохфазна аерогідросуміш по підйомній трубі 2 піднімається до повітровіддільника 8, де розділюється на дві фази: повітря спрямовується в атмосферу, а пульпа зливається по скидній колоні 7 у проміжну ємність 5. В останній відбувається розведення пульпи забортною водою до концентрації, необхідної для перекачування її ґрунтонасосом. З проміжної ємності пульпа ґрунтонасосом 11 перекачується по пульпопроводу 14 на карту наміву.

Заглиблення ґрунтозабірного пристрою здійснюється шляхом опускання всього ставу ерліфта (підйомної 2, повітряної 3 і труби подачі робочої води 4) лебідкою 10. Став виконано у вигляді секцій довжиною 2,5 ... 3 м, які з'єднуються за допомогою фланців.

Ґрунтозабірний пристрій і змішувач, якими обладнуються ерліфтно-земснарядні комплекси, у більшості випадків виконуються конструктивно сполученими в одному вузлі, рис. 2.63. Розмив злежалого твердого матеріалу здійснюється насадками 7, що живляться водою, яка подається до колектора 6 під напором по трубі 5 від спеціального насоса. Стиснене повітря надходить по трубі 2 до камери змішувача 3, звідки через отвори потрапляє до підйомної труби 1, де змішується з пульпою, яка засмоктується у трубу 1.

Скидна колона 7, рис. 2.62, забезпечує спуск пульпи до проміжної ємності та видалення залишків повітря. Повітровіддільник 8 рухається у вертикальному прорізі в обичайці колони. Проміжна ємність 5 призначена для регулювання концентрації твердого в пульпі, що

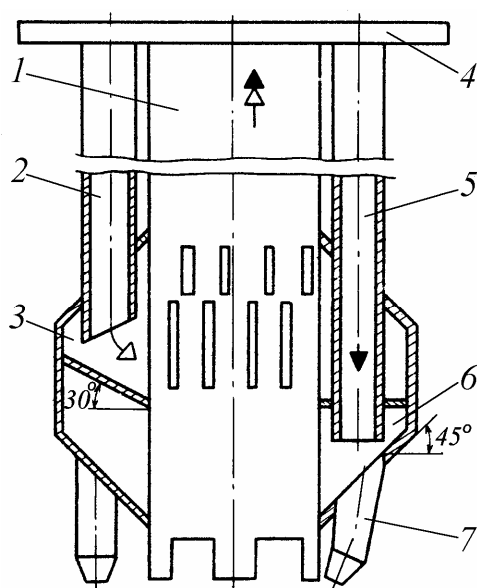


Рисунок 2.63 – Ґрунтозабірний пристрій ерліфтно-земснарядного комплексу, суміщений зі змішувачем: 1 – підйомна труба; 2 – повітроподавальна труба; 3 – змішувач; 4 – фланець; 5 – труба подачі води для розмиву; 6 – кільцевий колектор; 7 – насадки гідравлічного розпушувача

перекачується ґрунтонасосом. Ємність з'єднана шарніром із плавзасобом 15 та за допомогою лебідки і троса піднімається над рівнем чи опускається під рівень заборотної води з метою розрідження пульпи до концентрації, яка необхідна для перекачування пульпи ґрунтонасосом.

Досвід експлуатації ерліфтно-земснарядних комплексів по видобуванню піску з рік і водойм [8, 90, 91] показав їхні виняткові переваги перед звичайними землесосними снарядами. Незважаючи на дещо (близько 20 %) більшу витрату електроенергії або дизпалива, собівартість видобутого ними матеріалу нижче, ніж для земснаряда, за рахунок більш високої концентрації одержуваної гідросуміші, стабільної і безаварійної роботи комплексу. Крім цього, комплекс має у багато разів більшу глибину розробки — до 120 м, дозволяє вести розробку в таких умовах, у яких звичайний земснаряд непрацездатний. Є досвід експлуатації ерліфтно-земснарядного комплексу в зимових умовах, а також при розташуванні його в гранично малому по глибині і простору водоймі (у болотних умовах). У ерліфтно-земснарядному комплексі забезпечуються сприятливі умови роботи ґрунтового насоса, у який подається підготовлена гідросуміш з постійною високою концентрацією, яка не містить великих шматків; насос працює з невеликим розрідженням в усмоктувальному патрубку, що значно знижує імовірність роботи у кавітаційному режимі.

2.4.6 Робочі переміщення землесосних снарядів

Робочі переміщення (папільонування) землесосних снарядів у межах робочої зони є однією з основних операцій процесу розробки підводного вибою.

Через те, що сам ґрунтозабірний пристрій на переважній більшості землесосних снарядів переміщується щодо його корпусу тільки у *вертикальній площині* (тобто по глибині розробки вибою), то для продовження процесу ґрунтозабору необхідно здійснити горизонтальне переміщення пристрою, що забезпечується переміщенням *всієї машини*.

Робочі переміщення землесосного снаряда здійснюються за допомогою встановлених на ньому *папільонажних приладів*. Основні види й способи папільонування наведені у табл. 2.19. Вибір *виду та способу папільонажу* зумовлений наступними чинниками:

— *типом ґрунтозабірного пристрою*, який встановлено на снаряді; землесосні снаряди, обладнані вільним усмоктувачем і призначені для розробки непрофільних виїмок (видобування ґрунту в кар'єрі), оснащені найпростішим видом папільонажа — тросовим і не мають пальового апарата; землесосні снаряди зі складними роторно-ковшовими розпушувачами для пошарової розробки зв'язних щільних ґрунтів укомплектовують складним напірним пальовим ходом і папільонажними пристроями, що забезпечують жорстко зафіксовану траєкторію переміщення ротора розпушувача;

— *особливостями водойми*, у якій працює землесосний снаряд; при швидкому плині ріки або при сильних рвучких вітрах на водосховищах або великих озерах може виявитися доцільним на землесосних снарядах, обладнаних смоктуном, встановити пальовий хід, що жорстко фіксує місцезнаходження землесосного снаряда у вибої, замість гнучкого тросового папільонажа;

— *видом роботи*, що виконує землесосний снаряд; при днопоглибленні висувуються суворі вимоги по допусках на глибину розробки (багермейстерські запаси) і розмірах недоборів по площі і профілю виїмки, тому найпростіший ґрунтозабірний пристрій може бути доповнено складним напірним пальовим ходом, що забезпечує послідовну рівномірну розробку ґрунту.

Тросове папільонування. З наведених у табл. 2.19 п'ятьох різних способів тросового папільонування на будівельних та гірничо-видобувних роботах застосовуються тільки два: траншейний і віяловий. Зазвичай, положення земснаряда фіксується за допомогою шести якорів: станового, кормового та чотирьох бокових, рис. 2.64 а.

При *траншейному* способі робіт ґрунтозабірний пристрій переміщується вздовж прорізу, що розроблюється, рис. 2.64 б. Після просування снаряда на деяку довжину вперед він повертається назад, у вихідне положення, переміщається убік, проходить наступну паралельну траншею і так до розробки прорізу на повну ширину.

При траншейному способі робіт просування снаряда вздовж прорізу здійснюється за допомогою станової лебідки. Інші лебідки служать для утримання снаряда на осі траншеї, що розроблюється, для відводу його назад і для перекладу на сусідню, чергову для розробки траншею. Траншейний спосіб відрізняється простотою, але може бути застосований тільки для робіт на легких ґрунтах.

Віяловий спосіб, рис. 2.64 в, полягає в тому, що за допомогою передніх бічних тросів снаряд повертається на заданий кут навколо

нерухомої точки на кормі. В ході розробки ґрунту переднім становим тросом земснаряд просувається вперед. При достатніх навичках багермейстера цим способом можна досягти повного покриття площі, що розроблюється, і досить точно дотримуватися заданих меж розробки.

Пальове папільонування. На землесосних снарядах, призначених для будівельних та гірничо-видобувних робіт, частіше за все застосовується папільонування за допомогою апарата пальового ходу.

Таблиця 2.19 – Види і способи папільонування

Вид папільонування	Спосіб робочих переміщень	Область застосування
Тросове	Траншейний	Днопоглиблювальні роботи, будівельні роботи, розробка покладів нерудних матеріалів малої потужності
	Паралельний	Днопоглиблювальні роботи при глибині води більшій, ніж осадка снаряда
	Віяловий	Днопоглиблювальні роботи, будівельні роботи при ширині заходки більшій, ніж довжина снаряда і глибині води за контурами заходки меншій, ніж осадка снаряда
	Хрестовий	Днопоглиблювальні роботи при невеликій ширині заходки і глибині води за контурами заходки меншій, ніж осадка снаряда
	Окремими воронками	Проходження непрофільних виїмок у незв'язних породах, розробка потужних покладів без механічного розпушування
Пальово-тросове	Простий	Будівельні роботи в незв'язних ґрунтах, розробка родовищ корисних копалин, проходження непрофільних виїмок
	Голландський, німецький	Те ж, при необхідності забезпечення стабільного завантаження ґрунтозабірного пристрою
	Напірний пальовий хід	Будівельні роботи у важких ґрунтах, виконання жорстких вимог щодо якості дна та профілю виїмки
Пальово-безтросове	Хоботовий	Розробка вузьких каналів
	Хоботовий універсальний	Розробка широких каналів снарядами з підвісним пульповодом

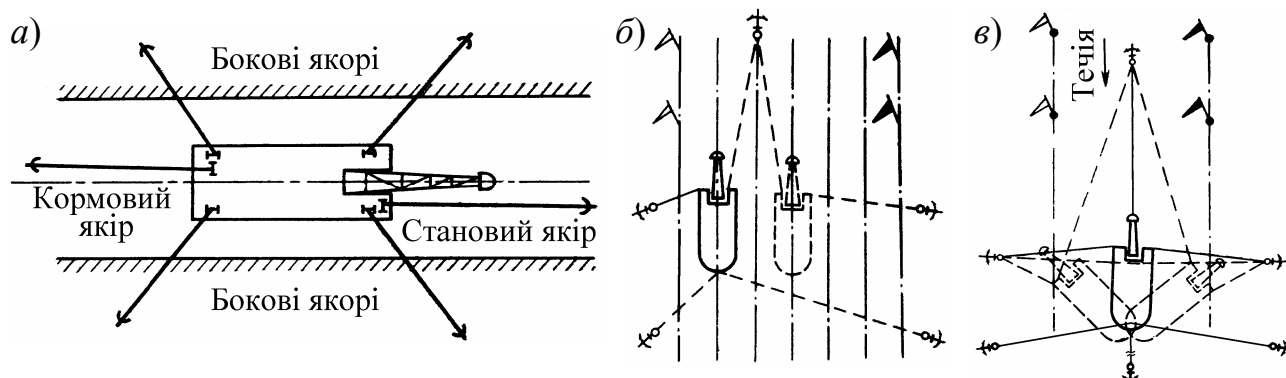


Рисунок 2.64 – Схема тросового папільонування (а), траншейне (б) та віялове (в) папільонування

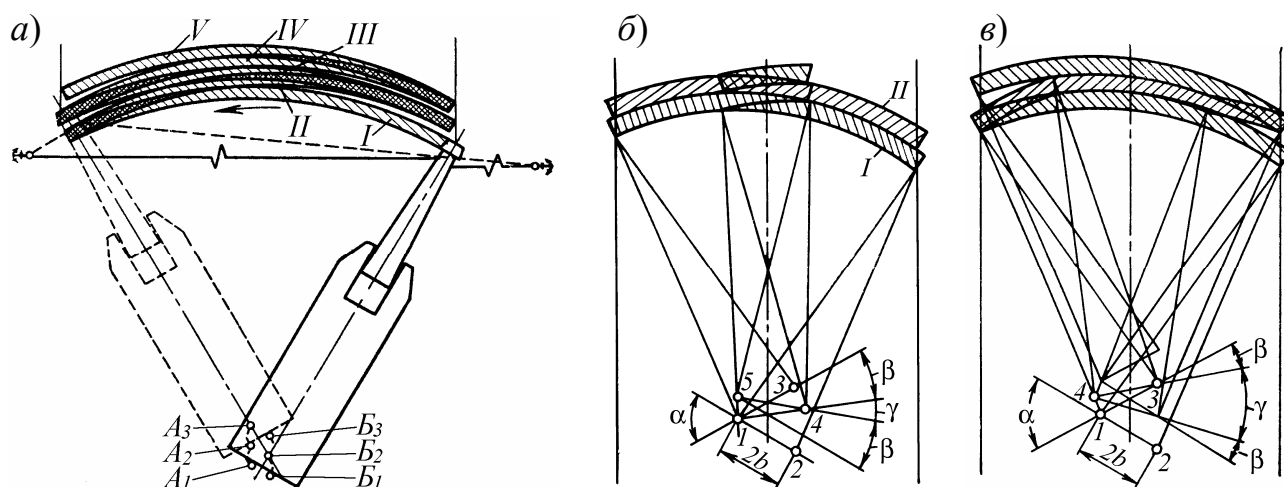


Рисунок 2.65 – Пальово-тросове папільонування: звичайна (а), “голландська” (б) та “німецька” (в) схеми

Основна перевага пальового папільонування полягає в тому, що воно вимагає закладки тільки двох якорів, у той час як тросовий спосіб вимагає шести. Ґрунтозабірний пристрій при цій системі робочих переміщень описує цілком визначені траєкторії, що особливо необхідно при розробці зв’язних ґрунтів.

Найпростішим видом пальового папільонування є папільонування на палях у нерухомих напрямних. У кормовій частині снаряда в напрямних обоймах підвішуються дві палі. За допомогою лебідок палі можуть підніматися й опускатися. Пальове папільонування полягає в почерговому повертанні снаряда навколо однієї з паль. Схема пальового папільонування з нерухожими напрямними показана на рис 2.65 а. Нехай паля *Б* піднята, а паля *А* опущена і під впливом власної ваги своїм кінцем увійшла на деяку глибину в ґрунт у точці *А₁*. Вибираючи лівий трос, можна змусити снаряд повертатися навколо точки *А₁*, фреза при цьому опише дугу *I* і снаряд займе

положення, зображене на малюнку пунктиром. Якщо палю B опустити, а палю A , навпаки, підняти і вибрати трос правою лебідкою, то снаряд, повертаючись навколо точки B_2 , займе нове положення, і фреза опише дугу II .

При повторенні таких операцій фреза опише дуги III , IV , V і т.д., усмоктувальний пристрій при цьому збереже достатній контакт із ґрунтом, і весь снаряд, наче крокуючи на палях, буде пересуватися вперед, розробляючи проріз заданої ширини.

Недоліком пальової ходи з нерухомими напрямними є те, що по деяких ділянках ґрунтозабірний пристрій проходить двічі (подвійне штрихування), у той час як деякі пропускаються зовсім (не заштриховані). Це призводить до нерівномірного навантаження ґрунтозабірного пристрою.

Змінюючи палю не на брівці прорізу, а при якомусь проміжному положенні снаряда, можна зменшити розмір подачі вперед та забезпечити більш рівномірне навантаження ґрунтозабірного пристрою. Схема папільонування при зміні палі на осі прорізу отримала назву “голландська”, рис. 2.65 б. Повертаючись відносно лівої палі, яка заколота у точці 1 , фреза опише дугу I , після чого при тому ж положенні паль снаряд повертається назад на кут β . Фреза у цей час рухається по відпрацьованій смузі, тому цей хід може бути виконаний зі значно більшою швидкістю. Потім праву палю опускають в точці 4 , а ліву піднімають. Обертаючись навколо точки 4 , снаряд просунеться вперед і фреза потрапить на дугу II . В цей момент знову виконується зміна паль, і ґрунтозабірний пристрій буде переміщатися по дузі II , обертаючись навколо лівої палі (точка 5). Оскільки більшу частину прорізу снаряд розробляє, обертаючись навколо однієї (лівої) палі, траєкторії руху фрези будуть паралельні одна одній і смуга, що виймається, матиме постійну ширину.

Робота за даною схемою поступово зміщує земснаряд з осі прорізу, тому необхідно після кількох ходів змінювати порядок зміни паль для того, щоб викликати зсув снаряда в протилежному напрямку.

Іншим варіантом папільонування є так звана “німецька” схема, рис. 2.65 в, яка відрізняється від “голландської” тим, що зміна паль виконується не на вісі, а біля брівки прорізу. Це усуває необхідність виконання холостих рухів фрези та гарантує постійну ширину смуги, що виймається у центральній частині прорізу.

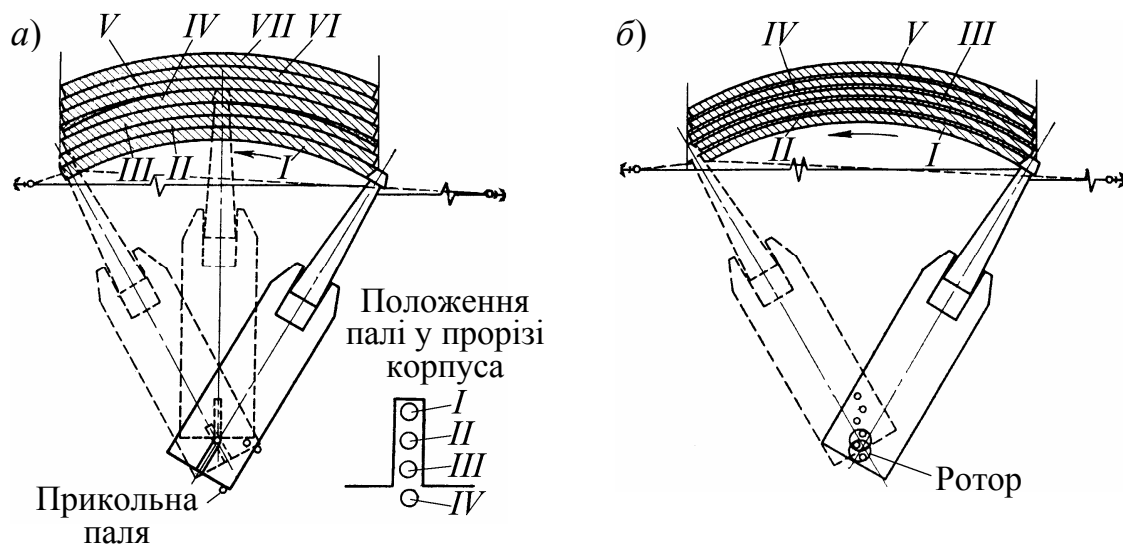


Рисунок 2.66 – Напірний пальовий хід з розташуванням однієї палі на візку (а) та з розташуванням напрямних обойм на роторі (б)

Загальним недоліком пальового способу папільонування при нерухомих напрямних обоймах є те, що фреза на деяких відрізках свого шляху рухається по уже виробленому простору, деякі ж ділянки пропускаються фрезою зовсім, і вона занадто глибоко повинна врізатися у вибій. При розробці малозлежалих і сипучих ґрунтів цей недолік практично не знижує продуктивності снаряда і тільки приводить до деякої нерівномірності консистенції. При роботі ж у важких ґрунтах, кожна одиниця об'єму яких повинна бути розпушена фрезою, вказаний недолік стає дуже істотним. Важкі ґрунти вимагають для своєї розробки більш досконалих способів папільонування.

На рис. 2.66 а показана схема папільонування, що може бути отримана, якщо напрямні однієї з паль закріпити в каретці, яка примусово пересувається вздовж подовжньої осі снаряда. Така схема отримала назву **напірного пальового ходу**.

Снаряд розробляє ґрунт на площі смуги I, повертаючись під впливом натягу папільонажних тросів у напрямку стрілки навколо робочої (напірної) палі, яка займає положення I у прорізі корпуса. В кінці смуги за допомогою спеціального напірного механізму (тросового, гвинтового, кремальєрного або гідравлічного) снаряд, відштовхуючись від палі, просунеться вперед на ширину однієї смуги і зробить робочий хід у зворотному напрямку; фреза при цьому розробляє ґрунт на смузі II і т.д. Такі ходи повторюються, поки не буде використаний весь хід каретки, який звичайно розраховується на три — п'ять ходів. Снаряд зупиняють у середньому положенні та скидають прикольну палю. Робочу палю піднімають, переганяють у

вихідне положення, знову опускають на ґрунт і, піднявши прикольну палю, продовжують папільонування.

Ця система пальового ходу дає відмінне покриття площі, яка розробляється, і може бути досить просто вирішена в конструктивному відношенні. До недоліків такого способу можна віднести припинення папільонування, неминучі під час повернення робочої палі у вихідне положення, та великі габарити механізму напірного хода.

Якісне покриття всієї площі прорізу дає пальовий хід із роторним механізмом, рис.2.66 б. У цій конструкції робочий хід здійснюється повертанням земснаряда навколо ротора при двох опущених палях. Біля брівки прорізу, що розроблюється, одна з паль піднімається, і ротор спеціальним приводом повертається на певний кут навколо опущеної палі; завдяки ексцентричному положенню палі в роторі снаряд подається вперед. Потім опускається друга паля, і снаряд здійснює робочий хід навколо ротора і т.д.

Без'якірне папільонування являє собою різновид пальового папільонування. Подача земснаряда вперед здійснюється відштовхуванням корпусу від паль, заглиблених у ґрунт. Безупинний контакт ґрунтозабірною пристроєм з ґрунтом досягається шляхом його повороту вправо і вліво на визначений кут щодо певного центру в носовій частині корпусу.

На рис. 2.76 а показана схема без'якірного папільонування з напірною палею на каретці. Такий спосіб робочих переміщень застосовується на землесосних снарядах для проходження вузьких каналів. Робочі переміщення ґрунтозабірною пристроєм 1 здійснюються поворотами цього пристрою навколо осі 2 за допомогою лебідки 5 і тросів 4. Прикольні палі 3 і напірна 6 при цьому опущені в ґрунт. Подача снаряда вперед здійснюється відштовхуванням від напірної палі 6 при піднятих палях 3. Після ходу напірного візка при опущених палях 5 вона повертається у вихідне положення. Оскільки при цьому способі робочих переміщень корпус снаряда переміщується вздовж осі прорізу, не повертаючись, то очевидно, що ширина прорізу на рівні днища снаряда може дорівнювати ширині корпусу. Ця особливість і дозволила застосувати спосіб переміщень у спеціальних снарядах для вузьких прорізів.

Інший різновид системи без'якірного папільонування відрізняється тим, що прорізи, у яких переміщаються напірні палі, зроблені в роторах, завдяки чому їхня площа може бути повернена під будь-

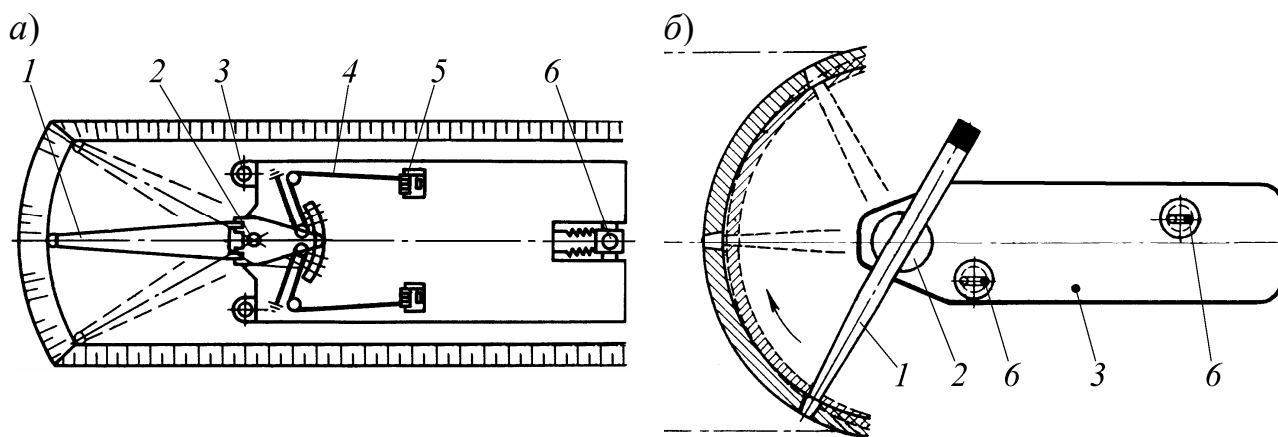


Рисунок 2.67 – Без'якірне папільонування з розташуванням напірної палі на каретці (а) та з напірними палями на роторах (б): 1 – ґрунтозабірний пристрій; 2 – вісь обертання ґрунтозабірного пристрою; 3 – прикольні палі; 4 – троси; 5 – лебідки; 6 – напірні палі на каретці або у роторах

яким кутом до подовжньої осі снаряда. Така схема без'якірного способу папільонування показана на рис 2.76 б.

Робочий хід здійснюється аналогічно описаному вище, при трьох занурених палях. Для просування снаряда уперед прикольна паля 3 піднімається і гідравлічні домкрати в системі роторів відштовхують корпус від палі 6. Прикольна паля 3 опускається на ґрунт і робочі палі по черзі піднімаються й обертанням роторів переміщуються у вихідне положення, що дозволяє здійснити наступну подачу снаряда вперед.

Переваги без'якірного папільонування полягають у тому, що зникають простоти та труднощі, пов'язані з перекладкою якорів.

Існує кілька **способів підйому палі**, які рухаються у напрямних обіймах. *Верхній підйом*, рис. 2.68 а, відрізняється простотою і з успіхом застосовується на невеликих снарядах. На середніх, а тим більше великих снарядах такий спосіб звичайно не використовують через необхідність обладнання дуже високого копра для кріплення підйимального блока. Крім того, у цій системі при скиданні палі трос, що змотується з лебідки, виявиться гальмом, що знижує швидкість її падіння. При *нижньому підйомі*, рис. 2.68 б, залишається гальмівний вплив троса і, крім того, ускладнюється обслуговування і знижується надійність пристрою, оскільки нижній блок знаходиться у воді. Підйом палі *тросовою удавкою*, рис. 2.68 в, простий за конструкцією, але не є достатньо надійним.

Найбільш поширеним на сучасних снарядах є підйом палі за допомогою *фрикційного захвату*, рис. 2.68 г. Він простий, цілком

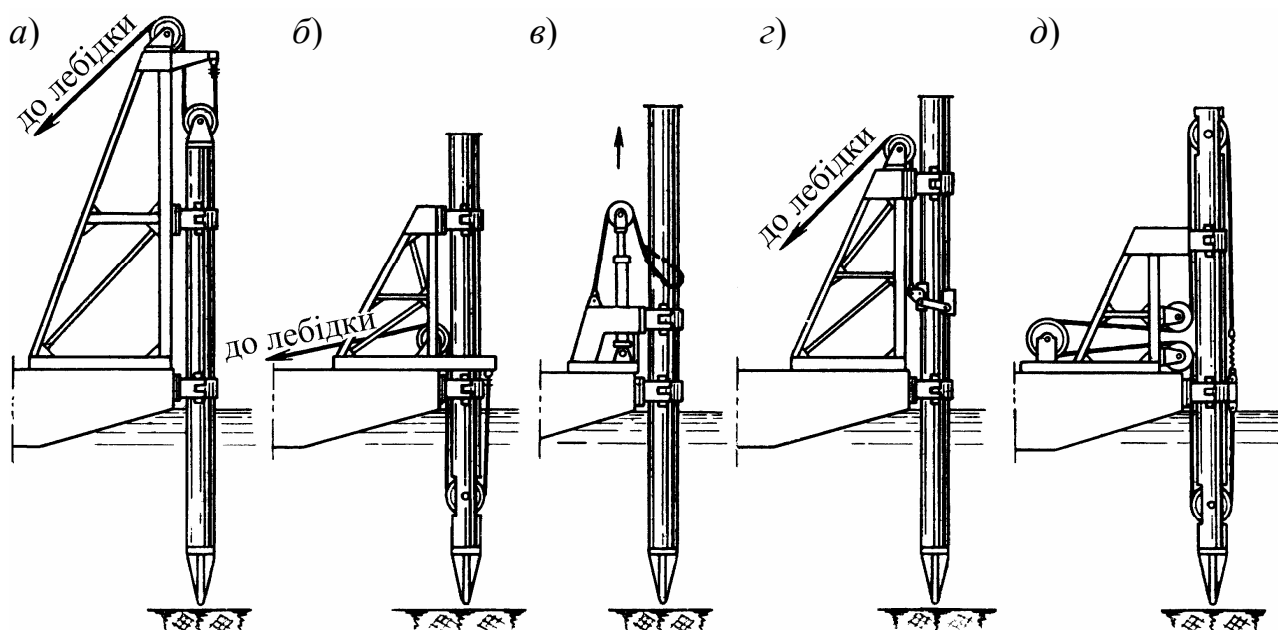


Рисунок 2.68 – Способи підйому й опускання папільонажних свай: верхній підйом (а); нижній підйом (б); підйом тросовою петлею (в); підйом із фрикційним захватом (г); підйом із примусовою посадкою палі (д)

надійний у роботі і не вимагає побудови високих металоконструкцій. Паля фіксується вертикально у двох напрямних, із яких нижня укріплена на транці корми корпусу, а верхня — на копрі. Фрикційний захват утримує палю через поліспаст на тросі у будь-якому заданому положенні. Фрикційний захват, рис. 2.69, складається з двох колодок 3, з'єднаних між собою тягами 5. При натягненні тросу зусилля через блок та тягу 1 діє на важіль 2, що призводить до затискання палі 4 колодками 3. При необхідності опустити палю електродвигун приводу лебідки включають на обертання в зворотному напрямку, і паля починає опускатися. Коли захват сяде на нижню напрямну обойму і трос ослабне, колодки захвату розімкнуться, і паля отримає можливість вільно падати під дією власної ваги.

Палі з *примусовим опусканням*, рис. 2.68 г, відрізняються від інших тим, що їх заглиблення в ґрунт відбувається не тільки під дією їхньої ваги, але і під впливом натягу троса. Такий пристрій дозволяє істотно знизити власну вагу паль; його застосовують для снарядів, розрахованих для роботи на малих глибинах (до 6 м для середніх і до 8 м для великих землесосних снарядів).

Як уже зазначалося вище, при розробці важких ґрунтів доцільне застосування напірного пальового ходу. Приклад конструкції такого механізму наведено на рис 2.70. Напрявні обойми 6 і 10 палі 8 закріплені на рухомому копрі 5, який змонтовано на візку 2, що за допо-

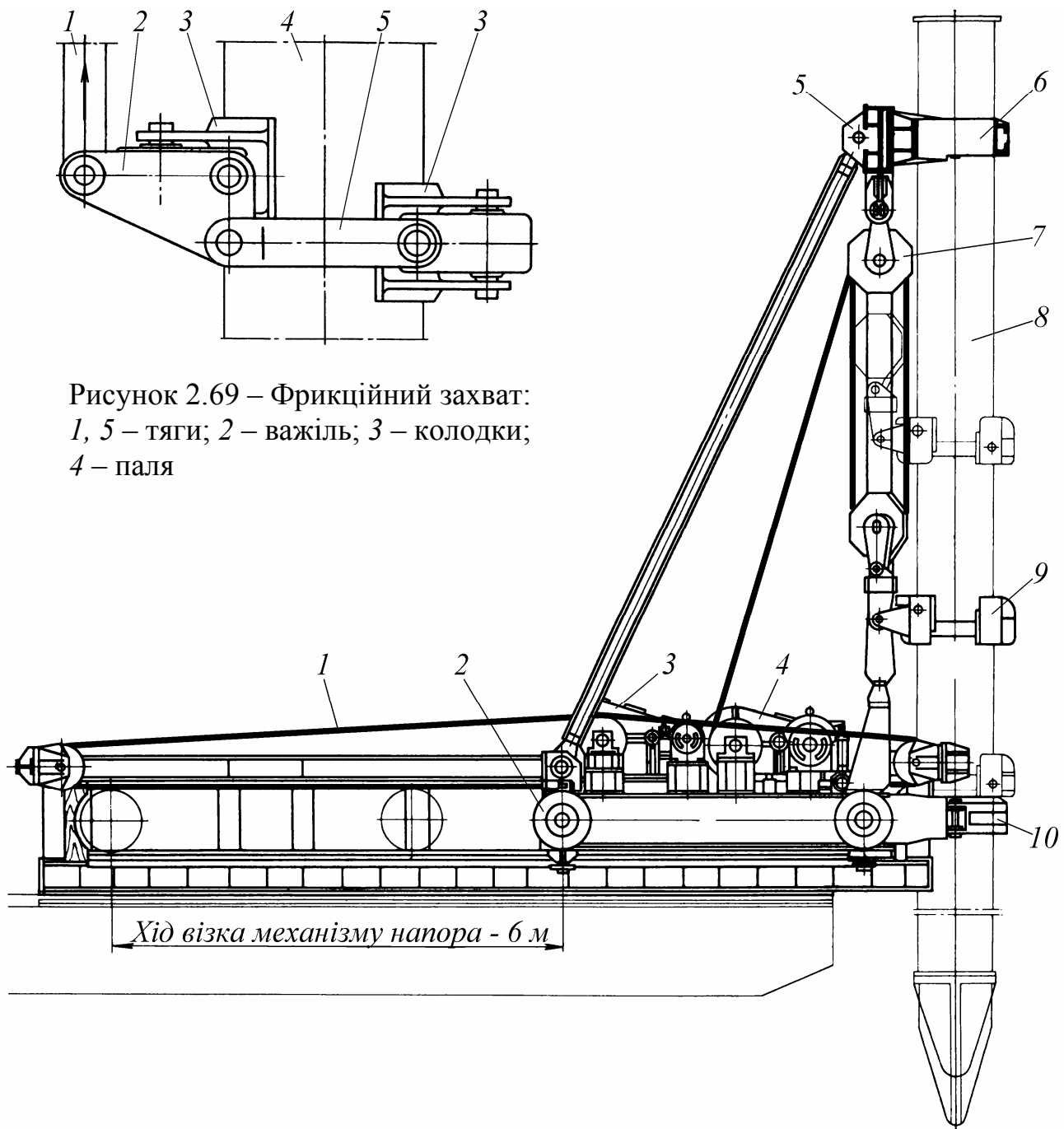


Рисунок 2.69 – Фрикційний захват:
1, 5 – тяги; 2 – важіль; 3 – колодки;
4 – паля

Рисунок 2.70 – Апарат напірного пальового ходу: 1 – тросова система; 2 – візок; 3 – лебідка напірного ходу; 4 – палепідйомна лебідка; 5 – копер; 6, 10 – верхня та нижня напрямні; 7 – поліспаст; 8 – паля; 9 – фрикційний захват

могою спеціального тросового механізму може пересуватися у відповідному прорізі корпусу.

Іноді подача напірної палі здійснюється гвинтовою або кремальєрною парою. У світовій практиці для керування папільонажними палями (підйом, опускання, пересування копрів напірних паль) усе частіше застосовують гідравлічні приводи.

2.4.7 Технологія розробки родовищ землесосними снарядами

Земснаряди можуть бути використані для виїмки порід при наявності *водойм*, що забезпечують можливість їхнього переміщення. Найбільш ефективно земснаряди використовуються при заводненні уступів. Способи розкриття родовищ для розробки їх земснарядями наведені у п. 1.3.1. Якщо родовище не є заводненим, для розробки його землесосним снарядом створюється *початковий котлован*. Початкове заводнювання може здійснюватися самопливною подачею води по зовнішній траншеї, що розкриває, а також подачею води з зовнішнього джерела насосами та її накопиченням за рахунок припливу ґрунтових і поверхневих вод. Можлива також комбінація цих способів.

Подачу води для підживлення котловану здійснюють з іншої водойми насосами або самопливом. Після заводнення вибою земснаряд поглиблює початковий котлован до необхідної позначки і починає планомірну виїмку породи.

Якщо котлован нижче рівня ґрунтових вод, то кількість води, що надходить у котлован за рахунок фільтрації за добу, складає

$$Q_v = k_{\phi} \frac{H_b^2 - h^2}{R} L_{\phi} \quad (2.72)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації; H_b – товщина водоносного шару до рівня дна котловану; h – глибина води в котловані при відкачці; R – радіус депресійної воронки, табл. 2.20; L_{ϕ} – довжина фронту робіт.

Якщо дно котловану вище рівня ґрунтових вод, то замість припливу води в котлован вона буде убувати від фільтрації в ґрунт, що необхідно враховувати при доборі насосних станцій.

Фронт робіт земснаряда в початковий період розробки може створюватися не тільки початковим котлованом, але й проходкою спеціальних розрізних траншей безпосередньо від джерела води, звичайно від ріки.

Таблиця 2.20 – Параметри фільтрації води у котлован

Породи водоносного шару	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	Радіус депресійної воронки, м
Галькові породи	500 ... 900	400 ... 600
Крупний пісок	100 ... 400	200 ... 400
Пісок середньої крупності	40 ... 100	100 ... 200
Дрібний пісок	10 ... 40	50 ... 100

Розміри початкового котловану задаються з умови розміщення в ньому землесосного снаряда з декількома секціями плавучого пульповоду. В окремих проектах ці розміри приймалися в межах трикратної ширини і двократної довжини земснаряда з мінімальною кількістю секцій плавучого пульповоду, а також з врахуванням кута укосу котловану, що залежить від характеристики порід. Інститутом Проектгідромеханізація рекомендуються розміри початкових котлованів для земснарядів, наведені в табл.1.9. Закладення укосів при розробці земснарядами приймається за табл. 2.21.

При необхідності розміщення в котловані декількох земснарядів різної потужності спочатку вводиться в роботу менш потужний земснаряд, який надалі розширює котлован до розмірів, достатніх для роботи земснарядів більшої продуктивності. В окремих випадках буває доцільно на проходці початкових котлованів застосовувати спеціальні земснаряди малої продуктивності.

Основний обсяг земснарядної виїмки приходить на кар'єри, де земснарядами виймається один або група уступів. Такі кар'єри називаються підводними. Уступ підводного кар'єру може мати *надводну* і *підводну* частини, рис. 2.71.

При визначенні висоти уступу враховують характеристику порід, які розробляються, тип земснаряда, характер обвалення уступу і прийнятий порядок виїмки. Використання земснарядів можливе при глибині води, що забезпечує стійкість процесу усмоктування. Для забезпечення нормативної продуктивності земснарядів висота їхнього вибою має бути не менше значень, наведених у табл. 2.22. Уступи великої висоти в багатьох випадках більш доцільні, оскільки вони дозволяють розробити велику кількість породи з одного положення земснаряда. Висота підводної частини уступу досягає 15 м і більше. Високі уступи розробляють шарами, рис. 2.72. Нижній шар у цьому випадку буде вийматися при зниженій продуктивності.

Гранична висота підводної частини уступу залежить від конструкції земснаряда і його усмоктувального пристрою. Максимальна допустима висота надводної частини уступу також залежить від конструкції земснаряда і визначається з умови допустимого навантаження на раму земснаряда при обваленні уступу.

На кар'єрах, де нижні уступи відпрацьовуються звичайними засобами механізації, наприклад екскаваторами з автотранспортом, земснаряди на розташованих вище уступах працюють у котлованах, що випереджають, рис. 2.73. Випередження роботи земснарядів зале-

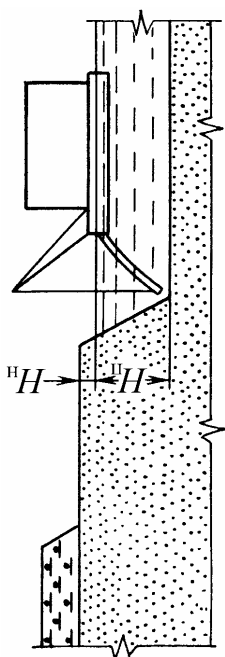


Рисунок 2.71 – Схема розробки уступу земснарядом

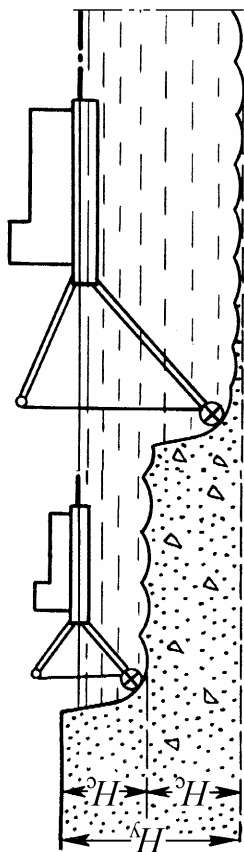


Рисунок 2.72 – Схема багатоступової розробки уступу земснарядом

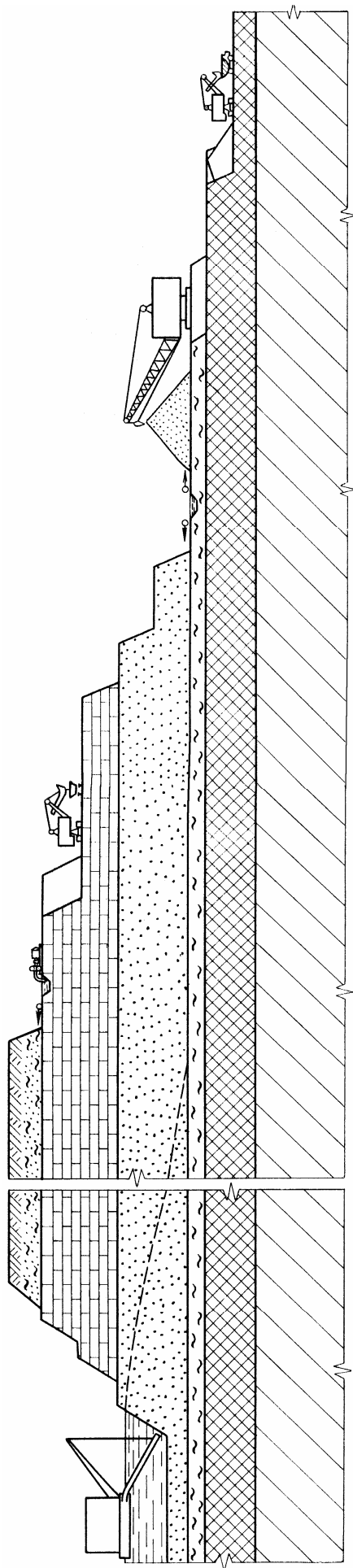


Рисунок 2.73 – Схема гідравлічної розробки порід з використанням земснаряда у котловані, що випереджує

Таблиця 2.21 - Характеристики укосів

Породи	Укоси	
	у стоячій воді	при наявності течії
Пісчано-гравелісті	1:1,5 ... 1:2,0	1:2,0 ... 1:2,5
Дрібно- і середньозернисті піски	1:3,0 ... 1:3,5	1:4,0 ... 1:6,0
Тонкозернисті піски	1:3,0 ... 1:3,5	1:4,0 ... 1:6,0

Таблиця 2.22 – Оптимальна ширина заходки та розміри уступу

Продуктивність земснаряда по воді, м ³ /год	Оптимальна ширина заходки, м	Мінімальна висота уступу, м	Мінімальна висота підводної частини уступу, м
До 1200	20	2,4	1,5
1200 ... 2200	26	3,2	2,5
2200 ... 4000	35	4,8	3,5
Більше 4000	40	6,4	5

жить від рівня води в котловані, властивостей порід і глибини кар'єру. Випередження має бути таким, щоб депресійна крива фільтраційного потоку при остаточному положенні робіт у котловані перетиналася з нижньою брівкою укосу останнього по глибині уступу. Якщо прогнози показують можливість фільтрації води в кар'єр, то необхідно приймати міри для водозниження. Відомі технологічні рішення на обводнених родовищах, де земснаряди при виїмці порід одночасно роблять водозниження рівня ґрунтових вод, створюючи умови для застосування екскаваторів.

Якщо надводна частина уступу перевищує максимально допустиму, висота уступу знижується. Для цього використовується гідромоніторний розмив. Гідромонітор встановлюється на понтоні земснаряда або на окремому понтоні, рис. 2.74. Змита порода надходить у вибій земснаряда і транспортується землесосом на відвал.

Можливі наступні *схеми виїмки* пластів корисних копалин. При наявності однорідного пласта копалини невеликої потужності розробка ведеться *горизонтальними стружками* по всій ширині заходки, рис. 2.75. *а, б*. Така схема передбачає переключення пульповоду тільки при переході з одного блоку на інший і дозволяє відпрацювати горизонтальні прошарки непродуктивних порід. При наявності потужного пласта корисної копалини доцільною є розробка *вертикальними стружками*, рис. 2.75. *в*, яка спрощує керування земснарядом, оскільки робочий хід виконується шляхом опускання рами ґрунтозабірного пристрою, а снаряд при цьому залишається на місці.

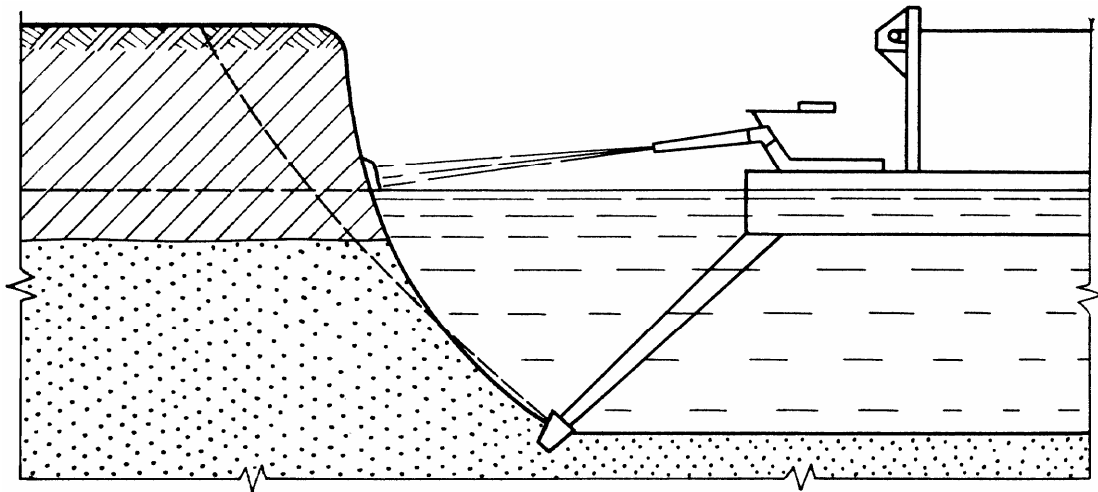


Рисунок 2.74 – Схема розробки порід земснарядом при пониженні надводної частини уступу гідромонітором

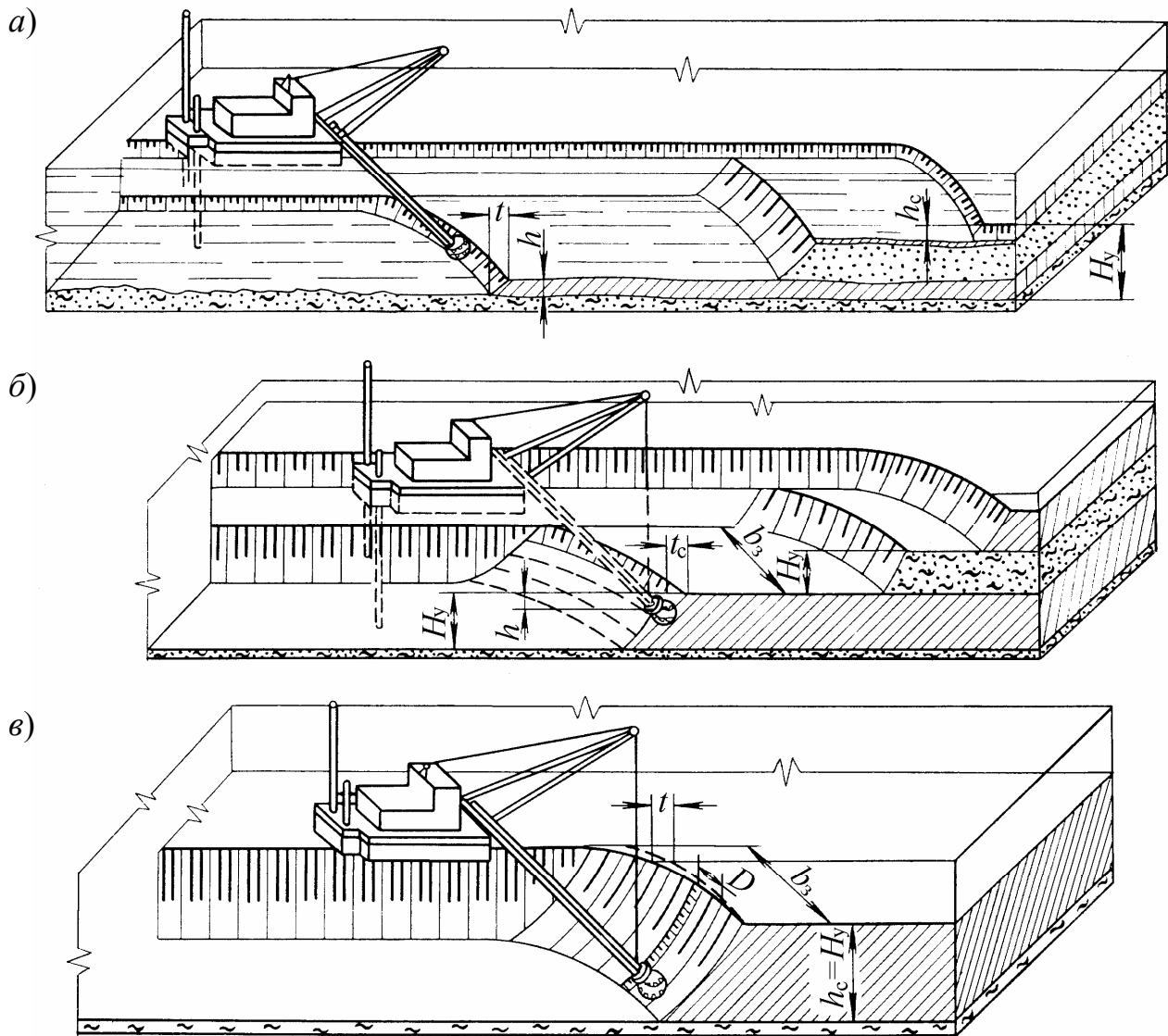


Рисунок 2.75 – Схеми селективної розробки складноструктурного родовища: горизонтальними стружками при малій (а) та середній (б) потужності пласта; вертикальними стружками при потужному пласті (в)

Процес розробки порід земснарядами включає наступні *роботи*:

- виймання гірської маси у вибої та транспортування її до місця укладання або збагачення;
- рух земснаряда у вибої з метою забезпечення потрібної повноти виїмки;
- нарощування й укорочування плавучого пульповоду, підключення його до магістрального пульповоду, зміна його довжини, відновлення переходів, трапів, огорожень;
- проведення необхідного в період експлуатації ремонту устаткування і трубопроводів;
- прийом і укладання порід у відвал.

При розробці порід земснарядом обладнання розташовується за схемою, яку показано на рис. 2.76.

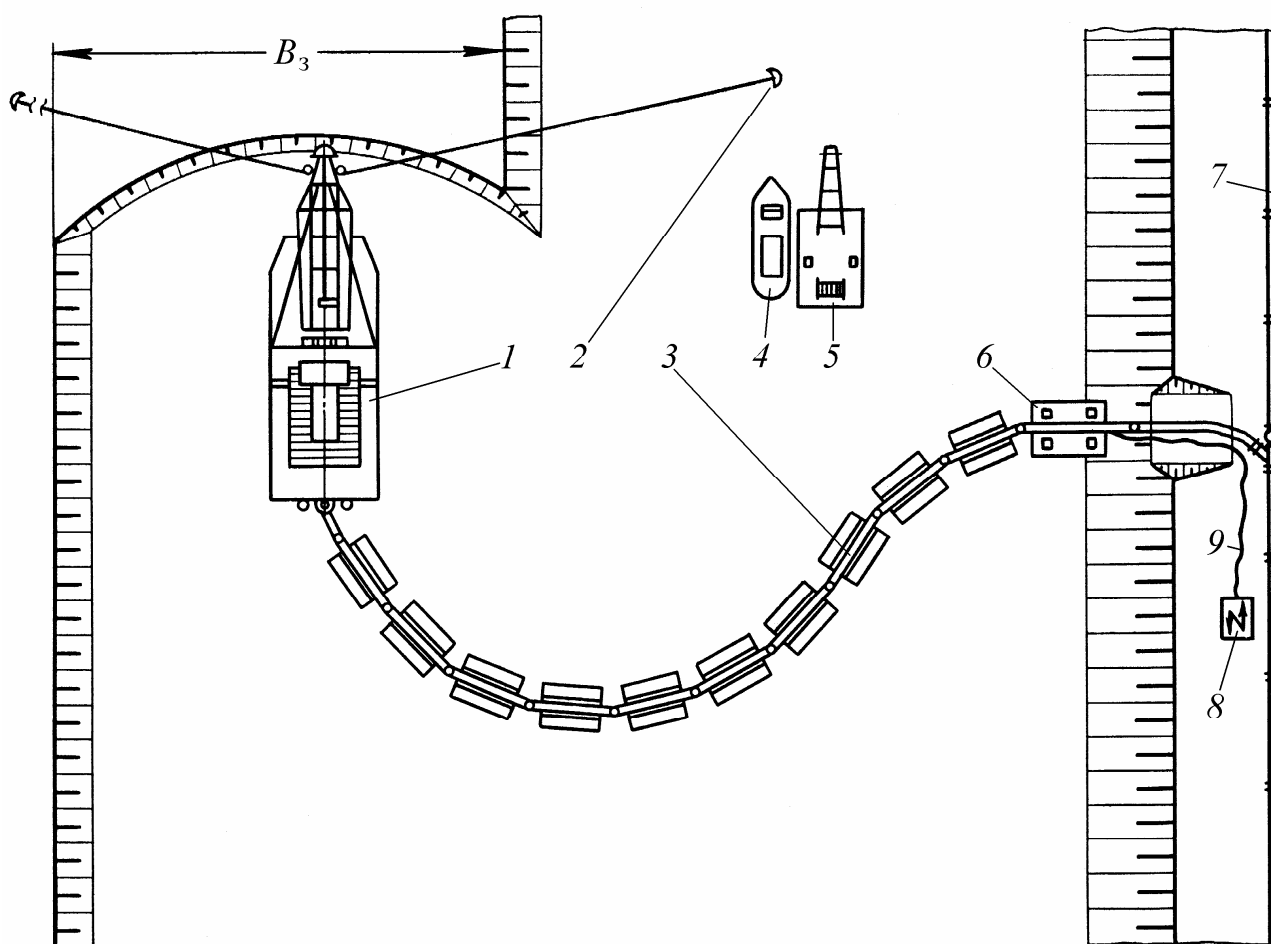


Рисунок 2.76 – Схема розташування обладнання при розробці порід земснарядом: 1 – земснаряд; 2 – якір; 3 – плавучий пульпопровід; 4 – катер; 5 – кран; 6 – берегове приєднання; 7 – береговий пульпопровід; 8 – комірка підключення кабелю; 9 – кабель

Ширина заходки та розміри блока приймаються з урахуванням таких же чинників, які впливають на вибір висоти уступу. Вони залежать також від прийнятої послідовності розробки і швидкості річного просування. На Зирянівському рудному кар'єрі ширина блока для земснаряда 500-60 дорівнює 45 ... 50 м, для ряду піщано-гравійних кар'єрів при застосуванні земснарядів 300-40 вона досягає 50 ... 60 м. Так, наприклад, для Каунаського піщаного кар'єру вона дорівнює довжині кар'єрного поля — 400 м. Для піщано-гравійних кар'єрів із земснарядями 100-40 довжина блока приймається рівною 100 ... 150 м. Ширина прорізу (заходки), яка забезпечує оптимальне папільонування, наведена у табл. 2.22.

Технічна продуктивність земснаряда

$$Q_T = \frac{Q_{\text{п}}}{q + 1 - m} k_3, \quad (2.73)$$

де $Q_{\text{п}}$ – продуктивність землесоса по пульпі; q – питома витрата води на розробку і транспортування породи, табл. 2.23.; m – пористість порід; k_3 – коефіцієнт зменшення технічної продуктивності земснаряда при великій висоті уступу; $k_3 = 0,9$.

Таблиця 2.23 – Питома витрата води на розробку порід земснарядями

Категорія породи	1	2	3	4	5	6
Витрата води на розробку і транспортування 1 м ³ породи, м ³	8	10	12	14	17	21

При роботі землесосного снаряда в комплексі з перекачувальними станціями, технічна продуктивність снаряда знижується:

$$Q'_T = Q_T \alpha^i, \quad (2.74)$$

де i – кількість перекачувальних станцій; α – зниження продуктивності через одну станцію; $\alpha = 0,95$.

Річна продуктивність земснаряда:

$$Q_p = Q_T T_p k_v, \quad (2.75)$$

де T_p – річний фонд робочого часу; k_v – коефіцієнт використання земснаряда за часом, табл.2.24.

При проектуванні відпрацювання окремих ділянок за допомогою земснарядів необхідно враховувати, що при їхньому переміщенні ланки плавучого пульповоду можуть повертатися на визначений кут, табл.2.25.

Виймання породи здійснюється при папільонуванні у межах заходки. З метою виключення розробки земснарядом непродуктивних порід, що підстилають, при вийманні пласта у підшві залишають недобір, величина якого залежить від продуктивності земснаряда. За будівельними нормативами недобори породи до проектних оцінок для умов кар'єрів наведені в таблиці 2.26.

Таблиця 2.24 – Коефіцієнт використання земснарядів

Характеристика умов роботи	Коефіцієнт використання
При видобуванні піску (піщано-гравійної суміші) зі вмістом гравію:	
до 5 %	0,70
від 5 до 20 %	0,65
від 20 до 40 %	0,60
від 40 до 60 %	0,55
При видобуванні розкритих порід	0,75 ... 0,85

Таблиця 2.25 – Найбільші кути повороту ланок плавучого пульповоду і найменша ширина траншеї, що розробляється

Показники	Тип землесосного снаряда			
	100-35	300-40	500-60	1000-80
Найбільший кут повороту ланок плавучого пульповоду, град	25	18	18	18
Найменша ширина траншеї без розвороту бухти плавучого пульповоду, м	25	30	30	40
Те ж, при розвороті пульповоду з одиночними кульовими з'єднаннями, м	—	48	72	72

Таблиця 2.26 – Величина недобору порід

Продуктивність земснаряда по воді, м ³ /год	Недобір, м
До 1200	0,3
1200 ... 2200	0,5
2200 ... 4000	0,8
4000 ... 7500	1,0
Більше 7500	1,5

Питання для самоперевірки.

1. Назвіть переваги та недоліки гідромоніторної розробки.
2. Як класифікують водяні струмені?
3. Які зони та ділянки виділяють у струмені? Їхні властивості.
4. З яких елементів складається гідромонітор?
5. Назвіть призначення та принцип дії заспокоювача потоку.
6. Від чого залежить осьовий динамічний тиск струменя?
7. Від чого залежить довжина початкової ділянки струменя?
8. Як визначається середній динамічний тиск струменя?
9. Як визначається сила удару струменя об перешкоду?
10. Як визначаються параметри затопленого струменя?
11. Що таке воронка граничного розмиву затопленим струменем? Як визначаються її параметри?
12. За якими принципами організуються роботи з гідромоніторного розмиву порід?
13. Назвіть схеми гідромоніторного розмиву порід, їхні переваги та недоліки.
14. Чим визначається мінімальна відстань гідромонітора від уступу?
15. Як класифікують види обвалень уступів?
16. Як класифікують гідромонітори?
17. Які особливості мають гідромонітори для підземних робіт?
18. Назвіть призначення, принцип дії та порядок виїмки вугілля гідромоніторними агрегатами АГС та ГВД.
19. Для чого застосовуються механогідравлічні комбайни?
20. Назвіть типи гідроімпульсних машин.
21. Які переваги мають гідроімпульсні машини?
22. Поясніть фізичний принцип розробки порід усмоктуванням? Як визначають параметри розробки усмоктуванням?
23. За якими ознаками і як класифікують землесосні снаряди?
24. З яких елементів складається землесосний снаряд?
25. Назвіть призначення та основні типи ґрунтозабірних пристроїв землесосних снарядів.
26. Які вимоги висувають до фрезерних та інших розпушувачів?
27. Які типи фрез застосовують на землесосних снарядах?
28. Для чого призначені ежекторні ґрунтозабірні наконечники? Поясніть принцип їхньої дії.
29. Назвіть види та способи папільонування.
30. Які схеми застосовують при виїмці пластів земснарядями?

3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1 Загальні відомості. Схеми водопостачання

Водопостачання гідромеханізованих гірничих підприємств — це комплекс споруджень, устаткування і комунікацій, що забезпечують енергетичною водою вибої для розмиву, відбійки і транспортування гірської маси. У цей комплекс входять *насосна станція, джерело водопостачання, система трубопроводів, водоприймачі* (гідромонітори, механогідравлічні машини, комбайни, гідровентилятори і т.д.). Водопостачання зв'язане із системами гідротранспорту, гідропідйому, зневоднювання гідросуміші й прояснення шламової води.

Водопостачання може бути *прямим* або з *кругообігом води*. При **прямому водопостачанні** вода використовується один раз. Відпрацьована технологічна вода прояснюється та очищується від забруднень, після чого скидається у природні водойми або використовується у інших цілях.

Значно ефективнішим є технологічне водопостачання з **кругообігом води по замкнутому циклі**, що передбачає багаторазове використання води. При цьому основний цикл її обороту відбувається між резервуарами технологічної води, насосною станцією, вибоями гірничих вироблень, пульпозбірником, землесосною (вуглесосною) станцією, збагачувальною фабрикою, гідровідвалами і відстійником — прояснювачем води. Місткість резервуарів технологічної води визначається потужністю водоспоживачів і не повинна бути менше двогодинної витрати води при повному навантаженні головних насосів.

Водопостачання здійснюється **самопливним, напірним і комбінованим** способами. У першому випадку вода по трубах, канавам або лоткам рухається завдяки гравітації, що можливе лише при відповідному рельєфі місцевості. *Напірне водопостачання* потребує затрат енергії та здійснюється насосами (переважно відцентровими). При *комбінованому водопостачанні* спочатку здійснюється самопливний транспорт води у резервуар, звідки насосами вода подається до вибоїв, або ж навпаки, вода насосами транспортується у резервуар, який розташовано на значній висоті. Від такого резервуару вода розводиться до споживачів по трубах з достатнім напором, який створюється через різницю висот.

3.1.1 Водопостачання при гідромеханізації відкритих робіт

Водопостачання гідроустановок при відкритих роботах може бути як *прямим*, так і з *кругообігом* води. Джерелами води звичайно є ріки, струмки, озера, які розташовані поблизу від місця ведення робіт. При недостатньому дебіті вододжерела влаштовують *водоймища*, які утримують весняні або зливові води. Іноді для таких цілей використовують ґрунтові й артезіанські води, а також води шахтного водовідливу.

У випадку, якщо дебіт вододжерела перевищує споживання води гідроустановками, можливе застосування **прямого водопостачання**. Приклад схеми прямого водопостачання з двоступінчастою *напірною* подачею води наведено на рис. 3.1. Вода забирається з джерела (ріки) *1* насосною станцією першого підйому *2*, та по трубопроводу *3* транспортується до другої насосної станції *4*, яка забезпечує тиск, необхідний для роботи гідромоніторів *5*. Пульпа, яка утворюється під час руйнування породи гідромоніторами, землесосною установкою *6* по пульпопроводу *7* транспортується на гідровідвал *8*.

Якщо дозволяє рельєф місцевості, можливе застосування *комбінованої схеми* подачі води: від джерела вода спеціально проритим каналом підводиться безпосередньо до насосної станції *4*, яка подає воду до гідромоніторів.

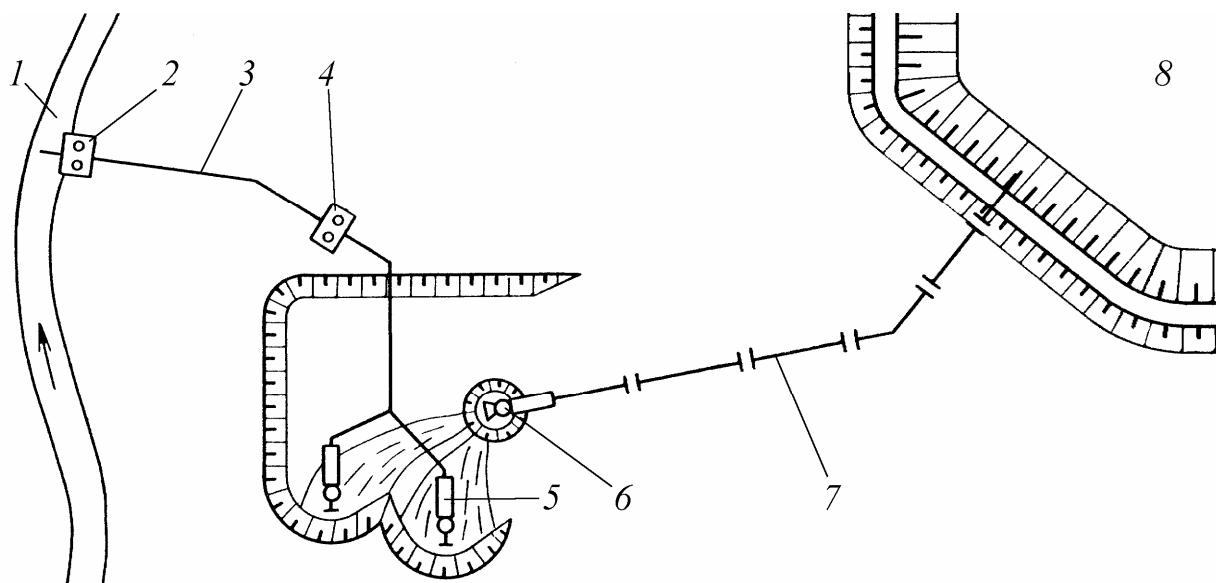


Рисунок 3.1 – Приклад схеми прямого водопостачання: *1* – ріка; *2* – насосна станція першого підйому; *3* – водопровід; *4* – насосна станція другого підйому; *5* – гідромонітори; *6* – землесосна установка; *7* – пульпопровід; *8* – гідровідвал

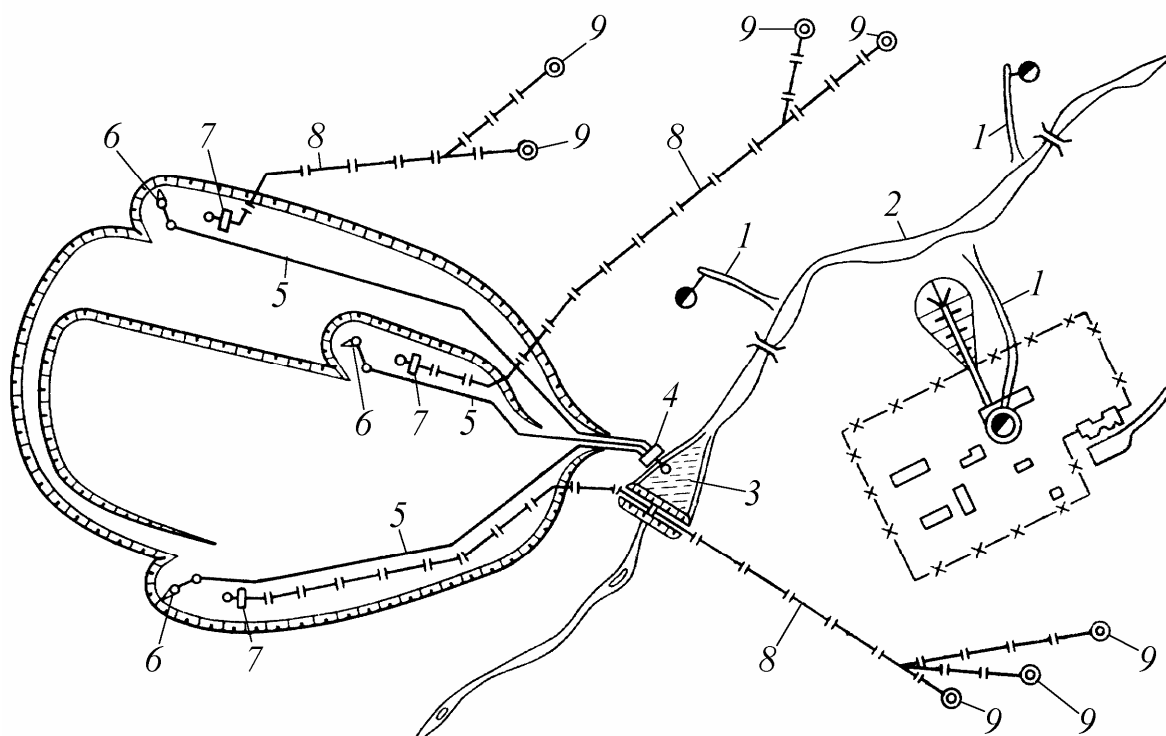


Рисунок 3.2 – Схема водопостачання гідроустановок з використанням шахтного водовідливу: 1 – шахтний водовідлив; 2 – русло, що підводить; 3 – водонакопичувач; 4 – насосна станція; 5 – водопроводи; 6 – гідромонітори; 7 – землесосні установки; 8 – пульпопроводи; 9 – свердловини

У випадку, коли джерело знаходиться значно вище робочої площадки уступу, доцільно застосовувати *самопливну подачу* води, яка повністю виключає використання насосів і тому є найбільш дешевою та надійною. Вода по канаві або лоткам подається самопливом у бак або водоймище, яке розташоване на необхідному узвишші. Далі вода по трубах підводиться до гідромоніторів.

Необхідне перевищення рівня води у водоймищі над робочою площиною уступу в кар'єрі має бути не меншим ніж

$$H_r = H_m + \Sigma H_v, \quad (3.1)$$

де H_r – перевищення геодезичної висоти рівня води у водоймищі над робочою площиною уступу; H_m – робочий напір гідромонітора; ΣH_v – сумарні втрати напору в трубопроводі.

На рис. 3.2 наведено приклад водопостачання з використанням шахтного водовідливу.

Основними недоліками схеми прямого водопостачання є великий обсяг споживання води з джерела та проблеми утилізації відпрацьованої забрудненої води, яка потребує очищення. Для зменшення скидання відпрацьованої води на гірничих підприємствах застосо-

вують схеми водопостачання з **кругообігом води**. У цьому випадку зовнішнє вододжерело поповнює тільки утрати води у вибої, водовідвідних канавах, відвалах, при випарі у водоймах і фільтрації у водоймищі.

Резервуаром оборотної води звичайно є ставочок гідровідвалу. При розташуванні гідровідвалу у руслі річки або струмка 1, рис. 3.3, підживлення здійснюється постійно завдяки притоку джерела. Вода забирається з водоймища 2 плавучою насосною станцією 4 і трубопроводом 3 подається до гідромоніторів 6. Пульпа від землесосних станцій 7 пульпопроводами 8 подається до гідровідвала 5, де ґрунт відділяється від води, і вода повертається до водоймища 2.

При розташуванні гідровідвалу на рівнинній місцевості, рис. 3.4, підживлення здійснюється періодично за допомогою насосної станції 3, яка подає воду до водоймища-відстійника 11 з віддаленого джерела 1. У наведеній схемі поряд з гідровідвалом влаштовано водоймище-відстійник 11, з якого вода каналом 12 рухається до насосної станції 5. Подальший рух води здійснюється аналогічно попередній схемі. Зі ставочка гідровідвалу 9 вода водоскидними колодязями 13 та трубами 14 подається до відстійника 11.

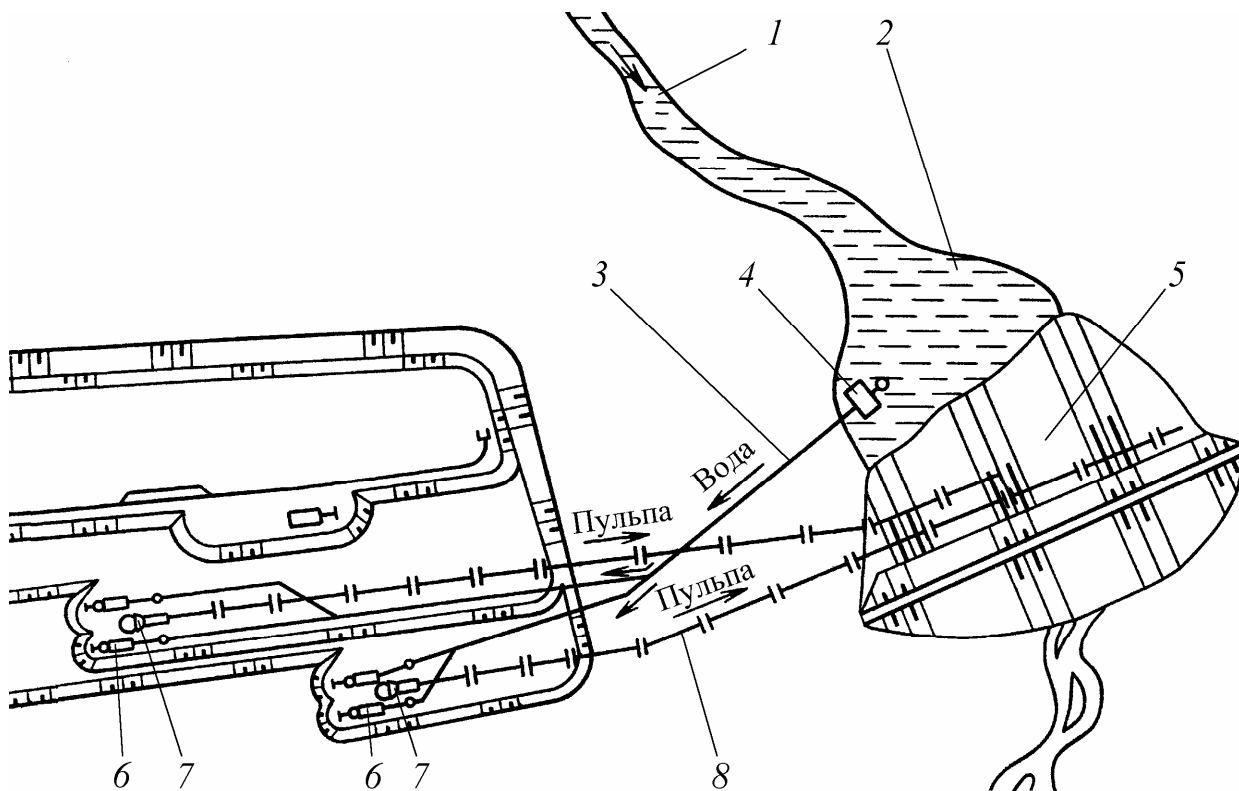


Рисунок 3.3 – Водопостачання гідроустановок з кругообігом води:
1 – струмок; 2 – водоймище; 3 – водопровід; 4 – насосна станція; 5 – гідровідвал; 6 – гідромонітори; 7 – землесосні установки; 8 – пульпопровід

Спосіб водопостачання вибирається в кожному окремому випадку в залежності від наявності води і її витрати. Продуктивність системи водопостачання, необхідна для провадження робіт

$$Q_p = Q_T q, \quad (3.2)$$

де Q_T – продуктивність кар'єру по породі

$$Q_T = \frac{W_p}{t_1 t_2 t_3 k_b}; \quad (3.3)$$

W_p – річний видобуток; t_1 – число робочих діб у році; t_2 – число робочих змін за добу; t_3 – число робочих годин у зміні; k_b – коефіцієнт використання гідроустановок за часом; q – питома витрата води на розмив і транспортування породи, див. табл. 1.4 та 2.8.

При застосуванні схеми водопостачання з кругообігом води, витрата води на підживлення дорівнює сумарній утраті води на всіх ланках технологічного процесу: у вибої, у каналах, у відвалах та у водоймищі.

Утрати води у вибої складаються з утрат через фільтрацію у дно вибою і унесення води вітром. Фільтраційні утрати води на нижній площадці уступу при наявності припливу ґрунтових вод звичайно не враховуються. У деяких випадках приплив ґрунтових вод служить додатковим джерелом водопостачання.

Утрати води на відвалах зумовлені залишковою вологоємністю покладеної породи, фільтрацією через дно та стінки відвалів, випаровуванням з поверхні відстійника. Утрати залишкової води в порах породи

$$Q_{y.z} = Q_T (m - w), \quad (3.4)$$

де m – пористість породи; w – природна вологість породи.

Утрати води у підвідних каналах з ґрунтовими руслами

$$Q_{y.k} = 1,9 \cdot 10^{-5} Q_k^{0,6} l_k, \quad (3.5)$$

де Q_k – витрата води по каналу; l_k – довжина каналу.

Утрати води у водоймищі через випаровування з поверхні та за рахунок фільтрації через тіло греблі, під греблею й в обхід неї частково компенсуються атмосферними опадами

$$Q_{y.b} = \frac{(E + I - x)F}{T}, \quad (3.6)$$

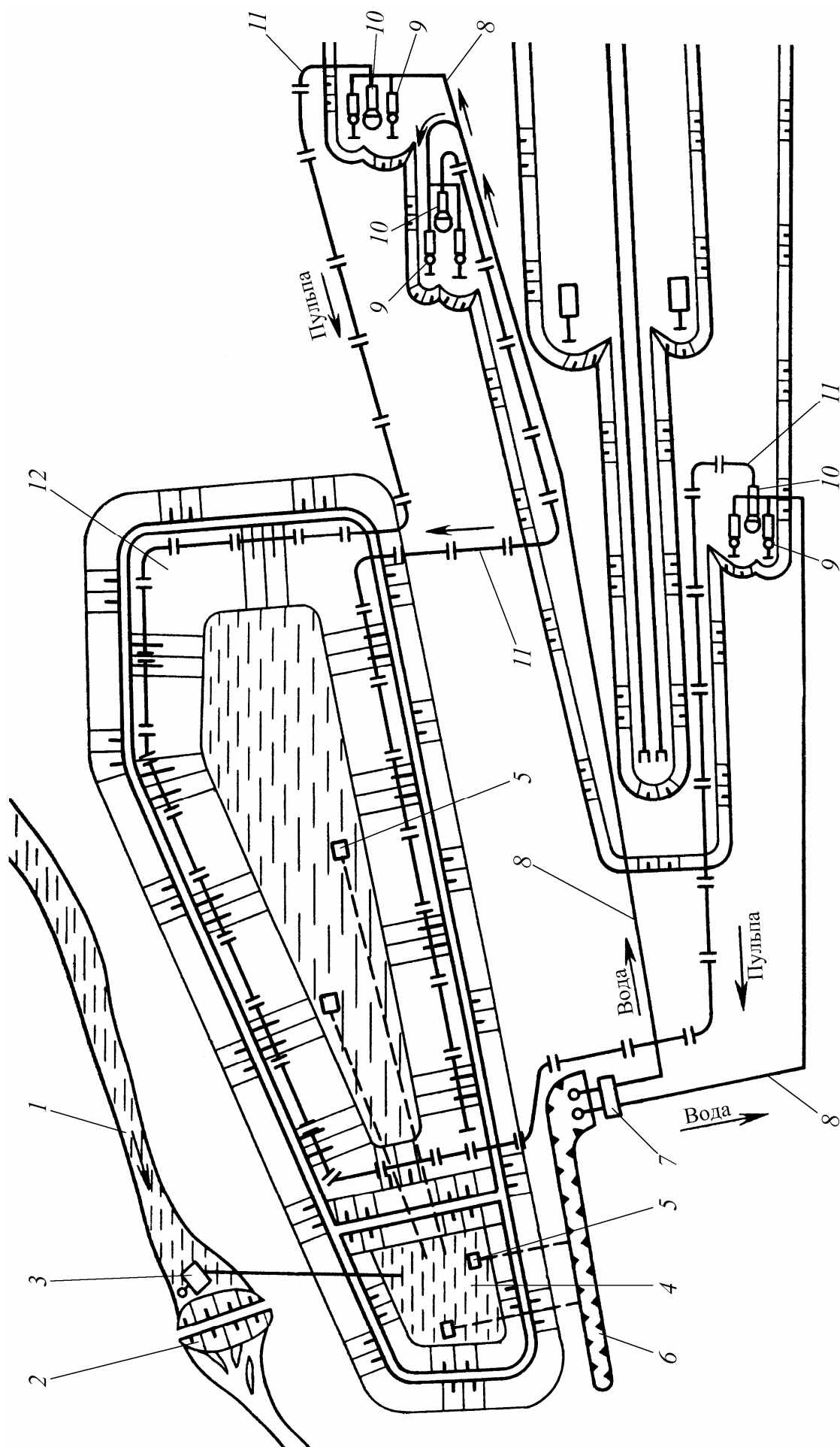


Рисунок 3.4 – Водопостачання гідроустановок з кругообігом води і періодичним підживленням: 1 – річка (струмок); 2 – гребля; 3 – підживлювальна насосна станція; 4 – відстійник; 5 – водоскидні колодязі; 6 – канал; 7 – насосна станція; 8 – напірні трубопроводи; 9 – гідромонітори; 10 – землесосні установки; 11 – пульпопроводи; 12 – гідровідвал

де E – шар утрат на випаровування з водної поверхні; I – шар утрат на фільтрацію; x – шар атмосферних опадів за розрахунковий період; F – площа дзеркала водосховища; T – розрахунковий період часу.

Шар утрат на випаровування з водної поверхні визначається як сума місячних утрат

$$E = \sum E_m; \quad E_m = R d_b (15 + 3v_{\text{п}}), \quad (3.7)$$

де E_m – шар випаровування в міліметрах за місяць (30 діб); d_b – середньомісячний дефіцит вологості, мм; R – коефіцієнт, що залежить від дефіциту вологості, табл. 3.1; $v_{\text{п}}$ – середня швидкість вітру за місяць на висоті 10 м, м/с.

Значення x , d_b і $v_{\text{п}}$ приймають за даними метеорологічних станцій. Орієнтовні значення утрат води у водоймищі за рахунок фільтрації приведені в табл. 3.2.

Для попередніх розрахунків загальні утрати води приймають рівними

$$Q_y = p Q_p, \quad (3.8)$$

де p – питомі втрати води при кругообігу, які складають при розробці піщаних порід — до 0,10; при розробці глинистих порід — 0,15 ... 0,20.

Таким чином, при водопостачанні з кругообігом води дебіт основного вододжерела має забезпечувати не більше ніж 15...20 % необхідної робочої витрати води.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта R в залежності від дефіциту вологості d_b

d_b , мм	15	10	8	6	5	4	3	2	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1
R	0,52	0,57	0,60	0,65	0,70	0,76	0,84	0,95	1,00	1,09	1,20	1,25	1,30	1,40

Таблиця 3.2 – Річні утрати води у водоймищі за рахунок фільтрації

Характеристика порід ложа водоймища	Шар води, м/рік	Доля від об'єму водоймища за рік
Водонепроникні ґрунти, близькі ґрунтові води	0,5	0,05 ... 0,10
Ґрунти середньої водопроникності	0,5 ... 1,0	0,10 ... 0,20
Водопроникні неводоносні породи	1,0 ... 2,0	0,20 ... 0,40

3.1.2 Водопостачання при гідромеханізації підземних робіт.

Гідрошахти постачають технологічною водою від сторонніх джерел — рік і штучних водойм. Використовується також шахтна вода з гірничих виробок. Технологічне водопостачання здійснюється головним чином по замкнутому циклі, що передбачає багаторазове використання води. При цьому основний цикл її обороту відбувається між резервуаром технологічної води, насосною станцією, вибоями гірничих виробок, пульпозбірником, вуглесосною станцією, збагачувальною фабрикою і відстійниками вугілля на поверхні. Місткість резервуарів технологічної води визначається потужністю водоспоживачів (максимальною витратою води при виконанні технологічних процесів) і не повинна бути менше двогодинної витрати води при повному навантаженні головних насосів. Поповнення води для компенсації утрати її в системі робиться з природної водойми або за рахунок шахтного припливу.

Звичайно передбачаються дві незалежні циркуляційні схеми водопостачання: *високонапірна* і *низьконапірна*. Високонапірна вода використовується для гідровідбійки вугілля. Низьконапірна вода служить для змиву вугілля у вибоях і транспортування його по підземних виробленнях, для промивання трубопроводів і живлення установок на збагачувальних фабриках.

На гідрошахтах для виконання всіх гірських і транспортних робіт технологічного циклу витрачається 12 ... 25 м³ технологічної води на 1 т видобутого вугілля. Продуктивність насосної станції визначається з розрахунку годинної витрати усіх водоспоживачів, що знаходяться в одночасній роботі. Для використання геометричного напору (різниці висот) для збільшення тиску високонапірної води насосні станції звичайно розміщують на поверхні. Робочий напір гідромоніторів складає

$$H_{\text{м}} = H_{\text{н}} + H_{\text{г}} - \Sigma H_{\text{в}}, \quad (3.9)$$

де $H_{\text{н}}$ — напір, який створюється насосною станцією на поверхні; $H_{\text{г}}$ — горизонт розташування вибою; $\Sigma H_{\text{в}}$ — сумарні втрати напору в трубопроводі.

На гідрошахтах застосовують одну з двох схем водопостачання, зображених на рис. 3.5.

Схема рис. 3.5 *а* передбачає централізоване постачання водою всіх шахтних водоприймачів при розташуванні високонапірної насосної станції на поверхні шахти.

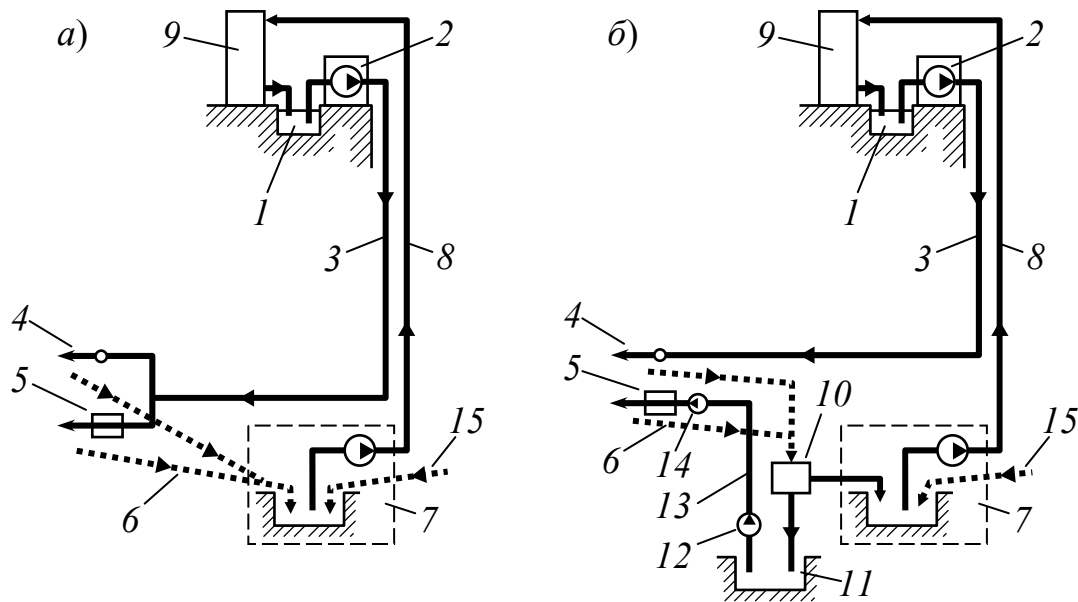


Рисунок 3.5 – Схеми водопостачання гідрошахт з центрально-замкненим циклом (а) та зі змішаним водопостачанням (б): 1 – резервуар оборотної води; 2 – поверхнева високонапірна насосна станція; 3 – високонапірний трубопровід; 4 – гідромонітор; 5 – механогідравлічний комбайн; 6 – самопливний гідротранспорт; 7 – центральна камера гідропідйому; 8 – пульпопровід; 9 – збагачувальна фабрика; 10 – згущувач гідросуміші; 11 – водозбірник-прояснювач; 12 – низьконапірний насос; 13 – трубопровід низького тиску; 14 – місцевий підвищувач тиску; 15 – шахтний приплив води

Схема рис. 3.5 б має дві системи водопостачання: одна з них аналогічна першій схемі і забезпечує тільки ті водоприймачі, що споживають високонапірну воду. Друга система включає насосну станцію, що знаходиться в шахті в районі центральної камери гідропідйому. Ця станція відбирає з аварійних водозбірників частину проясненої технічної води і по самостійній системі трубопроводів направляє її у вибої до споживачів низьконапірної води (2 ... 3 МПа). Така схема водопостачання забезпечує значне зменшення витрати електроенергії, оскільки, по-перше, виключається подача високонапірної води (8 ... 11 МПа) «низьконапірним» споживачам; по-друге, частина оборотної води вилучається із системи гідротранспорту, пульпа згущується і, отже, на поверхню піднімається менший обсяг рідини.

Однак реалізація цієї технологічної схеми потребує додаткових капітальних і експлуатаційних витрат, тому що з'являються дві системи трубопроводів, друга (підземна) насосна станція, ускладнюється керування процесом. На більшості діючих гідрошахт прийнята перша технологічна схема водопостачання.

3.2 Розрахунок водопроводів і вибір насосів

3.2.1 Розрахунок водопостачальної мережі

Водопроводи підрозділяють на **магістральні**, прокладені від насосної станції до кар'єру або ствола шахти, **розводящі**, що подають воду від магістрального трубопроводу на окремі ділянки кар'єру (шахти), і **вибійні**, що розташовуються на робочих площадках уступу кар'єру або у пульпоскидних печах гідрошахти.

Ціль гідравлічного розрахунку — визначення оптимального діаметра трубопроводу і вибір насоса, який забезпечить необхідний напір і витрату води при роботі на цей трубопровід. Визначається також товщина стінок труби, яка забезпечує її механічну міцність з урахуванням запасу на корозійний знос за період експлуатації мережі.

Загальні принципи розрахунку водопроводів для відкритих і підземних розробок однакові, але є специфічні розходження при визначенні ступеня корозійного зносу стінок трубопроводів.

Розрахункова схема простого, нерозгалуженого трубопроводу, призначеного для подачі води з резервуара (водойми) до гідромонітора, показана на рис. 3.6. Для такої схеми справедливе рівняння

$$H_{\text{н}} = H_{\text{м}} + H_{\text{г}} + \Sigma H_{\text{у}}, \quad (3.10)$$

де $H_{\text{н}}$ — напір, що створюється насосом; $H_{\text{м}}$ — напір у вхідному патрубку гідромонітора (або іншого споживача); $H_{\text{г}}$ — геометричний напір; $\Sigma H_{\text{у}}$ — сумарні утрати напору в трубопроводі.

Геометричним напором називають різницю геодезичних позначок кінця трубопроводу (площадки уступу) та його початку (рівня води у резервуарі або водоймі). Якщо споживач води знаходиться нижче, ніж рівень води у резервуарі, геометричний напір слід брати зі знаком мінус.

Сумарні утрати напору складаються з утрат напору *по довжині труби* і *місцевих* утрат (на вентилях, зворотних клапанах, колінах та ін.).

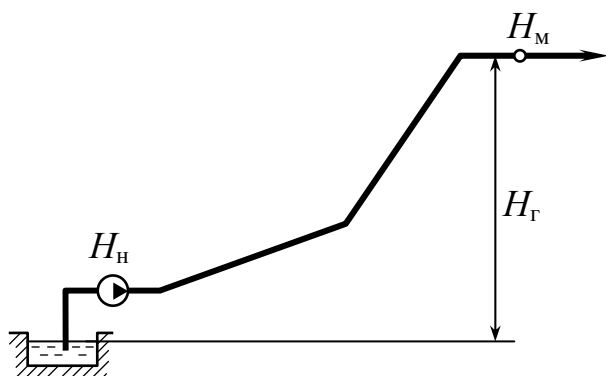


Рисунок 3.6 — Схема до розрахунку простого трубопроводу

Утрати напору на 1 м трубопроводу — *гідравлічний ухил* — можна визначити по формулі Дарсі-Вейсбаха

$$i = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (3.11)$$

де λ — коефіцієнт опору (коефіцієнт Дарсі); v — середня швидкість потоку рідини; D — діаметр труби; g — прискорення вільного падіння, або за формулою

$$i = \frac{Q^2}{k^2}, \quad (3.12)$$

де Q — витрата води; k^2 — витратна характеристика труби. Тоді утрати напору на ділянці трубопроводу довжиною L

$$H_{yL} = i L = L \frac{Q^2}{k^2}. \quad (3.13)$$

Коефіцієнт опору залежить від шорсткості стінок труб і режиму руху рідини. Для ламінарного режиму руху рідини коефіцієнт опору не залежить від шорсткості стінок труб і визначається за формулою:

$$\lambda = 64/\text{Re}, \quad (3.14)$$

де $\text{Re} = vD/\nu$ — число Рейнольдса; ν — кінематична в'язкість (для води $\nu \approx 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Ламінарний рух рідини можливий при значеннях $\text{Re} < 2320$ і для такої малов'язкої рідини як вода реалізується лише при малих швидкостях і діаметрах каналів (у капілярах). У практиці гідромеханізованих гірничих робіт має місце турбулентний режим руху води, для якого існує кілька емпіричних формул для визначення коефіцієнту Дарсі або гідравлічного ухилу.

Область турбулентного руху підрозділяють на зону гідравлічно гладких труб, змішану зону і зону гідравлічно шорстких труб. У зоні *гідравлічно гладких труб*, для якої виконується умова $\text{Re} < 20 \varepsilon$, де $\varepsilon = \Delta/D$ — відносна шорсткість стінок труби, Δ — абсолютна шорсткість, див. додаток Б, шорсткість стінок труби не впливає на величину коефіцієнту опору. У цій зоні коефіцієнт Дарсі можна визначити за формулою Блазіуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (3.15)$$

У зоні гідравлічно шорстких труб $Re > 500$ є діє формула Б. Л. Шифрінсона

$$\lambda = 0,11 \varepsilon^{0,25}. \quad (3.16)$$

У цій зоні гідравлічний опір не залежить від числа Рейнольдса і, згідно (3.11), має місце квадратична залежність втрат напору від швидкості руху рідини. Така зона отримала назву *автомодельної*, або *зони квадратичного опору*.

Для змішаної зони $20 \varepsilon < Re < 500 \varepsilon$ може бути використана формула А. Д. Альтшуля, яка також добре узгоджується з дослідними даними в зонах гідравлічно гладких та шорстких труб.

$$\lambda = 0,11 \left(\varepsilon + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (3.17)$$

Можна бачити, що при $\varepsilon \ll 68/Re$ формула Альтшуля переходить у формулу Блазіуса, а при $\varepsilon \gg 68/Re$ — у формулу Шифрінсона.

Для гідравлічно гладких труб та $Re > 10^5$ добре узгоджується з дослідними даними формула Конакова

$$\lambda = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2}, \quad (3.18)$$

а для гідравлічно шорстких — формула А. В. Теплова

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,81 \lg \frac{D}{2\Delta} + 2,19 \right)^2}, \quad (3.19)$$

Для спрощених розрахунків ненових сталевих трубопроводів діаметром до 400 мм у зоні квадратичного опору застосовують формулу Ф. А. Шевелева:

$$\lambda = 0,021 D^{-0,3} \quad \text{або} \quad k^2 = 576 D^{5,3}. \quad (3.20)$$

Місцеві утрати напору підраховуються за формулою

$$H_{y.m} = \frac{v^2}{2g} \sum_j \zeta_j, \quad (3.21)$$

де ζ_j — коефіцієнт j -го місцевого опору трубопроводу, який залежить від виду місцевого опору. Значення коефіцієнтів місцевого опору для найбільш характерних його видів наведені у додатку В.

При проектуванні водопостачання необхідно визначити положення і довжину розводящих трубопроводів, їхній діаметр на різних ділянках і загальний напір, необхідний для подачі води до споживачів.

Діаметр водопровідних ліній визначається по заданій витраті води на основі техніко-економічного розрахунку. Найкращим діаметром буде такий, при якому сумарні витрати на перекачування рідини будуть мінімальними.

Сумарні витрати на перекачування рідини за плановий термін експлуатації мережі складають

$$B = K + T_{\text{пл}} \cdot E, \quad (3.22)$$

де K – капітальні витрати; E – річні експлуатаційні витрати; $T_{\text{пл}}$ – плановий термін експлуатації мережі (роки).

Капітальні витрати включають вартість придбання та монтажу усіх споруджень, пов'язаних з перекачуванням рідини, а також витрати на капітальні ремонти. Для розрахунку діаметра трубопроводу звичайно враховують тільки витрати на придбання труб і монтаж трубопроводу, а інші витрати вважають незмінними:

$$K_{\text{тр}} = B_{\text{тр}} m_{\text{тр}} L k_{\text{арм}} k_{\text{мон}}, \quad (3.23)$$

де $B_{\text{тр}}$ – вартість однієї тони труб; $m_{\text{тр}}$ – маса 1 м труби вибраного діаметра; L – довжина трубопроводу; $k_{\text{арм}} = 1,15 \dots 1,25$ – коефіцієнт, що враховує вартість трубопровідної арматури; $k_{\text{мон}} = 1,16 \dots 1,20$ – коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж трубопроводу.

До експлуатаційних витрат відносять витрати на електроенергію при використанні електродвигунів, або на пальне при двигунах внутрішнього згоряння, витрати на мастильні матеріали, на обслуговування, на поточний ремонт і т.п. Основним видом витрат тут є витрати на електроенергію

$$E_{\text{ел}} = B_{\text{ел}} N_{\text{н}} T_{\text{р}}, \quad (3.24)$$

де $B_{\text{ел}}$ – вартість 1 кВт·год електроенергії; $T_{\text{р}}$ – час роботи насосної установки за рік; $N_{\text{н}}$ – потужність, споживана насосом:

$$N_{\text{н}} = \frac{\rho g Q_{\text{н}} H_{\text{н}}}{\eta_{\text{ну}}}; \quad (3.25)$$

ρ – щільність рідини; $Q_{\text{н}}$ і $H_{\text{н}}$ – подача і напір насоса; $\eta_{\text{ну}}$ – коефіцієнт корисної дії насосної установки.

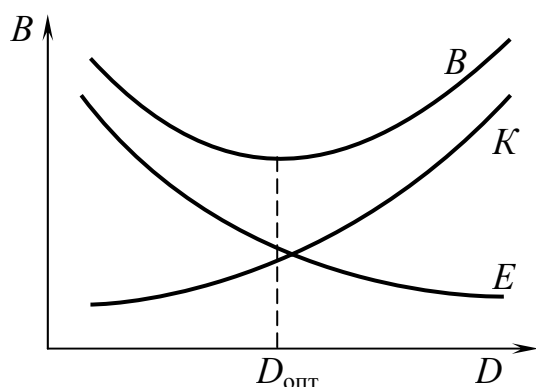


Рисунок 3.7 – Графік до визначення оптимального діаметра трубопроводу:
 K – капітальні витрати;
 E – експлуатаційні витрати;
 B – сумарні витрати

Зменшення діаметра трубопроводу знижує капітальні витрати на будівництво системи водопостачання, оскільки маса труб і їх вартість зменшуються. Однак це веде до збільшення втрат напору при заданій витраті води, що вимагає збільшення споживання електроенергії.

Оптимальний діаметр трубопроводу визначається на основі техніко-економічного розрахунку. Результати розрахунку можуть бути представлені у вигляді графіка, рис. 3.7. Точка мінімуму сумарних витрат відповідає найкращому діаметру трубопроводу.

Розрахунок за наведеною методикою звичайно ведуть шляхом перебору стандартних діаметрів труб, для яких визначаються сумарні витрати на перекачування. При великій кількості варіантів визначення оптимального діаметра трубопроводу потребує значних обсягів обчислень, тому такі розрахунки виконуються, як правило, за допомогою ЕОМ.

У орієнтовних розрахунках мереж водопостачання для відкритих розробок можна прийняти швидкість руху рідини в межах $v_{\text{опт}} = 1,3 \dots 2,0$ м/с, для підземних — $v_{\text{опт}} = 1,8 \dots 2,5$ м/с.

Розрахункове значення діаметра трубопроводу

$$D_p = \sqrt{\frac{4 Q_n}{\pi v_{\text{опт}}}}. \quad (3.26)$$

Товщина стінок труби визначається з умови її механічної міцності (здатності витримувати заданий тиск) з урахуванням запасу на корозійний знос матеріалу труби. Товщина стінки з умови механічної міцності складає

$$\delta_0 = \frac{p_p D_p}{2 \sigma_{\text{доп}}} = \frac{p_p D_p}{0,8 \sigma_t}, \quad (3.27)$$

де p_p – розрахунковий тиск, який треба брати на 25% більшим, ніж максимальний тиск у трубопроводі: $p_p = 1,25 p_{\text{max}} = 1,25 \rho g H_{\text{max}}$;

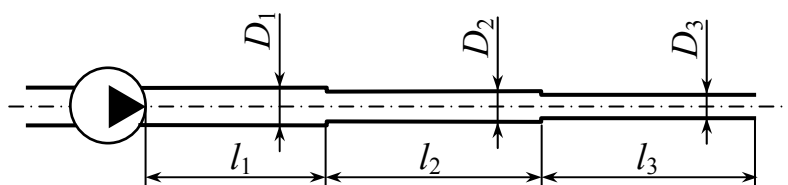


Рисунок 3.8 – Складний трубопровід з послідовним з'єднанням ділянок

$\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме напруження матеріалу труби, яке дорівнює 40 % від тимчасового опору розриву $\sigma_{\text{т}}$, табл. 3.3.

З урахуванням корозійного зносу розрахункова товщина стінок труби складає

$$\delta_p = k_d [\delta_0 + (\delta_{\text{кз}} + \delta_{\text{кв}}) T_{\text{пл}}], \quad (3.28)$$

де $\delta_{\text{кз}} \approx 0,25$ мм/рік – швидкість корозії зовнішньої поверхні труби; $\delta_{\text{кв}}$ – швидкість корозії внутрішньої поверхні труби, табл. 3.4; $k_d = 1,10 \dots 1,15$ – коефіцієнт, що враховує мінусовий допуск на товщину стінки труби.

Розрахунковий зовнішній діаметр труби складає

$$D_{\text{зр}} = D_p + 2\delta_p. \quad (3.29)$$

За отриманими значеннями $D_{\text{зр}}$ та δ_p вибирається стандартна труба, див. додаток Г.

Якщо магістраль складається з кількох ділянок різної довжини і діаметрів, рис. 3.8, загальні втрати напору визначаються по формулі:

$$H_y = Q^2 \sum_j \frac{l_j}{k_j^2}, \quad (3.30),$$

Таблиця 3.3 – Значення тимчасового опору розриву для конструкційних сталей нормальної якості

Марка сталі	Ст 2 сп	Ст 4 сп	Ст 5 сп	Ст 6 сп
Тимчасовий опір розриву $\sigma_{\text{т}}$, МПа	350	420	500	600

Таблиця 3.4 – Швидкість корозійного зносу внутрішньої поверхні труби

Характеристика рідини, що транспортується	Швидкість корозії, мм/рік
Водопровідна вода	0,05
Шахтна вода:	
нейтральна або лужна	0,10
слабокислотна рН = 6 ... 7	0,20
кислотна рН = 5 ... 6	0,40

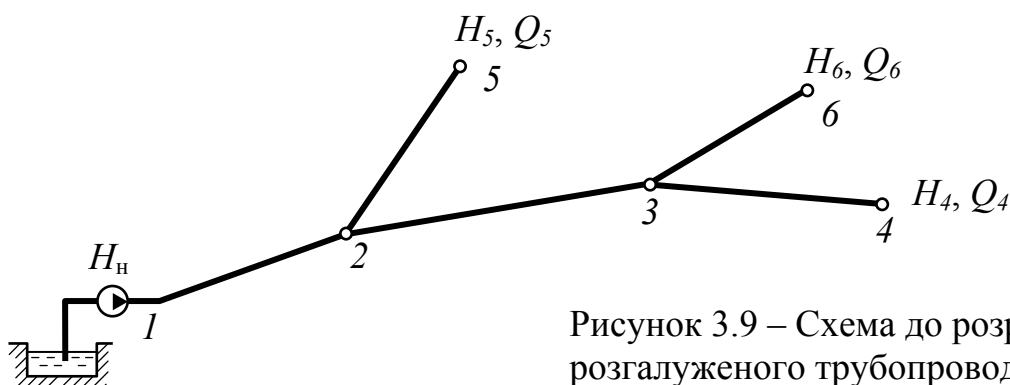


Рисунок 3.9 – Схема до розрахунку розгалуженого трубопроводу

де l_j та k_j^2 – довжина та витратна характеристика j -ї ділянки трубопроводу.

Оскільки на більшості гірничих підприємств одночасно в роботі знаходяться кілька споживачів води, водопровідна мережа звичайно є розгалуженою, рис. 3.9. Розрахунок розгалуженого трубопроводу здійснюється наступним чином.

Вихідними даними для розрахунку є потрібні напори та витрати води для кожного зі споживачів ($H_4, H_5, H_6, Q_4, Q_5, Q_6$), довжини кожної з ділянок трубопроводу ($l_{1-2}, l_{2-3}, \dots, l_{3-6}$) та геодезичні позначки місць розташування вузлів мережі ($z_1, z_2, \dots, z_6$).

Спочатку на схемі трубопроводу вибирають *магістральну лінію* від початку мережі (насосної станції, водонапірної вежі і т.п.) до деякої кінцевої точки. За кінцеву точку приймають споживача, до якого найважче подати воду із заданим напором та витратою. Це може бути найбільш віддалений споживач, споживач, який розташований на найбільшій висоті, або споживач з найбільшою витратою води. Наприклад, виберемо у якості магістральної лінії 1-2-3-4, рис. 3.9.

Магістральна лінія розглядається як трубопровід, який складається з окремих ділянок з різними витратами води:

$$Q_{2-3} = Q_4 + Q_6; \quad Q_{1-2} = Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

За наведеною методикою визначають діаметри окремих ділянок магістрального водопроводу, а потім – утрати напору на кожній ділянці. Утрати напору на ділянці між j -м та $(j+1)$ -м вузлами:

$$H_{y\ j-(j+1)} = l_{j-(j+1)} \frac{Q_{j-(j+1)}^2}{k_{j-(j+1)}^2}. \quad (3.31)$$

Напори у вузлових точках, які розташовані на магістральній лінії, визначають, розглядаючи кожну ділянку як окремий трубопро-

від з відомим напором на виході. Розрахунок починають від кінця лінії (від споживача):

$$\begin{aligned} H_3 &= H_4 + (z_4 - z_3) + H_{y3-4}; \\ H_2 &= H_3 + (z_3 - z_2) + H_{y2-3}; \\ H_1 &= H_2 + (z_2 - z_1) + H_{y1-2}. \end{aligned} \quad (3.32)$$

Напір H_1 є напором, який має створювати насос, що живить мережу: $H_n = H_1$.

Розрахунок відгалужень від магістральної лінії виконується як розрахунок трубопроводів із заданими початковим та кінцевим напорами. Діаметр труби вибирається таким чином, щоб витрата дорівнювала заданій. Наприклад, для ділянки 2-5, для якої задані H_5 і Q_5 та вже розраховано початковий напір H_2 , маємо

$$H_2 = H_5 + (z_5 - z_2) + H_{y2-5},$$

звідки

$$H_{y2-5} = H_2 - H_5 - (z_5 - z_2).$$

Треба вибрати таку трубу, у якій при заданій витраті утрати напору близькі до розрахованих. З формули (3.30) маємо

$$k_{2-5}^2 = \frac{Q_5^2 l_{2-5}}{H_{y2-5}}. \quad (3.33)$$

Знаючи витратну характеристику труби, за таблицями або методом розрахунку визначають потрібний діаметр труби. Наприклад, застосовуючи формулу Ф. А. Шевелева, маємо

$$D_{p2-5} = \left(\frac{k_{2-5}^2}{576} \right)^{\frac{1}{5,3}}. \quad (3.34)$$

Вибравши за даними розрахунку стандартні труби для відгалужень мережі, перевіряють швидкість руху рідини. Якщо швидкість виходить за межі 1,3 ... 2,0 м/с, необхідно скорегувати дані розрахунку. Наприклад, при великій швидкості рідини доцільно збільшити діаметр труби, а зменшення утрат тиску компенсувати встановленням вентиля або засувки, які б дроселювали потік. Навпаки, замала швидкість руху рідини свідчить про завищений діаметр труби. Це може означати, що напрям магістральної лінії вибрано невірно і треба повторити розрахунки, вибравши це відгалуження у якості магістрального напрямку.

3.2.2 Вибір насоса та визначення його робочого режиму

Для подачі води до гідравлічних установок широко застосовуються одноступінчасті горизонтальні відцентрові насоси консольного типу, насоси з двостороннім усмоктуванням і багатоступінчасті насоси. Принцип дії відцентрового насоса докладно розглянуто у п. 4.3.

Консольний насос складається з наступних елементів, рис. 3.10: робочого колеса 2, усмоктувального патрубку 3, спірального корпуса з напірним патрубком 1, сальникового ущільнення 6, вала 7, опорного кронштейна 9, підшипників 8, стяжних і кріпильних деталей.

Робоче колесо 2 закритої конструкції, однобічного усмоктування, закріплено консольно на кінці вала 7. Підведення виконане у виді конічного патрубку 3 із прямою віссю, що забезпечує мінімальний гідравлічний опір і рівномірність потоку на вході в робоче колесо. Відвід складається зі спірального каналу і дифузора, що є внутрішніми порожнинами корпуса 1. На виході вала зі спірального корпуса встановлено сальникове ущільнення 6 з гідрозатвором 5. Два шарикопідшипника 8, встановлені в підшипниковій камері кронштейна 9, служать опорами вала.

Відцентрові консольні насоси мають невелику масу і габарити, прості за конструкцією, недорогі та легко ремонтуються. Такі насоси мають продуктивність $5 \dots 350 \text{ м}^3/\text{год}$, створюють напір $20 \dots 80 \text{ м}$ і широко використовуються у промисловості.

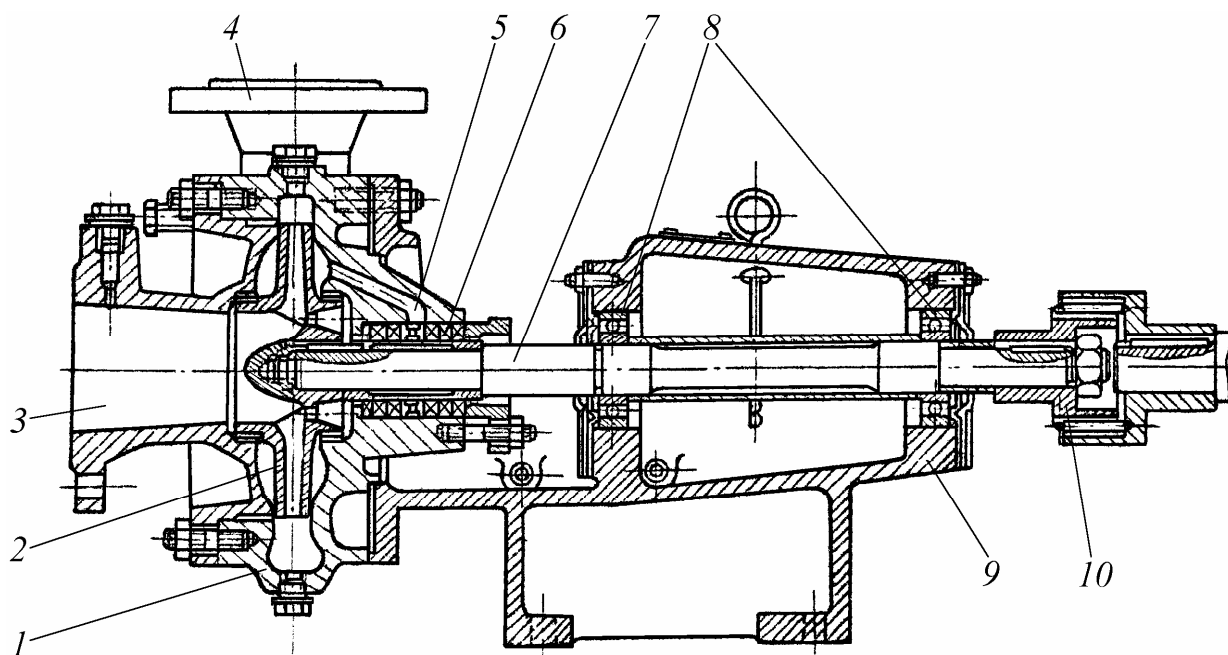


Рисунок 3.10 – Консольний насос: 1 – спіральний корпус; 2 – робоче колесо; 3 – передня кришка з усмоктувальним патрубком; 4 – напірний патрубок; 5 – гідравлічний затвор; 6 – сальник; 7 – вал; 8 – підшипники; 9 – кронштейн; 10 – муфта

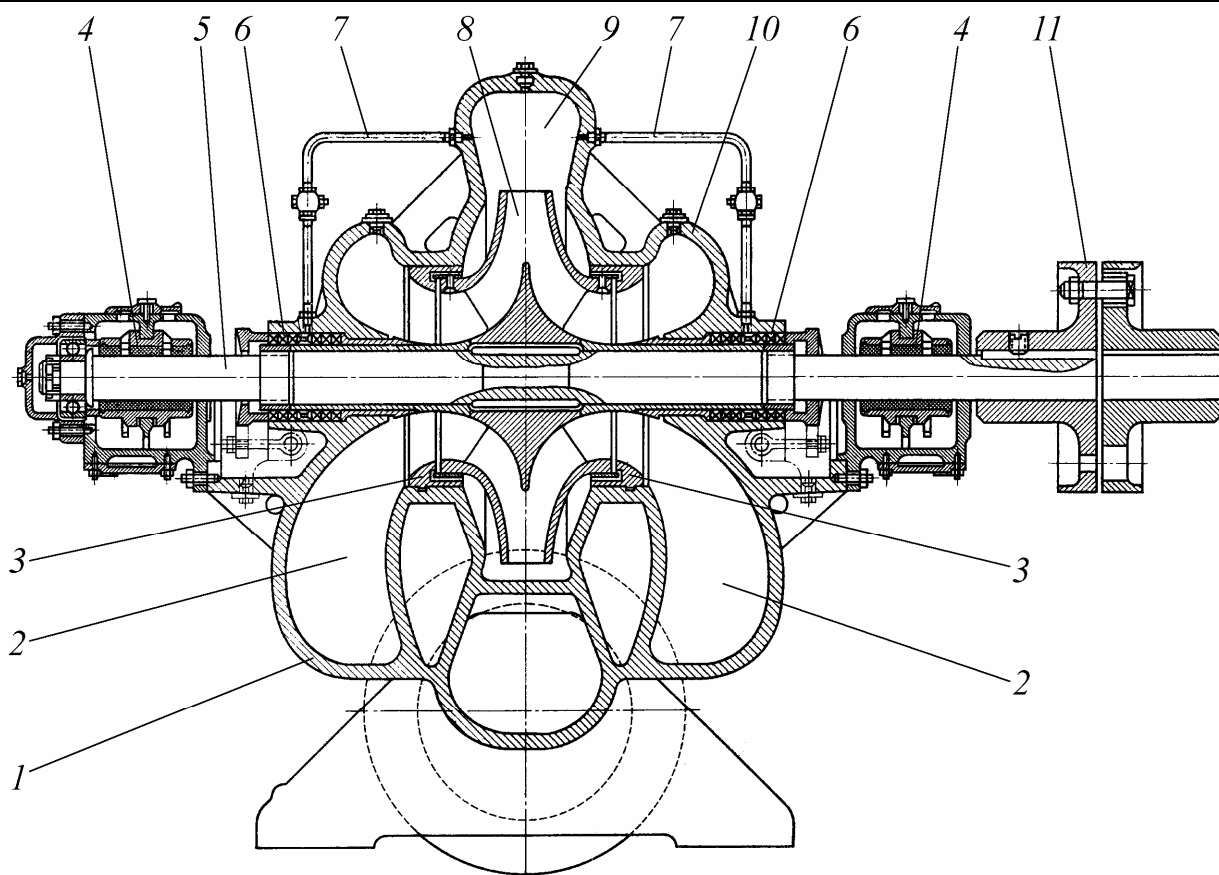


Рисунок 3.11 – Насос із колесом двостороннього усмоктування: 1 – корпус; 2 – порожнини усмоктування; 3 – ущільнювальні кільця; 4 – підшипники; 5 – вал; 6 – сальники; 7 – трубки підведення води до гідравлічного затвора; 8 – робоче колесо; 9 – порожнина нагнітання; 10 – кришка корпуса; 11 – муфта

Насоси з робочими колесами двостороннього усмоктування застосовуються у системах водопостачання і мають велику продуктивність — від 200 до 12 500 м³/год. Насос, рис. 3.11, має симетричне робоче колесо 8 з двома вхідними отворами. Така конструкція колеса дозволяє уникнути осьового зусилля, яке утворюється на колесах звичайної конструкції.

Корпус з горизонтальним розніманням складається з двох суцільнолитих частин. Верхня частина 10 (кришка) кріпиться до нижньої 1 болтами. Завдяки розташуванню вхідного і напірного патрубків у нижній половині корпуса розкриття насоса і ремонт ротора можна робити без демонтажу трубопроводів і зняття насоса з фундаменту.

Вал насоса спирається на підшипники 4, встановлені на кронштейнах. Вихід вала з корпуса ущільнюється сальниковими ущільненнями 6 з гідрозатвором. Гідрозатвор запобігає влученню у насос повітря і здійснюється подачею води з напірної порожнини по трубках 7 до кілець, що встановлені у сальнику 6.

Багатоступінчасті відцентрові секційні насоси типу ЦНС призначені для перекачування рідини з великими напорами — до 1040 м, а спеціальні насоси — до 2000 м.

Насос, рис. 3.12, має від 2 до 10 робочих коліс 8 закритої конструкції однобічного усмоктування, встановлених на валу 3. Корпус насоса включає: кришку усмоктування 12, кришку нагнітання 6, секції 7 з направляючими апаратами 9, кронштейни передній 14 і задній 2. У цих кронштейнах встановлені два радіальних сферичних роликотішипники 1, що дозволяє валу переміщатися в осьовому напрямку. Кришки усмоктування, нагнітання і секції стягуються шпильками 10. Стики секцій ущільнюються гумовими шнурами 11.

Місця виходу вала насоса з корпусу ущільнюються сальниковим набиванням 4. З боку усмоктування встановлюється гідрозатвор 13, що виключає засмоктування повітря через сальник. Для врівноваження осьового зусилля застосовується гідравлічний розвантажувальний пристрій 5 (гідравлічна п'ята).

Основними параметрами насоса, що характеризують його роботу, є **подача** Q_n і **напір** H_n . Подачею називається обсяг рідини, що подається насосом в одиницю часу. Напором насоса називається

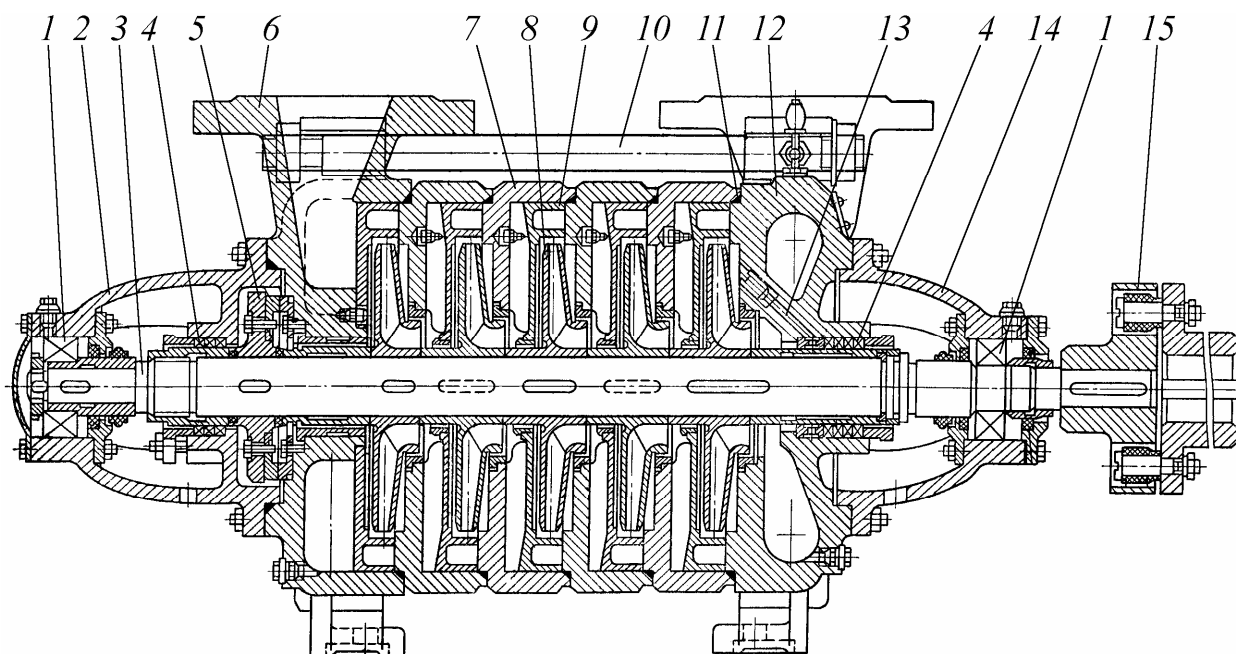


Рисунок 3.12 – Секційний насос типу ЦНС: 1 – підшипники; 2 – задній кронштейн; 3 – вал; 4 – сальники; 5 – розвантажувальний пристрій; 6 – кришка нагнітання з напірним патрубком; 7 – секція; 8 – робоче колесо; 9 – направляючий апарат; 10 – стяжна шпилька; 11 – гумове ущільнення; 12 – кришка усмоктування з усмоктувальним патрубком; 13 – канал підведення води до гідравлічного затвора; 14 – передній кронштейн; 15 – муфта

питома енергія, що надається одиниці ваги рідини або різниця питомих енергій рідини при виході з насоса і вході в нього

$$H_{\text{н}} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, \quad (3.35)$$

де p_1 та v_1 – абсолютний тиск та середня швидкість руху рідини в усмоктувальному патрубку насоса; p_2 та v_2 – те ж, у напірному патрубку. Перший доданок характеризує зміну потенціальної енергії потоку рідини (*статичного напору*), другий — зміну кінетичної енергії потоку (*динамічного напору*).

Корисна потужність насоса визначається зміною енергії потоку рідини і складає

$$N_{\text{н.к}} = \rho g H_{\text{н}} Q_{\text{н}}. \quad (3.36)$$

Потужність, споживана насосом, або потужність на валу насоса

$$N_{\text{н}} = \frac{\rho g H_{\text{н}} Q_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}, \quad (3.37)$$

де $\eta_{\text{н}}$ – коефіцієнт корисної дії насоса.

Коефіцієнт корисної дії насоса враховує втрати енергії в насосі і характеризує міру гідравлічної і механічної досконалості насоса. Він залежить від розмірів насоса, форми та якості поверхонь робочого колеса і проточної частини корпусу, частоти обертання робочого колеса та ін. Коефіцієнт корисної дії малих насосів не перевищує 0,6, а для потужних насосів досягає 0,8 ... 0,9.

Криві, що характеризують залежність напору, споживаної потужності і коефіцієнта корисної дії від подачі при постійній частоті обертання робочого колеса насоса, називаються **нормальними характеристиками насоса**. Залежність напору від подачі насоса називають **напірною характеристикою**. Приклад типових характеристик відцентрового насоса наведено на рис. 3.13.

Сполучення напору $H_{\text{н}}$ і подачі $Q_{\text{н}}$, з якими насос працює на деяку мережу, називають **робочим режимом**. Режим роботи насоса з найбільшим коефіцієнтом корисної дії є **оптимальним**, а напір і подачу, які відповідають оптимальному режиму, вважають **номінальними** для цього насоса. Так, насос Д 1600-90 у оптимальному режимі має подачу 1600 м³/год при напорі 90 м, див. рис. 3.13.

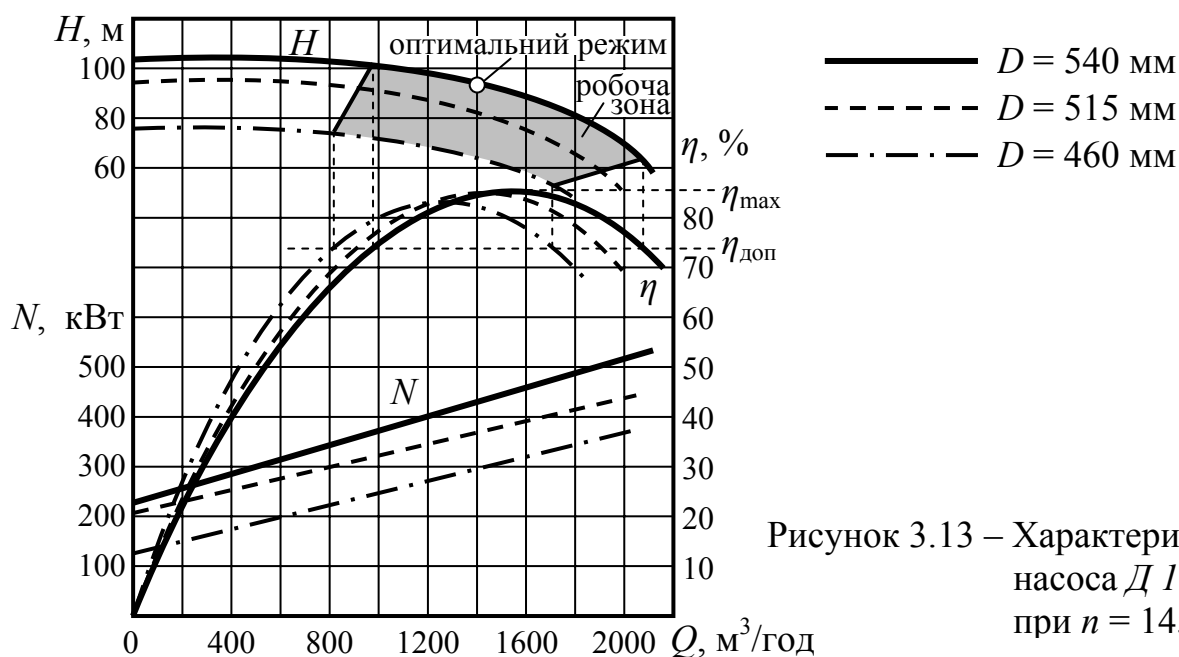


Рисунок 3.13 – Характеристика насоса Д 1600-90 при $n = 1450 \text{ хв}^{-1}$

Оскільки забезпечити роботу насоса з найвищим к.к.д. у реальних умовах важко, прийнятними вважають такі робочі режими, при яких виконується умова $\eta \geq \eta_{\text{доп}}$, де $\eta_{\text{доп}}$ – мінімальний допустимий к.к.д. для даного насоса. Сукупність робочих режимів, які відповідають вказаній умові, називають **зоною промислового використання** або **робочою зоною** насоса, див. рис. 3.13.

Для полегшення вибору насоса, який би забезпечив задані подачу на напір, зручно використовувати зведені графіки робочих зон, рис. 3.14, на яких зображені робочі зони насосів деякого типорозмірного ряду, наприклад консольних, рис. 3.14 а, або насосів з робочим колесом двостороннього усмоктування, рис. 3.14 б.

Для вибраного насоса визначають робочий режим при роботі на дану мережу. Робочий режим є рішенням системи рівнянь

$$\begin{cases} H = f_{\text{н}}(Q); \\ H = f_{\text{м}}(Q); \end{cases} \quad (3.38)$$

де перше рівняння є напірною характеристикою насоса, а друге – характеристикою мережі, яка у загальному вигляді визначається залежністю (3.10). Для знаходження робочого режиму насоса характеристику мережі представляють у вигляді

$$H = H_{\text{г}} + a Q^2, \quad (3.39)$$

де a – опір трубопроводу:
$$a = \frac{L + \Sigma l_{\text{екв}}}{K^2}; \quad (3.40)$$

$\Sigma l_{\text{екв}}$ – еквівалентна довжина усіх місцевих опорів трубопроводу.

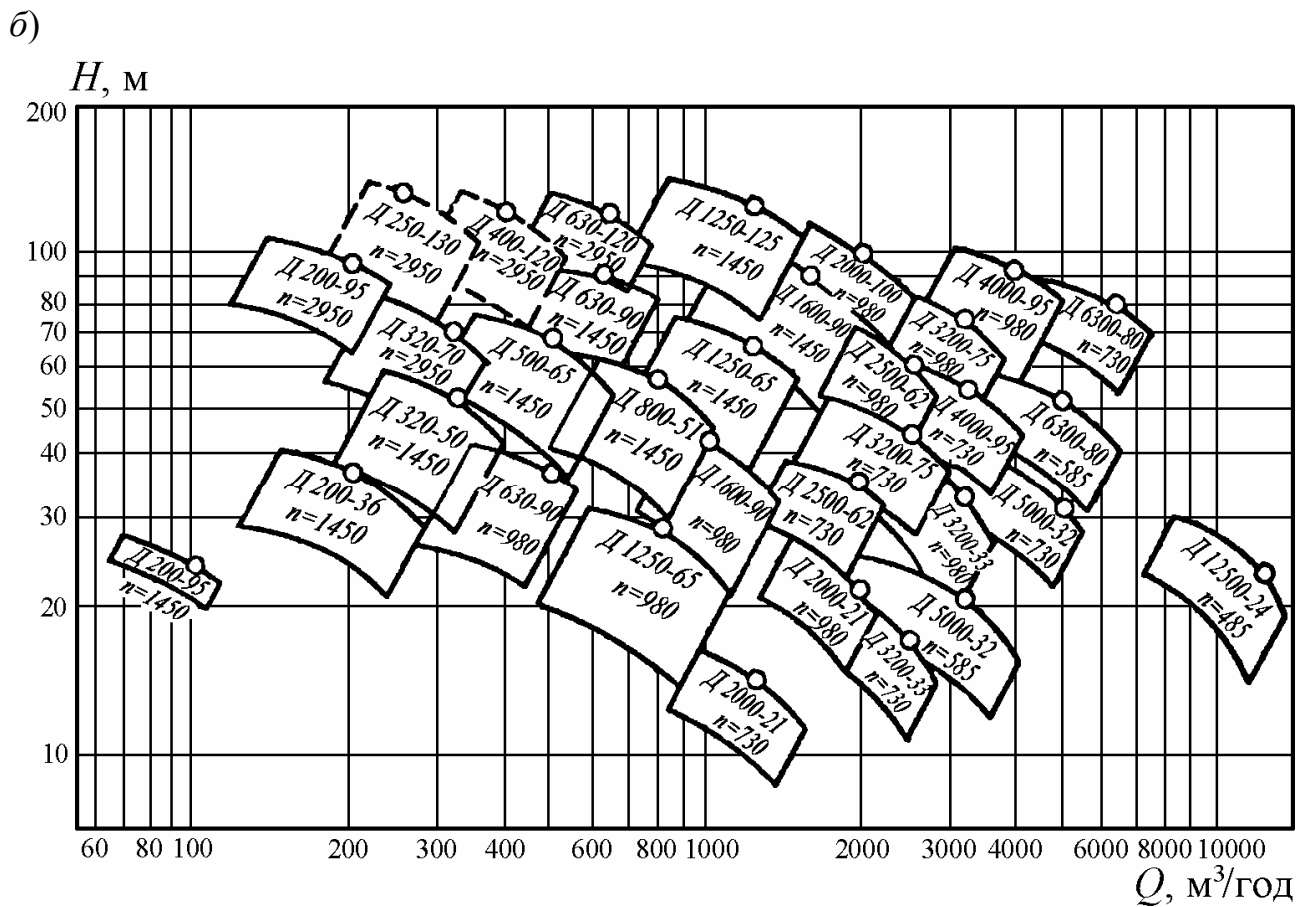
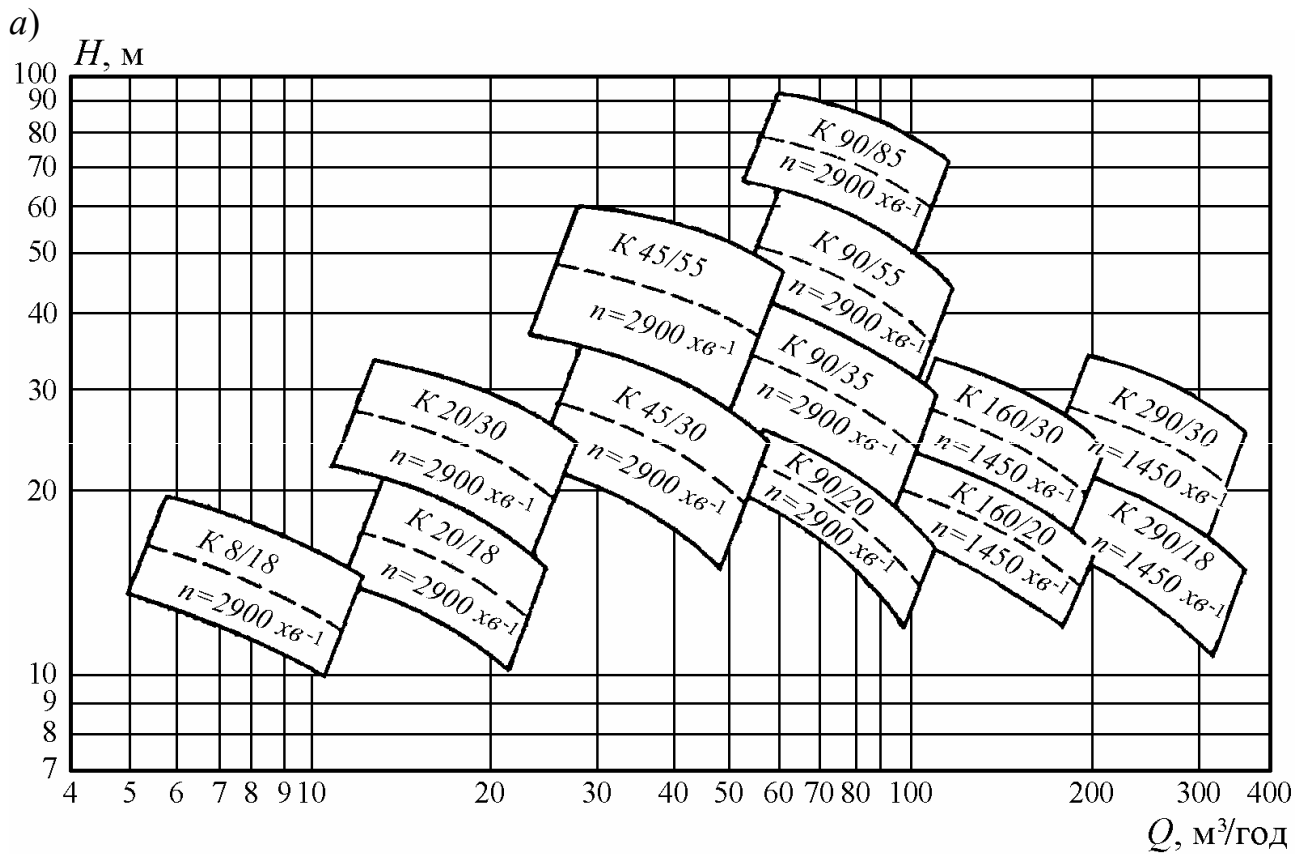


Рисунок 3.14 – Зведені графіки робочих зон відцентрових насосів типів K (а) та Д (б)

Характеристика насоса звичайно не має аналітичного виразу і задається графічно. Рішення системи (3.38) знаходять графічним способом, рис. 3.15. У системі координат $Q-H$ строять графіки характеристик насоса $H_n(Q)$ і трубопроводу $H_t(Q)$. Точка перетину характеристик (точка A) є робочою точкою насоса і визначає напір і продуктивність насоса при даній характеристиці мережі і постійній частоті обертання вала насоса. Для визначення к.к.д. і розрахунку потужності насоса при роботі на мережу, на тому ж полі строять графік к.к.д. насоса.

У разі необхідності пошуку робочого режиму (рішення системи 3.38) аналітичним способом, наприклад, при використанні ЕОМ для розрахунку систем водопостачання, застосовують рівняння другого порядку, які апроксимують характеристики насоса у *робочій зоні*. Приклад таких залежностей для насосів K і D , а також їхні технічні характеристики, наведено у додатку Д.

Якщо потрібно отримати іншу продуктивність насоса, застосовують один зі способів **регулювання подачі**. Найпростіший спосіб зменшення подачі – збільшення опору трубопроводу частковим перекриттям встановленого на ньому вентиля або засувки. При цьому характеристика трубопроводу зміниться і прийме вид кривої $H'_t(Q)$, робоча точка насоса переміститься з точки A в точку B , див. рис. 3.15. Однак, незважаючи на простоту, такий спосіб не є ефективним, оскільки веде до непродуктивних затрат енергії на створення підвищеного тиску H'_p , частина якого втрачається на засувці.

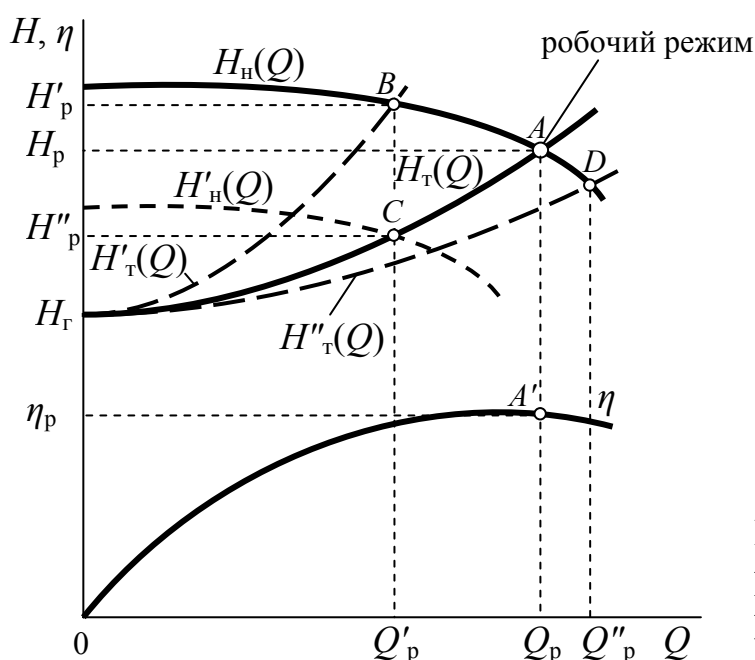


Рисунок 3.15 – Визначення робочого режиму насоса та регулювання його подачі

Більш ефективним з точки зору витрати енергії є зменшення напору насоса, що можна зробити одним з двох способів: зменшити частоту обертання вала (замінити приводний двигун) або зменшити зовнішній діаметр робочого колеса (шляхом обточування). Це веде до зміни напірної характеристики насоса. Відповідно до законів подоби гідродинамічних машин при зміні частоти обертання n продуктивність змінюється пропорційно n , напір — пропорційно n^2 , потужність — пропорційно n^3 . Позначивши параметри розглянутого насоса при даному числі оборотів через Q_1, H_1, N_1, n_1 , а при зміні числа оборотів через Q_2, H_2, N_2, n_2 , відповідно до законів подоби одержимо

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}. \quad (3.41)$$

Зміна подачі і напору відцентрового насоса за рахунок зменшення зовнішнього діаметра колеса (тобто за рахунок обточування робочих коліс) допускається не більш, ніж на 15-20% первісного діаметра через те, що більше обточування коліс приводить до значного зниження к.к.д. У цьому випадку:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}, \quad (3.42)$$

де D_1 і D_2 — діаметри нормального та обточеного робочих коліс.

З допомогою цих співвідношень по робочій характеристиці насоса можна побудувати подібну їй робочу характеристику при змінній частоті обертання вала або діаметрі робочого колеса насоса. На рис. 3.15 це крива $H'_n(Q)$, яка дає робочу точку C . Можна бачити, що при такій самій подачі Q'_p насос буде створювати напір H''_p , значно менший, ніж напір H'_p при дроселюванні трубопроводу. То ж, такий режим буде більш економічним.

Для збільшення подачі насоса також існує кілька шляхів.

Перший полягає у зміні характеристики трубопроводу, див. рис. 3.15, крива $H''_t(Q)$, що дає робочу точку D з подачею $Q''_p > Q_p$. Однак, для цього необхідно зменшити опір трубопроводу, а зробити це можна лише збільшенням діаметру труб. Таке рішення можливе лише на етапі проектування мережі та потребує ретельного техніко-економічного обґрунтування.

Другий шлях — збільшення частоти обертання робочого колеса насоса (заміна двигуна на більш швидкохідний). При цьому парамет-

ри роботи насоса зміняться згідно залежностям (3.41). Однак, значне збільшення частоти обертання вала насоса може призвести до передчасного виходу насоса з ладу, якщо останній не розрахований на таку частоту.

Третій шлях – встановлення двох або кількох насосів. Такий шлях часто вибирають у випадках, коли один насос неспроможний створити необхідний напір, або має недостатню подачу. Існує два способи включення насосів в мережу: *паралельний* та *послідовний*.

При **паралельному включенні**, рис. 3.16, використовують однакові насоси або насоси з приблизно рівними напорами. При роботі двох насосів, з'єднаних паралельно, напори в них завжди будуть однакові, а подачі складаються:

$$H_{\text{пр}} = H_1 = H_2; \quad Q_{\text{пр}} = Q_1 + Q_2, \quad (3.43)$$

де H_1, H_2, Q_1, Q_2 – параметри 1-го та 2-го насосів; $H_{\text{пр}}, Q_{\text{пр}}$ – сумарні параметри насосної установки при паралельному включенні насосів.

Сумарна характеристика $H_{\text{пр}}(Q)$ будується шляхом складання подач обох насосів при заданих напорах. При використанні двох однакових насосів це означає, що подачу насоса слід подвоїти, див. рис. 3.16. Таким же способом будується крива к.к.д.

Суттєвим моментом при даному способі з'єднання насосів є те, що при роботі на той самий трубопровід сумарна подача насосів $Q_{\text{р}}$, точка B , завжди менше подвоєної подачі одного насоса $2Q_{1\text{р}}$, точка C . Це пояснюється збільшенням втрат напору в трубопроводі.

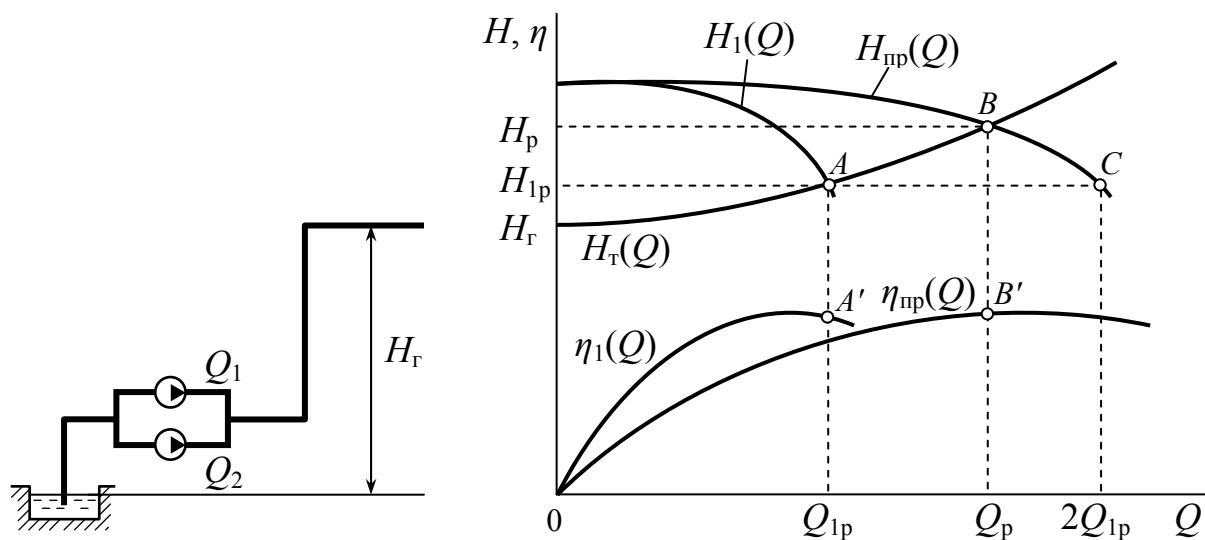


Рисунок 3.16 – Схема паралельного включення насосів та визначення робочого режиму при паралельному включенні

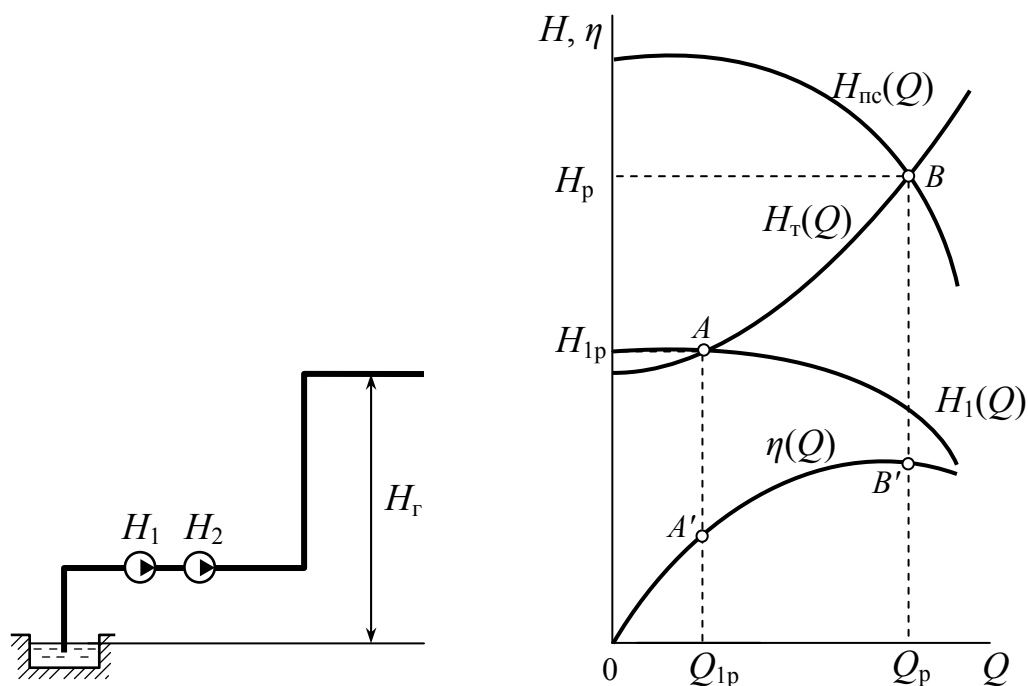


Рисунок 3.17 – Схема послідовного включення насосів та визначення робочого режиму при послідовному включенні

Для збільшення сумарного напору застосовується **послідовне з'єднання** насосів. При послідовній роботі двох насосів, які встановлені близько один до одного, рис. 3.17, побудова сумарної характеристики зводиться до складання ординат кривих $H(Q)$ при однакових абсцисах:

$$H_{\text{пс}} = H_1 + H_2; \quad Q_{\text{пс}} = Q_1 = Q_2. \quad (3.44)$$

Вигляд кривої к.к.д. не змінюється.

Послідовне з'єднання насосів також приводить до підвищення продуктивності, причому, в залежності від характеристики трубопроводу, це підвищення може бути більшим, ніж від паралельного включення. Тому питання про доцільність паралельного або послідовного з'єднання насосів у кожному конкретному випадку може бути вирішено лише шляхом аналізу відповідності характеристик насосів і трубопроводу.

При послідовному з'єднанні насосів, розташованих в одній насосній станції, другий (і навіть третій) насос опиняється під тиском, значно вищим, ніж його номінальний тиск. В таких випадках слід використовувати лише насоси, корпусні деталі, ущільнення і підшипники яких розраховані на подвійний (або потрійний) тиск. Крім того, товщина стінки напірного трубопроводу також має бути збільшеною, щоб витримати підвищений тиск.

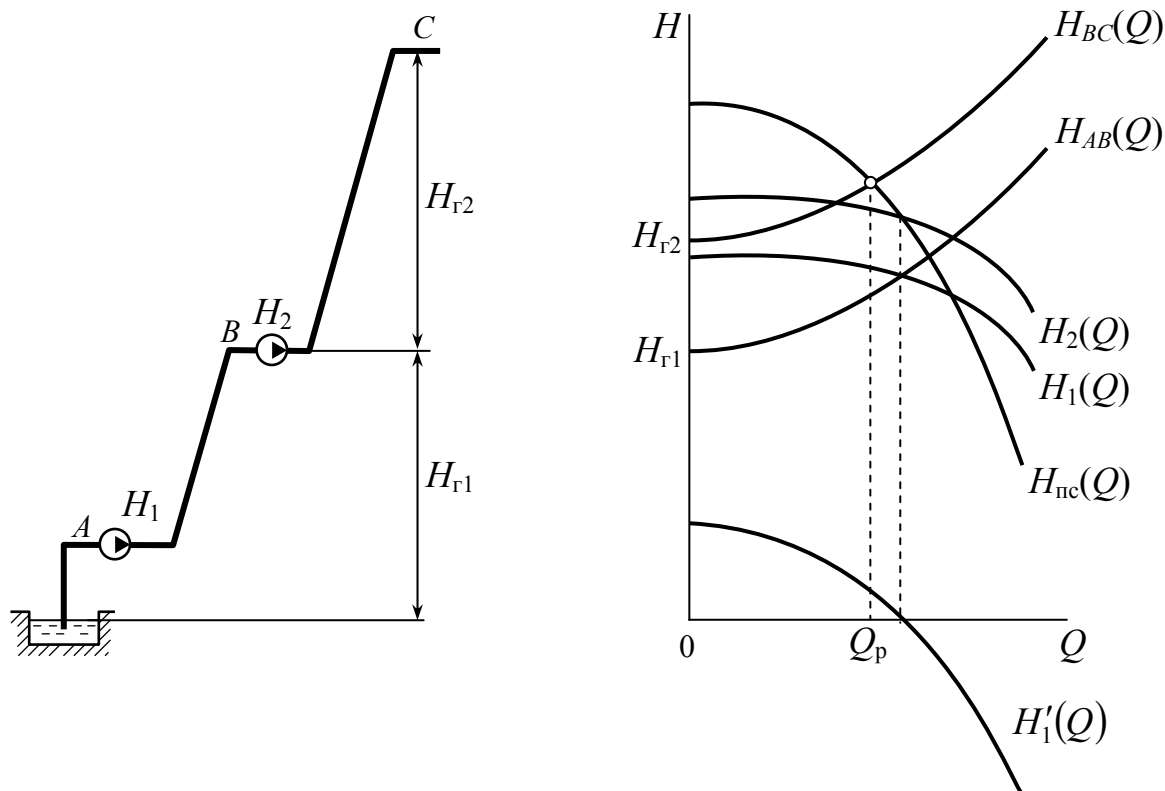


Рисунок 3.18 – Схема мережі з двома насосними установками, які розташовані на значній відстані одна від одної, та визначення робочого режиму такої мережі

При транспортуванні рідини на значну відстань або підйомі на висоту влаштовують кілька перекачувальних станцій, рис. 3.18. Таке включення теж є послідовним, але насоси (і напірні трубопроводи) працюють під тиском, близьким до номінального. В такому випадку побудова сумарної характеристики виконується наступним чином. Спочатку виконується умовний перенос першого насоса у точку B і будується напірна характеристика приведенного насоса

$$H'_1(Q) = H_1(Q) - H_{AB}(Q), \quad (3.45)$$

де $H_1(Q)$ – напірна характеристика першого насоса; $H_{AB}(Q)$ – напірна характеристика трубопроводу на ділянці AB . Напір H' фактично дорівнює напору в усмоктувальному патрубку другого насоса.

Далі будується сумарна характеристика приведенного і другого насосів

$$H_{\text{пс}}(Q) = H'_1(Q) + H_2(Q), \quad (3.46)$$

і визначається робочий режим при роботі на ділянці BC трубопроводу з характеристикою $H_{BC}(Q)$ згідно описаній методики.

3.2.3 Запобігання гідравлічних ударів при експлуатації гідроустановок.

Гідравлічним ударом називається гідродинамічний процес, який виникає у трубопроводі при різкій зміні швидкості руху рідини і призводить до короточасного підвищення або зниження тиску. Це явище виникає при раптовій зупинці насоса або різкому перекритті потоку засувкою чи зворотним клапаном. Найбільш небезпечний гідравлічний удар у гідротранспортних системах великої довжини, які переміщують великі маси рідини. У результаті виникнення гідравлічного удару можуть руйнуватися корпуси насосів, трубопроводи, арматура й устаткування.

Динаміку гідравлічного удару можна розглянути на прикладі трубопроводу із засувкою на кінці, рис. 3.19. При швидкому перекритті потоку шар рідини, що знаходиться безпосередньо біля засувки, зупиняється, а тиск збільшується внаслідок переходу кінетичної енергії потоку в потенційну енергію стиску. У зв'язку з тим, що рідина не є абсолютно твердим тілом, зупинка всієї маси відбудеться не миттєво. Границя обсягу зупиненої рідини буде переміщатися уздовж трубопроводу від засувки з деякою швидкістю, яка називається *швидкістю поширення хвилі тиску*. Для труби з абсолютно жорсткими стінками ця швидкість дорівнює швидкості звуку в рідині

$$c_0 = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad (3.47)$$

де ρ – щільність рідини; K – об'ємний модуль пружності рідини. Для води $K \approx 2 \times 10^9$ Па та $c_0 \approx 1425$ м/с.

У реальному трубопроводі частина кінетичної енергії рідини витрачається на деформацію стінок труби під дією збільшеного тиску. Це зменшує швидкість поширення хвилі тиску, яка дорівнює

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \frac{D K}{\delta E}}}, \quad (3.48)$$

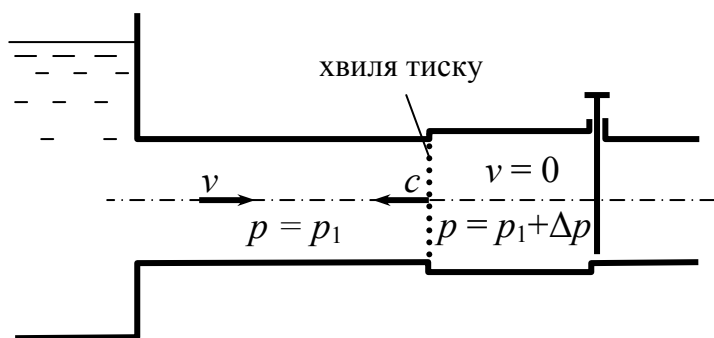


Рисунок 3.19 – Схема виникнення гідравлічного удару

де D – внутрішній діаметр труби; δ – товщина стінки труби; E – модуль пружності матеріалу труби. Для сталей $E = (2,0 \dots 2,1) \times 10^{11}$ Па.

Збільшення тиску визначається за формулою М. Е. Жуковського

$$\Delta p = \rho c \Delta v, \quad (3.49)$$

де Δv – різниця швидкостей до і після гідравлічного удару, яка у разі повної зупинки рідини дорівнює її попередній швидкості.

Після зупинки першого шару рідини відбувається зупинка наступних шарів, а надлишковий тиск буде поширюватися по трубопроводу зі швидкістю c . При досягненні ударною хвилею початкової перетину трубопроводу, коли на всьому його протязі швидкість руху дорівнюватиме нулю, а тиск буде підвищеним, рідина під дією цього тиску почне рухатися у зворотному напрямку. Почнеться зворотне переміщення хвилі в напрямку місця перекриття перетину потоку, тиск за хвилею цього разу буде зменшеним, а швидкість рідини – від'ємною. Коли зворотна хвиля повернеться до місця перекриття труби, знову віддзеркалиться і процес повториться. Таким чином, рідина буде робити згасаючі коливальні рухи з періодом

$$T = \frac{2L}{c}, \quad (3.50)$$

де L – довжина трубопроводу. Цей період називають *фазою* хвилі. Гідравлічний удар може починатися як з хвилі підвищення тиску, так і з хвилі зниження тиску.

При транспортуванні гідросуміші А. Г. Джваржейшвілі рекомендує визначати надлишковий тиск по формулі

$$\Delta p = \rho c_{г.см} v (1 - S_{об}) \left(1 - \frac{S_{в} \rho_{т}}{S_{об} \rho_0} \right), \quad (3.51)$$

де ρ – щільність води; $\rho_{т}$ – щільність твердого; $S_{об}$, $S_{в}$ – об'ємна і витратна консистенції пульпи; $c_{г.см}$ – швидкість поширення ударної хвилі у гідросуміші. За даними А. Г. Джваржейшвілі для трубопроводу діаметром 600 ... 800 мм $c_{г.см} = 820 \dots 850$ м/с.

Для запобігання гідравлічних ударів і зменшення небажаних наслідків при їхньому виникненні передбачаються спеціальні заходи, що включають забезпечення правильного трасування трубопроводу без різких перепадів висот, неухильне дотримання порядку пуску і зупинки насосних і землесосних установок, застосування вентилів та засувок, що забезпечують плавне перекриття каналу, обґрунтоване встановлення зворотних клапанів, улаштування обвідних ліній на

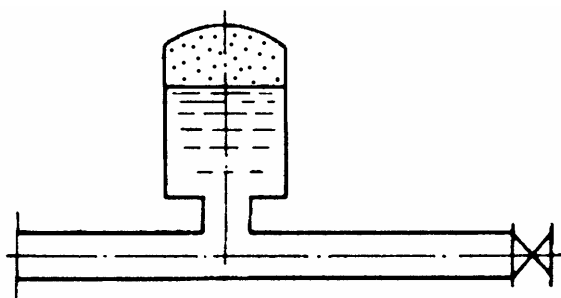


Рисунок 3.20 – Схема установки повітряного ковпака

перекачувальних станціях, установку запобіжних пристроїв (повітряних ковпаків, запобіжних клапанів, гасителів гідравлічних ударів).

Повітряні ковпаки, рис. 3.20, встановлюються, як правило, поблизу зворотних клапанів. Завдяки пружності повітря, що знаходиться у ковпаку, у трубопроводі за ним підтримується практично постійний тиск. Гідравлічний удар відбувається лише на ділянці труби між клапаном (або засувкою) і ковпаком. Довжина L значно скорочується (з кількох кілометрів до кількох метрів) і, згідно (3.50), фаза хвилі зменшується з кількох секунд до кількох мілісекунд, стає меншою, ніж час закриття клапану. Гідравлічний удар стає *непрямим* і підвищення тиску значно зменшується.

Обсяг ковпака визначається по формулі

$$V_k = k D^2 v \frac{L}{c} \frac{H_d^2}{H_n H_{\text{доп}}}, \quad (3.52)$$

де H_n – напір насоса; $H_{\text{доп}}$ – допустимий напір у трубопроводі; H_d – гідродинамічний напір у трубопроводі; k – коефіцієнт, що залежить від місця установки ковпака; при установці ковпака на магістралі $k = 2,2$, а у зворотного клапана $k = 1,1$.

Сутність робочого процесу **гасителів гідравлічних ударів** зводиться до скидання частини води з трубопроводу за зворотним клапаном при різкій зміні тиску. Гасителі гідравлічних ударів бувають *прямой* і *непрямой* дії. Перші характеризуються тим, що переміщення виконавчого елемента — зливарного клапана — здійснюється безпосередньо вимірювальним пристроєм. У гасителях *непрямой* дії ця операція реалізується допоміжним приводом, що використовує енергію підсилювача.

Гаситель гідравлічних ударів розробки Донецького національного технічного університету, рис. 3.21, складається зі зливарного клапана 1, гідроприводу 2, керуючого клапана 3, диференціального поршня 4 та блоку, що запам'ятовує, 5. Тиск під поршнем 6 змінюється з запізненням при перетіканні рідини через малий отвір.

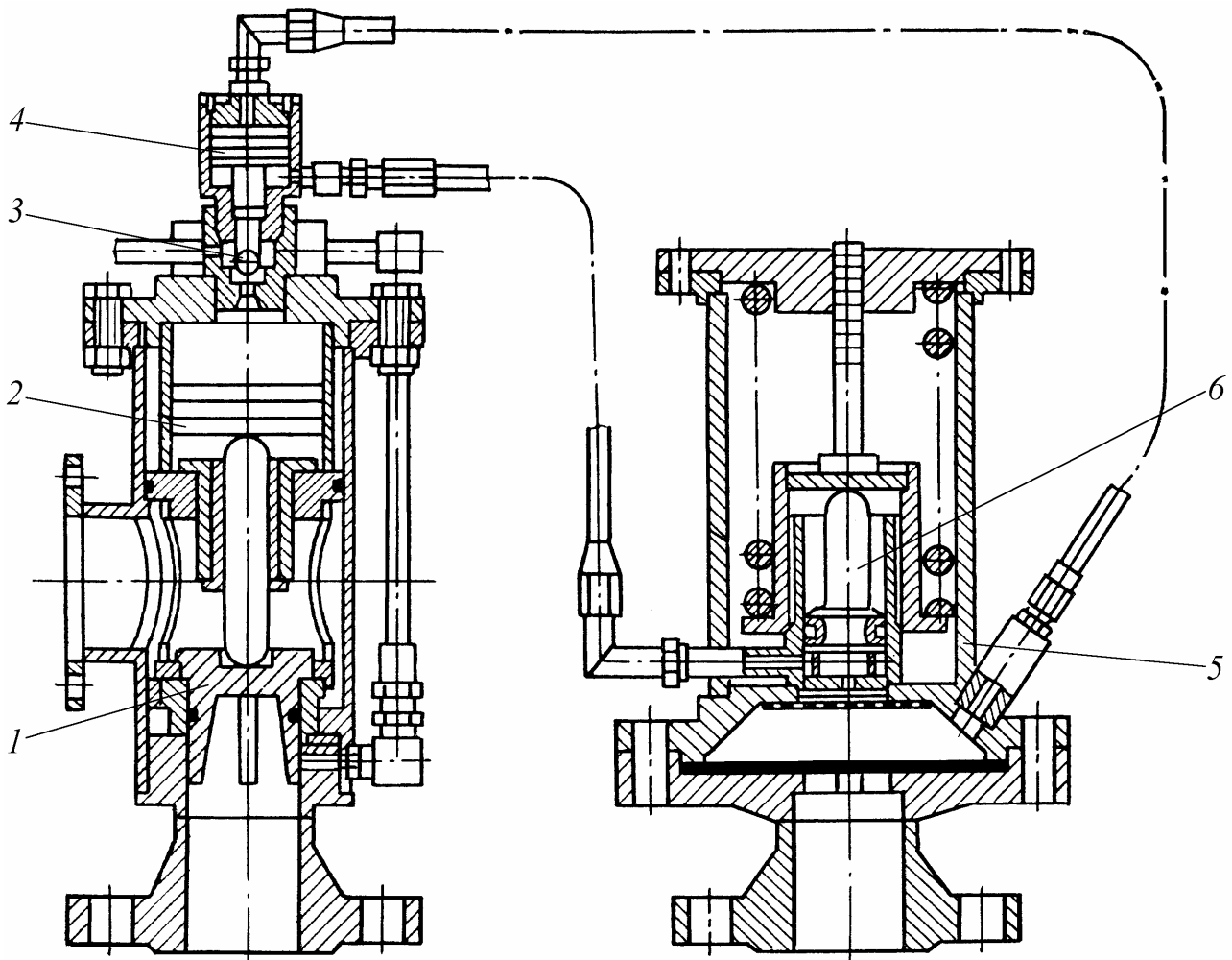


Рисунок 3.21 – Конструкція гасителя гідравлічного удару: 1 – зливальний клапан; 2 – гідропривод; 3 – керуючий клапан; 4 – диференціальний поршень; 5 – блок, що запам'ятовує; 6 – поршень

При стаціонарному режимі установки тиск в усіх внутрішніх порожнинах, зв'язаних із трубопроводом, однаковий. Керуючий 3 і зливальний 1 клапани перекриті. Після відключення насоса тиск у системі падає. На диференціальному поршні 4 порівнюються поточне і “запам'ятоване” значення тиску. Коли різниця між ними досягає значення налаштування, поршень переміщається, відкривається керуючий клапан 3 і порожнина гідроприводу сполучається з атмосферою. Під дією тиску в трубопроводі зливальний клапан 1 відкривається, починається зливання води і гасіння гідравлічного удару. Згодом, коли тиск у блоці, що запам'ятовує, знизиться, диференціальний поршень 4 повернеться у вихідне положення, керуючий клапан 3 закриється й у порожнину гідроприводу почне надходити вода, роблячи плавне перекриття зливу. Швидкість переміщення зливального клапана визначається гідравлічним опором лінії, що підводить воду в порожнину гідроприводу.

3.3 Конструктивне виконання систем водопостачання

3.3.1 Насосні станції

За характером роботи насосні станції розділяються на основні і перекачувальні, *за призначенням* — на станції, що безпосередньо живлять гідроустановки напірною водою, і на станції підживлення, які поповнюють резервуари, *за розташуванням відносно вододжерела* — на плавучі і сухопутні, *за терміном служби* — на стаціонарні і тимчасові.

Насосні станції гідромеханізованих кар'єрів розташовують звичайно в будинках найпростішого типу. На стаціонарних і перекачувальних станціях насоси монтують на бетонних, зрубових чи пальових фундаментах. Тип фундаменту вибирається в залежності від терміну служби насосної станції і потужності насосів, що встановлюються.

Тип водозабору визначається умовами водопостачання. Найбільш розповсюджені конструкції водозаборів показані на рис. 3.22. Розташування насосної станції на палях безпосередньо над точкою водозабору, рис. 3.22 а, застосовується при відносно невеликій потужності насосу і малих коливаннях рівня води у водоймі.

Береговий водозабір, рис. 3.22 б і в, найбільш розповсюджений на відкритих розробках. Водозабір у підвідному каналі влаштовують при надійному укріпленні каналу. Біля водозабору водоймище повинне мати глибину 2 ... 3 м. Вхідні отвори водоприймачів мають бути заглиблені не менш, ніж на 0,7 ... 1,25 м.

Плавучі насосні станції застосовуються при схемах водопостачання з оборотною водою. Вони встановлюються на гідровідвалах і зручні тим, що працюють нормально в умовах великих коливань рівня води джерела водопостачання. Звичайно ці станції монтуються на збірному або суцільнозварному металевому понтоні, рис. 3.23.

Водозабір здійснюється за допомогою усмоктувальних труб, що опускаються у воду на глибину 1,2 ... 1,5 м. Відстань від кінця усмоктувальної труби до дна водойми має бути не менш 0,8 ... 1 м. Усмоктувальна труба захищається від засмічення сіткою. Станція з'єднується з береговим магістральним трубопроводом за допомогою плавучого трубопроводу, який складається з секцій, розташованих на понтонах і з'єднаних шаровими шарнірами.

Насосні станції гідрошахт монтуються на поверхні в будинках. Для створення високого тиску технологічної води на гідрошахтах

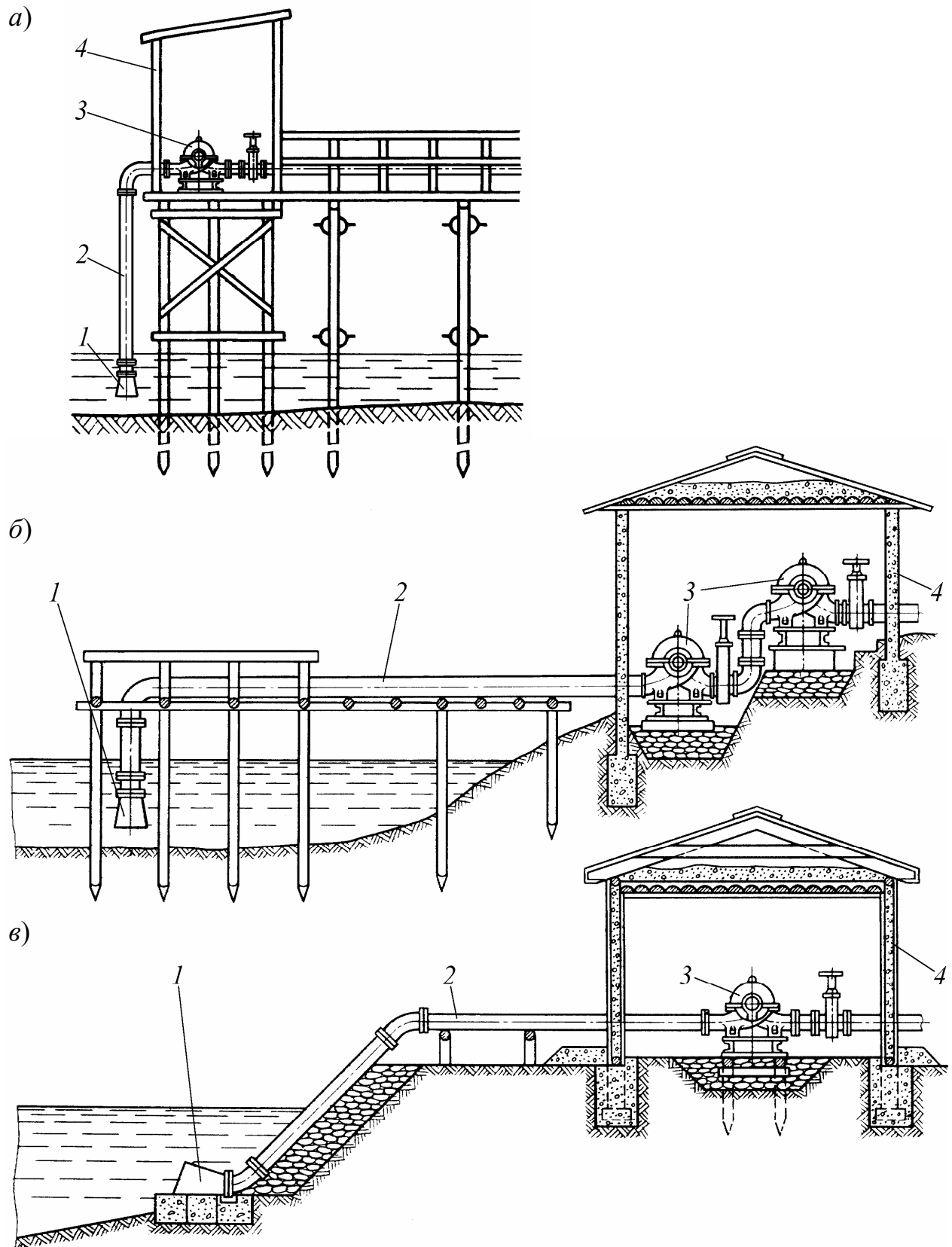


Рисунок 3.22 – Відкритий береговий водозабір, суміщений з насосною станцією на палях (а), водозабір на пальових опорах (б) та в підвідному каналі (в):

1 – приймальний клапан з сіткою; 2 – усмоктувальний трубопровід; 3 – насос; 4 – будівля насосної станції

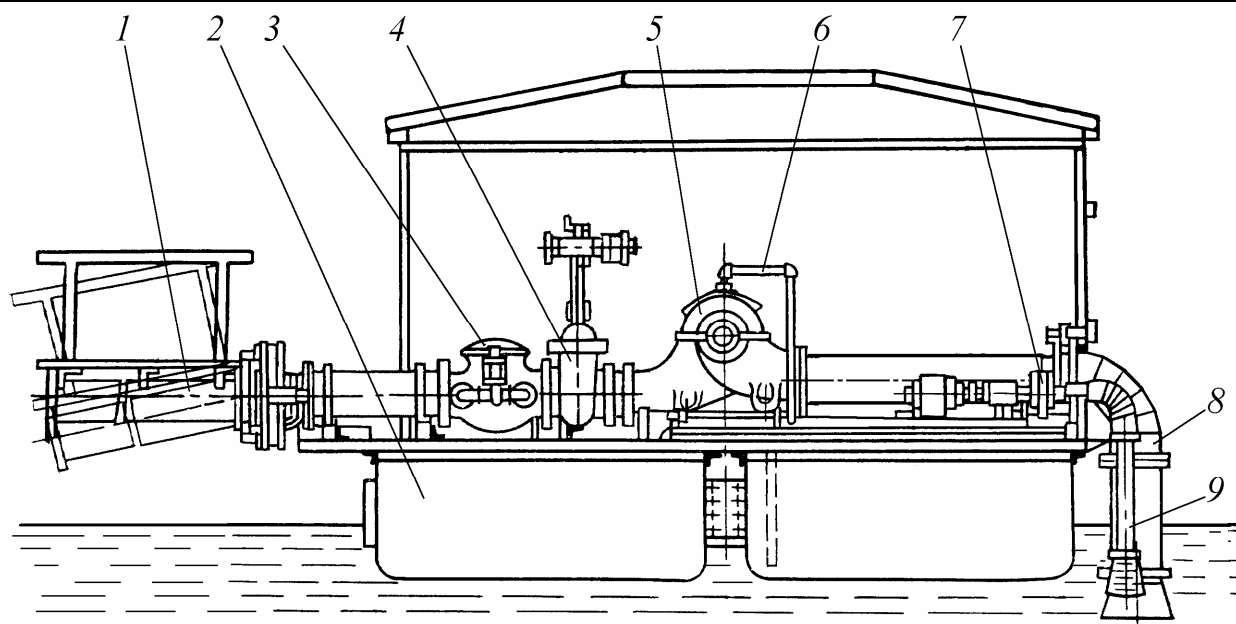


Рисунок 3.23 – Плавуча насосна станція: 1 – плавучий напірний трубопровід; 2 – понтон; 3 – зворотний клапан; 4 – засувка з механічним приводом; 5 – насос; 6 – заливальний трубопровід; 7 – допоміжний насос для заливання; 8 – усмоктувальний трубопровід з приймальним клапаном головного насоса; 9 – усмоктувальний трубопровід допоміжного насоса

зазвичай застосовують багатоступінчасті секційні відцентрові насоси типу *ЦНС*, які при значних витратах та напорах мають невеликі габарити. Оскільки на більшості гідрошахт застосовують замкнений цикл з оборотом води, водозабір здійснюється з резервуару, куди потрапляє відпрацьована вода зі збагачувальної фабрики.

3.3.2 Водопроводи і їхнє трасування.

Водопроводи на відкритих розробках, які живлять гідромоніторні установки напірною водою, підрозділяються на *магістральні*, *дільничні* і *забійні*. Аналогічно водоводам пульповоди розділяють на *кар'єрні*, що розташовуються в межах кар'єрного поля, *магістральні*, що подають пульпу з кар'єру до гідровідвала, *відвальні*, що подають пульпу на гідровідвалах і *намивні*, з яких пульпа безпосередньо укладається на поверхню гідровідвала.

В умовах гірничих робіт напірні трубопроводи монтуються із *суцільнотягнутих* або *зварених* сталевих труб. Суцільнотягнені труби мають максимальний зовнішній діаметр 426 мм при товщині стінки не менше 6 мм, що визначається технологією їхнього виробництва. Зварені труби виготовляються діаметром до 1000 мм і більше. Товщина стінок у них може бути менше, ніж у суцільнотягнутих труб.

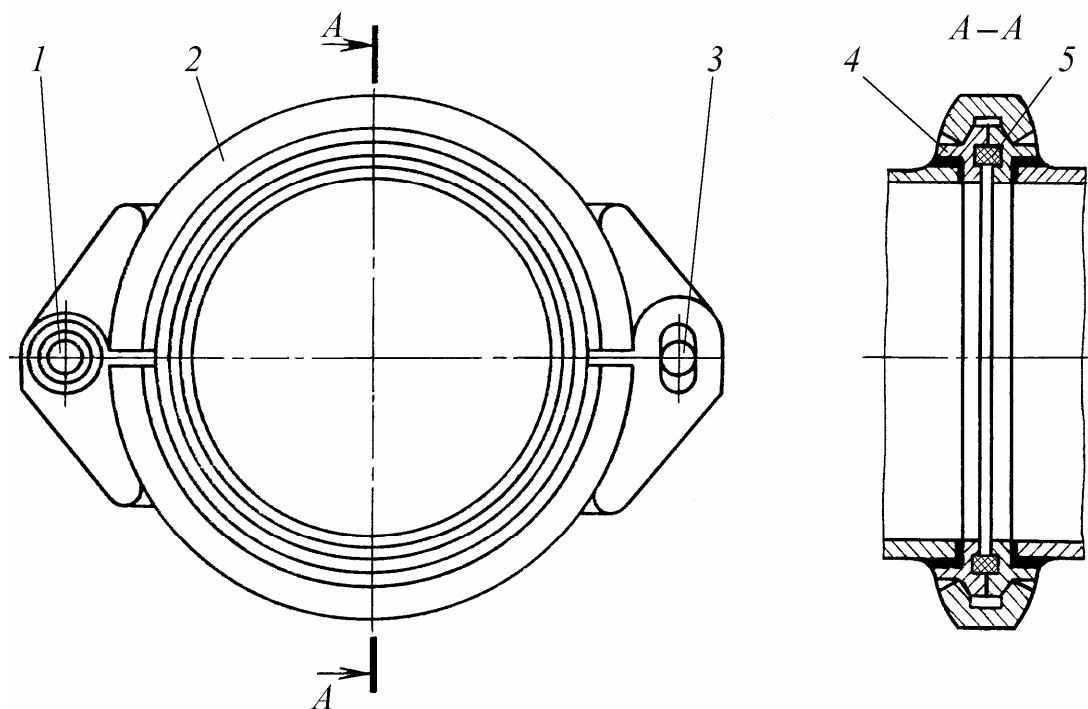


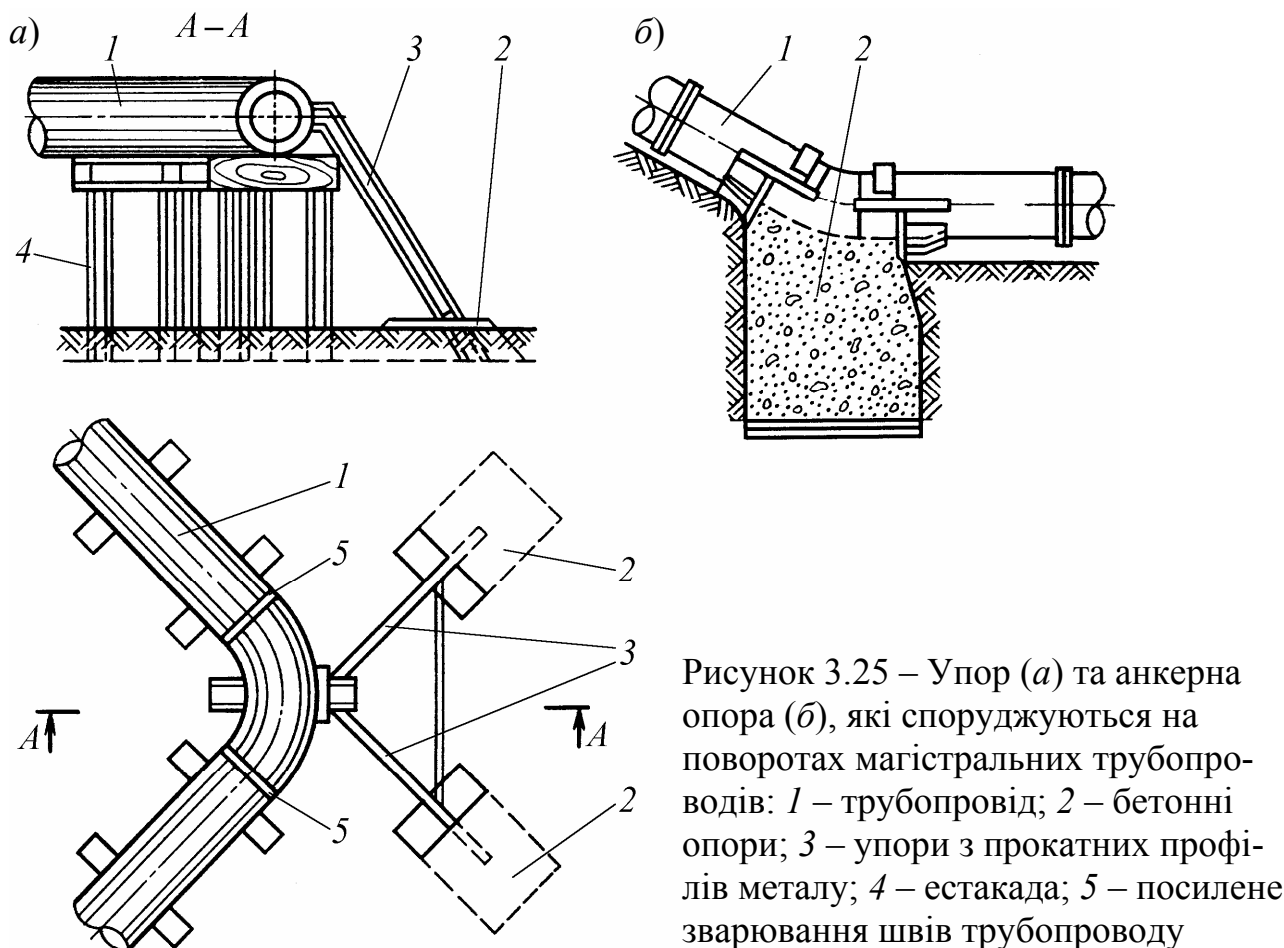
Рисунок 3.24 – Швидкокороз’ємне з’єднання: 1 – шарнір; 2 – хомути; 3 – клин; 4 – фланці; 5 – ущільнювальне гумове кільце

Магістральні трубопроводи в більшості випадків виконуються звареними. Забійні і дільничні трубопроводи монтуються на швидкокороз’ємних і фланцевих з’єднаннях.

Швидкокороз’ємне з’єднання, рис. 3.24, складається з двох фланців 4, хомута 2 і клина 3. Фланці надягаються на кінці труб і приварюються електрозварюванням. Зовнішня поверхня фланців має конічну форму, яка відповідає внутрішній конічній формі хомута. В кільцеву виточку одного з фланців вставляється ущільнювальне гумове кільце 5, після чого підводиться і центрується фланець наступної секції труби. На зімкнені фланці надягається хомут 2 (який складається з двох половин, з’єднаних віссю 1) і стягується клином 3 до змикання фланців.

Швидкокороз’ємні з’єднання розраховані на тиск до 12 МПа. Вони дозволяють зменшити трудомісткість робіт з монтажу та демонтажу трубопроводів, підвищують надійність їхньої роботи.

Траса водопроводів і пульповодів вибирається з умови одержання мінімальної довжини і мінімального числа кутів повороту. Небажано мати по трасі знижені ділянки, на яких можливе скупчення води і пульпи при зупинках. При несприятливому рельєфі місцевості варто передбачати планування або підсипання траси трубопроводу й укладати труби на опорах. В найвищих місцях встановлюють *вантузи* для випуску повітря, а в найнижчих — водоспускні засувки.



Пульповоди укладають в основному на лежнях. Лежні розраховують на тиск $0,5 \dots 1 \text{ кгс/см}^2$ і розташовують по двох на кожну трубу. Опори застосовують в основному при наявності пересіченого рельєфу місцевості. У слабких породах застосовують забивні пальові опори. Високі опори виконуються з підкосом. При довжині труб 6 м відстані між опорами приймають від 2 до 4 м. Під труби довжиною 8 м встановлюють три опори.

У результаті руху рідини і впливу ваги труби в пульповоді виникають зусилля. Для сприйняття цих зусиль і запобігання порушення стиків труб магістральні трубопроводи на поворотах повинні бути закріплені упорами або анкерами, рис. 3.25. Осьові анкери встановлюються в основному в місцях зміни траси у вертикальній площині. Кутові анкери сприймають зусилля в кутах повороту. При установці анкерів кілька ланок труб, що примикають до повороту, повинні бути з'єднані на фланцях. Для зменшення динамічних сил у кутах повороту трубопроводу останні не повинні перевищувати $40 \dots 45^\circ$. У випадку розташування трубопроводів на естакадах осьові анкери встановлюються через кожні 500 м.

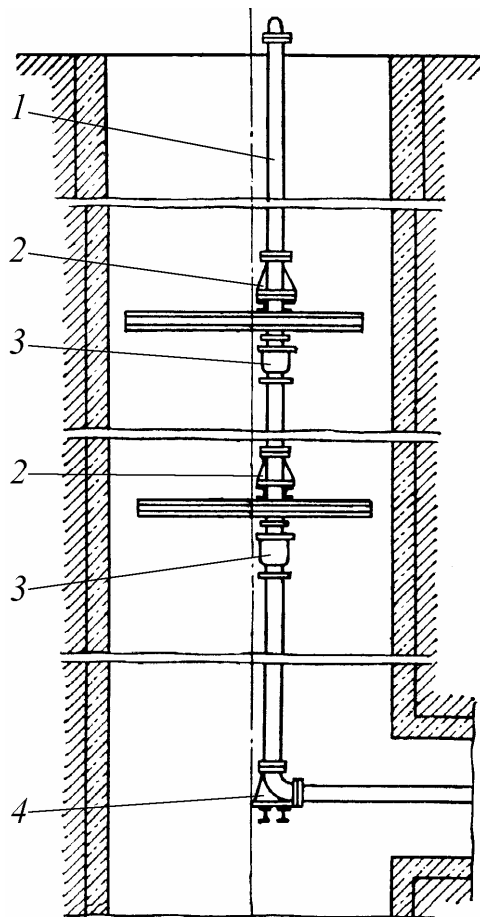


Рисунок 3.26 – Конструкція кріплення напірного трубопроводу в стволі шахти:
 1 – трубопровід; 2 – опорні стільці;
 3 – сальникові компенсатори; 4 – коліно

Трубопроводи гідрошахт за величиною робочого тиску розділяють на трубопроводи низького тиску (до 1 МПа), середнього тиску (1 ... 6,4 МПа) та високого тиску (вище 6,4 МПа); за місцем прокладання підрозділяються на поверхневі магістральні, поверхневі майданчикові, підземні магістральні та підземні дільничні.

Для напірних трубопроводів застосовуються сталеві безшовні гарячедеформовані труби, які з'єднуються фланцями або за допомогою швидкокороз'ємних з'єднань. Особливої уваги слід приділяти монтажу вертикального трубопроводу в стволі шахти, рис 3.26. Трубопровід 1 складається з кількох секцій довжиною 100 ... 120 м кожна. Секції монтуються на спеціальних балках, які сприймають їхню вагу через опорні стільці 2 або коліно 4. Для компенсації температурної деформації труб та рівномірного розподілу ваги трубопроводу між опорами, секції з'єднуються одна з одною сальниковими компенсаторами 3, які допускають деяке осьове переміщення. Через кожні 10 ... 20 м труби фіксуються хомутами, щоб попередити вигин та втрату стійкості секції.

3.3.3 Трубопровідна арматура

Трубопровідна арматура (засувки, вентилі, зворотні клапани, з'єднання трубопроводів) є одним із самих масових видів технологічного устаткування гідромеханізованих гірничих підприємств і призначена для керування потоками води і пульпи в системах технологічного водопостачання, гідротранспорту і гідропідйому. Надійність трубопровідної арматури багато в чому визначає стійкість роботи цієї системи.

На гірничих підприємствах застосовується спеціальна трубопровідна арматура, яка експлуатується в специфічних умовах: по трубопроводах транспортується вода, забруднена частками вугілля і породи; у підземних умовах утруднені монтажні-демонтажні роботи та існує вибухонебезпечність навколишньої газової середовища, що ставить додаткові вимоги до приводів затворів. Тому загальними вимогами до конструкції елементів трубопровідної арматури є виготовлення деталей запірної частини з міцних матеріалів та можливість заміни швидкозношуваних деталей без демонтажу корпусу пристрою з трубопроводу. Бажаним є також застосування швидкокороз'ємних з'єднань як для приєднання пристрою до трубопроводу, так і для з'єднання корпусних деталей самого пристрою.

Засувки призначені для повного або часткового перекриття перетину трубопроводу з метою зупинки чи регулювання потоку.

Засувки, рис. 3.27, складаються з корпусу 1, який має два приєднувальні патрубки; запірної частини 2 клиноподібної форми, який рухається уверх–униз штоком 3 і, притискаючись до сидла відповідної форми, виконаного у корпусі 1, перекриває прохід рідини; кришки 4 з ущільненням 5 (сальникового типу або за допомогою гумових кілець, манжет) та приводу запірної частини.

Засувки випускаються з ручним або механізованим приводом. У ручному виконанні, рис. 3.27 а, привод складається зі шпинделя 6, на якому нарізана різьба, і маховика 7, обертанням якого шпиндель приводиться у поступальний рух. На великих засувках обертальний момент посилюється за допомогою конічної зубчастої пари.

Для полегшення керування водопостачальними, водовідливними та гідротранспортними системами бажано встановлювати засувки з механізованим приводом, які забезпечують значно більшу швидкість засувки, дозволяють керувати засувкою дистанційно (наприклад, з пульта диспетчера), а також застосовувати засоби автоматизації керування гідравлічними системами. Найбільше розповсюдження

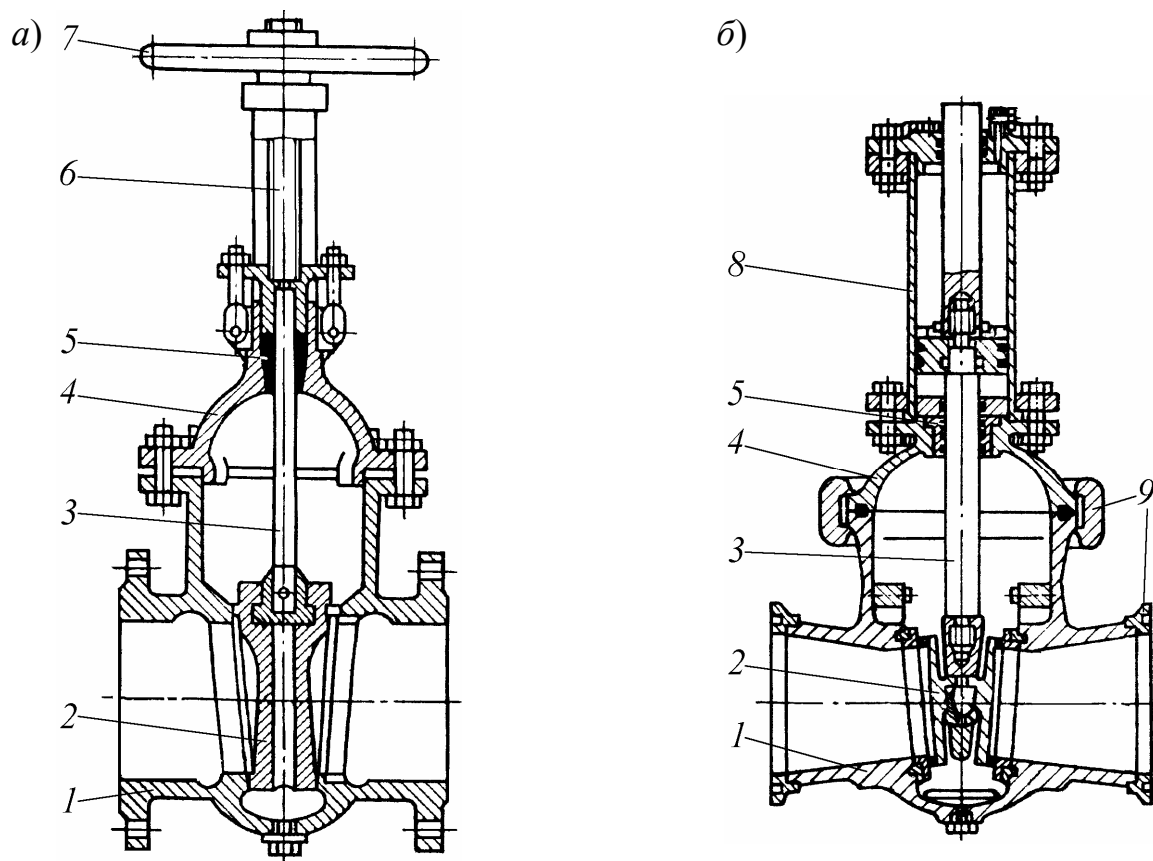


Рисунок 3.27 – Конструкції засувки з ручним (а) та гідравлічним (б) приводом: 1 – корпус; 2 – запірний орган; 3 – шток; 4 – кришка; 5 – ущільнення (сальник); 6 – шпindel; 7 – маховик; 8 – гідроциліндр; 9 – швидкокороз’ємні з’єднання

отримали гідравлічний та електромеханічний приводи. Гідравлічний привод, рис. 3.27 б, являє собою гідроциліндр 8, поршень якого безпосередньо зв’язаний зі штоком 3 запірного органа 2. Такий привод є простим за конструкцією, надійним, вибухобезпечним, але потребує наявності маслостанції для живлення гідроциліндра.

Електромеханічний привод складається з електродвигуна і редуктора, тихохідна шестерня якого має порожній вал з різьбою, аналогічною різьбі на маховику. Привод встановлюється замість маховика 7, рис. 3.27 а, шпindel 6 проходить крізь вал редуктора. Електромеханічний привод простіше вбудовується у системи дистанційного і автоматичного керування, але є вибухонебезпечним.

Зворотні клапани служать для автоматичного герметичного перекривання трубопроводу і запобігання руху потоку в зворотному напрямку при відключенні насоса. Клапани, рис. 3.28 а, складаються з корпусу 1, що має вхідний і вихідний патрубки, запірного органа 2 і кришки 3. Запірний орган тарілчастого типу обертається навколо горизонтальної вісі. При прямому русі рідини потік відкриває клапан, повертаючи запірний орган 2 уверх до зіткнення з упором на

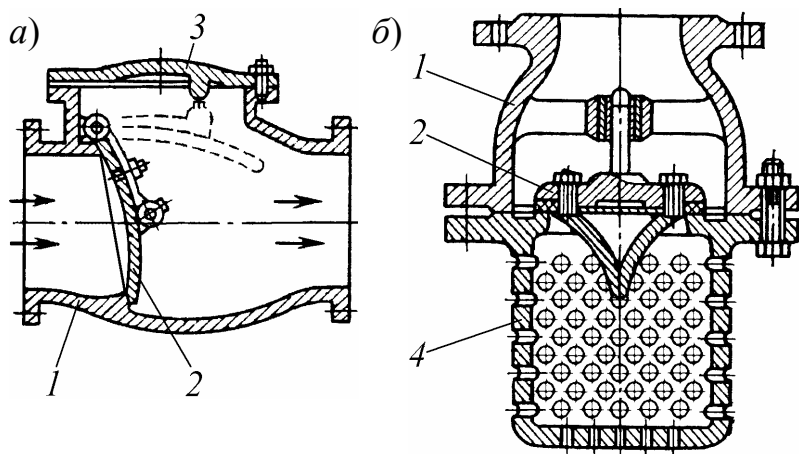


Рисунок 3.28 – Конструкції зворотного клапана (а) та приймального пристрою (б): 1 – корпус; 2 – запірний орган; 3 – кришка; 4 – сітка

кришці 3. При зміні напрямку руху рідини запірний орган 2 під дією власної ваги та впливом потоку притискається до сідла, виконаного у корпусі 1, і перекриває трубопровід. Для забезпечення герметичності клапана у закритому стані сідло або запірний елемент оснащуються гумовим ущільнювальним кільцем.

На вході в усмоктувальний трубопровід насоса встановлюється **приймальний пристрій**, рис. 3.28 б, який складається з корпусу 1, зворотного клапана 2 і сітки 4. Сітка 4 запобігає попаданню в насос негабаритного твердого матеріалу. Зворотний клапан 2 забезпечує можливість руху рідини лише знизу вверх і потрібен для утримання рідини в усмоктувальному трубопроводі та насосі під час заливання насоса перед пуском. Запірні органи зворотних клапанів приймальних пристроїв виконують тарілчастими (див. рис. 3.28 б) або у формі кулі, поверхня якої вкрита гумою.

Приймальний пристрій повинен мати достатню пропускну здатність та малий гідравлічний опір, щоб не спричинити розрядження в усмоктувальному патрубці насоса, яке може привести до виникнення кавітації. Гідравлічний опір пристрою може збільшитися через засмічення приймальної сітки, тому стан пристрою треба контролювати і періодично очищувати сітку від забруднення.

Вантузи призначені для випуску повітря з трубопроводів при заповненні їх рідиною і впуску повітря при зливі середовища з трубопроводів. Вантузи необхідно встановлювати в найвищій точці трубопроводу.

Вантуз, рис. 3.29, має запірний орган 3, з'єднаний тягою з поплавцем 6. Тяга проходить через напрямні втулки 8. Принцип роботи вантуза полягає в наступному. Якщо трубопровід і кожух 7 вантуза заповнені повітрям, поплавець 6 і запірний орган 3 знаходяться у нижньому положенні, між запірним органом і сідлом 5 існує

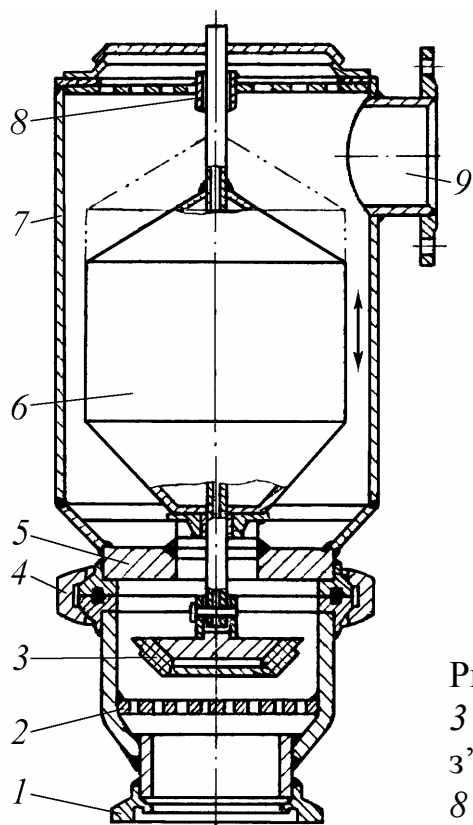


Рисунок 3.29 – Вантуз: 1 – фланець; 2 – сітка; 3 – запірний орган; 4 – швидкокороз’ємне з’єднання; 5 – сідло; 6 – поплавець; 7 – кожух; 8 – напрямна втулка; 9 – випускний патрубок

зазор, через який повітря вільно виходить з трубопроводу до кожуха 7 і далі через отвори у його кришці — в атмосферу. Коли при заповненні трубопроводу водою в порожнину кожуха 7 вантуза надходить рідина, поплавець 6 спливає. Запірний орган 3 піднімається і притискається до сідла 5, зупиняючи подальший рух рідини.

При зменшенні тиску в трубопроводі нижче атмосферного запірний орган 3 зрушується униз, відкриваючи доступ у трубопровід атмосферному повітрю.

Зазор між запірним органом 3 і сідлом 5 ущільнюється гумовою манжетою, чим досягається необхідна щільність перекривання вантуза. У процесі експлуатації ведеться періодичний контроль за станом гумової манжети, що ущільнює, і робиться очищення запобіжної сітки від забруднення.

Питання для самоперевірки.

1. Що входить до комплексу водопостачання гідромеханізованих підприємств?
2. Що застосовується у водопостачанні як джерела води ?
3. Що застосовується для зберігання та накопичення води ?
4. Назвіть способи подачі води до споживача.
5. Назвіть основні недоліки схеми прямого водопостачання.
6. Яким чином вибирається спосіб водопостачання?
7. З чого складаються утрати води у вибої?
8. Назвіть особливості водопостачання при гідромеханізації підземних робіт.
9. Які схеми водопостачання застосовують на гідрошахтах?
10. У чому полягає розрахунок водопостачальної мережі?
11. З чого складаються сумарні витрати на перекачування рідини?
12. Що включають капітальні та експлуатаційні витрати у системі водопостачання?
13. Як визначається оптимальний зовнішній діаметр трубопроводу?
14. Що є вихідними даними для розрахунку системи водопостачання?
15. Як здійснюється вибір насоса та визначення його робочого режиму?
16. Які типи відцентрових насосів застосовуються у системах водопостачання?
17. Що називають нормальними характеристиками насоса?
18. Що є робочим режимом та зоною промислового використання насоса?
19. Назвіть способи регулювання подачі відцентрових насосів.
20. Як визначають робочий режим насосів при їх паралельному та послідовному включенні?
21. Як визначають робочий режим при розташуванні перекачувальних станцій на значній відстані одна від одної?
22. Що таке гідравлічний удар? Назвіть способи запобігання гідравлічних ударів при експлуатації гідроустановок.
23. Як поділяються насосні станції за характером роботи та за призначенням?
24. Які переваги мають плавучі насосні станції? Коли їх застосування є доцільним?
25. Що таке швидкороз'ємне з'єднання? Для чого воно призначене?
26. Як укладають трубопроводи?
27. Що являє собою трубопровідна арматура? Для чого вона призначена?
28. Які види трубопровідної арматури застосовуються у гідротранспортних та водопостачальних мережах гідромеханізованих гірничих підприємств?

4 ГІДРАВЛІЧНИЙ ТРАНСПОРТ ГІРСЬКОЇ МАСИ

4.1 Загальні відомості. Фізичні основи гідротранспорту

На всіх гідромеханізованих підприємствах обов'язковою ланкою технологічного процесу є *гідравлічне транспортування гірської маси* усередині гірничого підприємства і, часто, за його межами.

Гідравлічним транспортом (гідротранспортом) називається процес переміщення твердих матеріалів потоком води, або в окремих випадках — потоком інших рідин.

За принципом дії розрізняють гідротранспорт безнапірний і напірний. При **безнапірному** гідротранспорті суміш води і твердого матеріалу (*гідросуміш*), рухаючись по похилому руслу (грунт, лотки і частково заповнені труби), має вільну поверхню, на якій тиск дорівнює атмосферному. **Напірний** гідротранспорт здійснюється по трубах під надлишковим тиском. Цей тиск створюється спеціальними насосами, призначеними для роботи на гідросуміші, або за рахунок різниці висот початку і кінця трубопроводу.

Для гідротранспорту застосовуються трубопроводи і жолоби, у межах робочої площадки гідровибобою транспорт здійснюється по ґрунті та по канавках.

З точки зору гідродинамічних процесів переносу твердих часток рідиною принципово різними є випадки руху гідросуміші горизонтальним і вертикальним трубопроводами.

4.1.1 Поняття про гідравлічну крупність часток

Перенос потоком води твердих часток, щільність яких більша, ніж щільність води (піску, часток породи, вугілля та ін.), стає можливим за рахунок гідродинамічної взаємодії часток з рідиною. Показником, який найповніше характеризує рух твердого тіла у вертикальному потоці рідини, є *гідравлічна крупність*.

Розглянемо частку, яка рухається у необмеженому об'ємі рідини, рис. 4.1. Рух частки визначається силами, що діють на неї: сила ваги частки G , сила, що виштовхує (архімедова сила) P_A , та сила динамічного опору рідини P . Рівняння руху частки

$$G - P_A - P = m \frac{dv}{dt}, \quad (4.1)$$

де m — маса частки; v — швидкість руху частки. Якщо частка рухається з постійною швидкістю, маємо

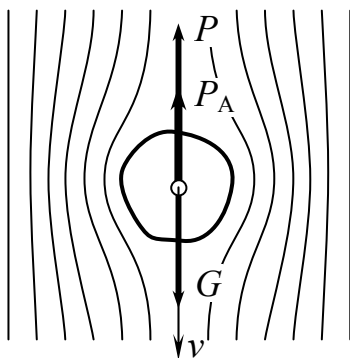


Рисунок 4.1 – Сили, що діють на частку, яка падає у рідині

$$G - P_A - P = 0. \quad (4.2)$$

Швидкість усталеного падіння частки у необмеженому об'ємі рідини під дією власної ваги називають її **гідравлічною крупністю**.

Силу ваги та архімедову силу можна визначити за формулами

$$G = \rho_t g V \quad \text{та} \quad P_A = \rho g V, \quad (4.3)$$

де ρ_t – щільність матеріалу частки; ρ – щільність рідини; V – об'єм частки.

Сила опору P визначається багатьма факторами. У загальному випадку сила P залежить від швидкості обтікання частки потоком рідини та режиму обтікання (ламінарного або турбулентного), щільності та в'язкості рідини, розмірів, форми та якості поверхні частки. Формування сили P зумовлено двома чинниками: гідродинамічною взаємодією частки та рідини та силами рідинного тертя. Встановлено, що останні значною мірою проявляються при русі тонких тіл, довгастих, або тіл обтічної форми (наприклад, корпусів субмарин). При русі у рідині тіл необтічної форми, до яких відносяться породні або вугільні частки, дія сил тертя незначна у порівнянні з дією гідродинамічних сил, і нею можна знехтувати.

При турбулентному режимі обтікання частки рідиною силу гідродинамічного опору можна визначити за формулою

$$P = C F \rho v_0^2, \quad (4.4)$$

де C – коефіцієнт опору руху тіла; v_0 – швидкість обтікання частки потоком (відносна швидкість частки); F – площа *міделевого перетину* — перетину частки, нормального до вектора відносної швидкості.

Частки корисних копалин і породи характеризуються складною геометричною формою. Проте, для розрахунків і аналітичних досліджень їх можна умовно вважати тілами кулеподібної форми з об'ємом, що дорівнює об'єму частки, і деяким діаметром $d = \sqrt[3]{6V/\pi}$. Тоді

$$F = \pi d^2 / 4 \quad \text{та} \quad V = \pi d^3 / 6.$$

Підставивши вирази (4.3) у рівняння (4.2), отримуємо:

$$\rho_{\tau} g \frac{\pi d^3}{6} - \rho g \frac{\pi d^3}{6} - C \frac{\pi d^2}{4} \rho v_0^2 = 0,$$

або

$$(\rho_{\tau} - \rho) g \frac{d}{3} - C \frac{\rho v_0^2}{2} = 0.$$

Перетворивши рівняння, отримаємо наступні залежності:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{g d}{C} \frac{\rho_{\tau} - \rho}{\rho}}; \quad (4.5)$$

$$C = \frac{2}{3} \frac{g d}{v_0^2} \frac{\rho_{\tau} - \rho}{\rho}. \quad (4.6)$$

Залежність (4.5) дозволяє визначити швидкість падіння твердої частки у рідині, тобто її *гідравлічну крупність* v_0 . Для користування цією формулою треба знати параметри d та C . Перший параметр — діаметр рівнооб'ємної кулі — для часток породи, що транспортується, визначити точно досить важко. Це пояснюється як відсутністю визначеної геометричної форми у часток, так і значною неоднорідністю їхніх розмірів. У практиці гідромеханізації для визначення розмірів часток користуються ситовим аналізом, вибираючи середньозважений розмір часток або інші показники гранулометричного складу. Докладніше про це див. у п. 4.2.

Коефіцієнт опору C , який залежить від форми тіла, що рухається у рідині, та від режиму обтікання тіла рідиною, визначається експериментально. Для цього дослідним шляхом визначають гідравлічну крупність деякого тіла, або класу тіл (наприклад, куль різних розмірів і щільностей, або часток породи) і за формулою (4.6) визначають коефіцієнт опору для цього класу. Так, для часток піску або породи зі щільністю 2700 ... 2800 кг/м³, розміром від 0,001 мм до 30 мм залежність гідравлічної крупності від розміру d наведено на рис. 1.1.

Значення коефіцієнта опору, що відповідають цим даним, у залежності від числа Рейнольдса $Re = v_0 d / \nu$, наведені на рис. 4.2. Як видно з графіка, зі збільшенням Re значення C стабілізується. Це означає, що у турбулентному режимі обтікання значення коефіцієнту опору не залежить від швидкості руху частки. На рис. 1.1 перехід від ламінарного до турбулентного режиму обтікання часток піску виражений зломом лінії графіку в районі $d \approx 1$ мм. Частки меншого розміру мають ламінарне обтікання, більші — турбулентне.

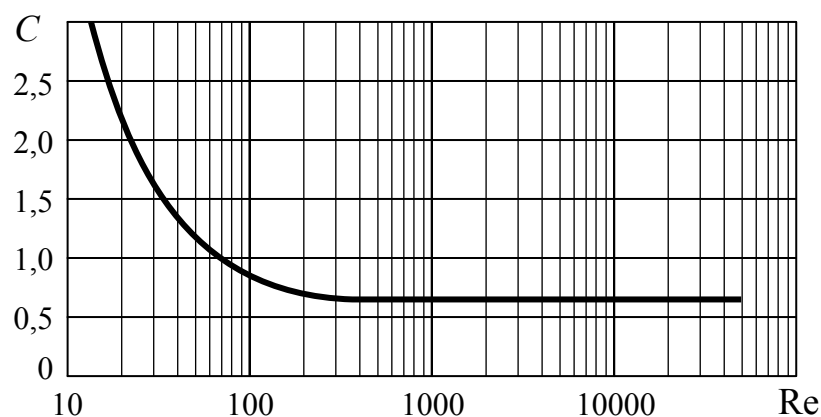


Рисунок 4.2 – Залежність коефіцієнту опору від числа Рейнольдса для часток піску

При турбулентному режимі обтікання часток коефіцієнт C визначається формою частки та шорсткістю її поверхні. Експериментальні дослідження [61], проведені над тілами різної форми, показали значення коефіцієнту C , наведені в табл. 4.1.

4.1.2 Рух гідросуміші у вертикальному трубопроводі

Вертикальне транспортування (підйом) рідиною часток, які мають щільність, більшу, ніж щільність рідини, можна розглядати як безупинне падіння часток у потоці, що рухається нагору, причому швидкість цього падіння (або відставання часток від рідини) дорівнює гідравлічній крупності часток. Якщо швидкість потоку рідини v_p , швидкість руху частки складатиме $v_{\text{ч}} = v_p - v_0$.

Тому можна стверджувати, що підйом твердих часток вертикальним потоком рідини можливий лише за умови, що швидкість потоку перевищує швидкість падіння часток у рідині.

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнту гідродинамічного опору

Тіло, матеріал	$C = \frac{2}{3} \frac{g d}{v_0^2} \frac{\rho_{\text{т}} - \rho}{\rho}$
Стальний шар	0,20 ... 0,25
Гравій добре обкатаний	0,40 ... 0,65
Гравій необкатаний	0,60 ... 0,83
Гравій пластинчастої форми	0,85 ... 1,00
Пісок зернистий	0,65 ... 0,95
Куски породи розміром 2,5 ... 50 мм	0,80 ... 1,25
Куски вугілля розміром 2,5 ... 50 мм	0,70 ... 1,15
Куски вугілля плоскої форми розміром 47 ... 70 мм	1,10 ... 1,50

Мінімальну швидкість потоку, при якій можливий гідротранспорт деякого твердого, називають **критичною**.

Наведений вище аналіз руху часток у рідині передбачав наявність необмеженого об'єму цієї рідини. У реальних умовах гідротранспорту об'єм рідини обмежений стінками трубопроводу. Крім того, у русі приймають участь не одна, а велика кількість часток, які також впливають на рух частки, що розглядається.

Рух (падіння) частки в обмеженому об'ємі рідини називають **стиснутим**. Розглянемо частку, що падає у трубі діаметром D , заповненій рідиною, рис. 4.3 а. Рухаючись з деякою швидкістю $v_{\text{ст}}$, частка, яку можна розглядати як “поршень”, витісняє рідину. Рідина обтікає частку, рухаючись у просторі між часткою і стінками труби зі швидкістю v_p у напрямку, протилежному напрямку руху частки. Це збільшує відносну швидкість обтікання частки рідиною:

$$v_0 = v_{\text{ст}} + v_p. \quad (4.7)$$

Швидкість v_p можна визначити з тієї умови, що витрати рідини, яку витісняє частка, має дорівнювати “витраті” самої частки, тобто добутку її швидкості та поперечного перетину. Якщо умовно вважати частку сферичною з діаметром d , для перетину $I-I$ має виконуватися рівняння

$$v_p \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = v_{\text{ст}} \frac{\pi d^2}{4}, \quad \text{або} \quad v_p = v_{\text{ст}} \frac{d^2}{D^2 - d^2}. \quad (4.8)$$

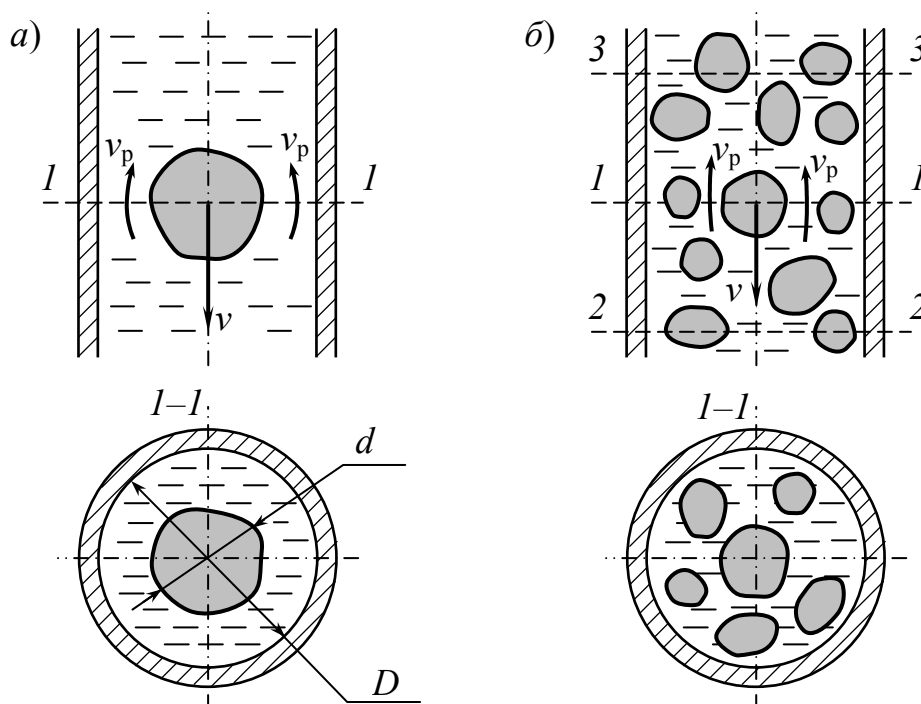


Рисунок 4.3 – Стиснуте падіння твердих часток у рідині (а) та у гідросуміші (б)

Підставивши вираз (4.8) у рівняння (4.7) та виконавши перетворення, знайдемо швидкість стиснутого падіння частки у трубі:

$$v_{\text{ст}} = v_0 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right), \quad (4.9)$$

тобто швидкість падіння частки, стиснутого стінками труби, менша, ніж швидкість вільного падіння. Однак різниця між цими швидкостями стає помітною при порівнянних діаметрах частки і труби. Так, при $d = 0,5D$ $v_{\text{ст}} = 0,75 v_0$, а при $d = 0,1D$ $v_{\text{ст}} = 0,99 v_0$, тобто для досить дрібних часток стиснення стінками труби практично не виявляється.

Стиснення падіння часток у гідросуміші, зумовлене взаємовпливом самих часток, має аналогічну природу. У цьому випадку витіснення рідини здійснюється не тільки часткою, що розглядається, а й іншими частками, які знаходяться у тому ж перетині труби, рис. 4.3 б. До того ж, площа перетину, вільна від часток, зменшується. Тому швидкість v_p буде більшою у порівнянні з рухом одиночної частки, що призведе до зменшення швидкості падіння частки v .

Ступінь взаємного впливу часток залежить від їхньої кількості у гідросуміші, тобто вмісту твердої фракції. Мірою вмісту твердого у гідросуміші є **концентрація** — відношення кількості (об'єму чи маси) твердого до об'єму чи маси гідросуміші:

$$S = \frac{T}{T + P}, \quad (4.10)$$

де T і P — кількість твердої та рідкої фракцій. Якщо мірою кількості є об'єм — концентрацію називають *об'ємною*, якщо маса — *масовою*.

Розрізняють витратну і дійсну концентрацію гідросуміші.

Витратна концентрація гідросуміші визначається за залежністю (4.10), причому підраховується кількість твердої та рідкої фаз, які проходять за одиницю часу через деякий перетин труби, тобто їхні витрати у гідравлічному розумінні цього терміну. Витратна концентрація легко визначається і тому отримала поширення у практичних розрахунках. Наприклад, якщо відомо, що гідротранспортна установка має продуктивність $Q_T = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ породи, при цьому витрата води складає $Q_B = 900 \text{ м}^3/\text{год}$, витратну концентрацію можна визначити як

$$S = \frac{Q_T}{Q_T + Q_B} = \frac{100}{100 + 900} = 0,1. \quad (4.11)$$

Для гідротранспортної установки, що працює в усталеному режимі, витратна концентрація буде незмінною уздовж всієї траси гідротранспорту.

Однак, різні швидкості переміщення по трубопроводу твердої і рідкої фаз призводять до невідповідності витратної концентрації реальному співвідношенню об'ємів твердої і рідкої фаз. У вертикальному висхідному та горизонтальному трубопроводах має місце відставання твердих часток від рідини. У вертикальних спадних трубопроводах, навпроти, тверді частки під дією гравітації “обганяють” рідину.

Якщо “сфотографувати” у деякий момент часу гідросуміш, що рухається, то **дійсну концентрацію** гідросуміші можна визначити як відношення сумарного об'єму часток твердої фракції між деякими двома перетинами трубопроводу (перетини 2 – 2 і 3 – 3, рис. 4.3 б), до об'єму труби між цими перетинами. Відставання твердої фракції від рідкої призведе до збільшення дійсної концентрації на величину, що залежить від розміру, щільності, концентрації і форми твердих часток, діаметра трубопроводу і кута його нахилу, а також від середньої швидкості гідросуміші. Крім того, для горизонтального або похилого трубопроводу під дією гравітації формується неоднорідність гідросуміші по перетині труби: концентрація буде більшою у нижній частині перетину.

Для вертикального трубопроводу при русі гідросуміші знизу нагору різниця між дійсною та витратною концентраціями залежить від співвідношення швидкості руху пульпи та швидкості стиснутого падіння часток. Приблизний вигляд цієї залежності показано на рис. 4.4. Якщо швидкість гідросуміші значно вище, ніж швидкість падіння часток у рідині, значення дійсної та витратної концентрацій майже співпадають. У випадку ж, коли ці швидкості порівнянні, дійсна концентрація помітно перевищує витратну. При зменшенні швидкості пульпи нижче швидкості падіння гідротранспорт стає неможливим.

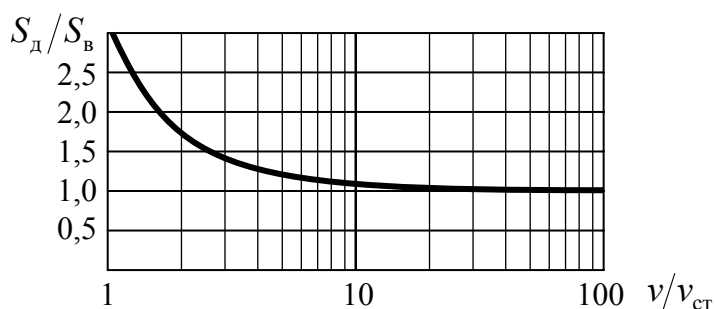


Рисунок 4.4 – Залежність дійсної концентрації гідросуміші від швидкості її руху у вертикальному трубопроводі

З урахуванням взаємного впливу часток у гідросуміші, за даними [62], швидкість стиснутого падіння частки становить

$$v_{\text{ст}} = v_0 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) (1 - S)^n, \quad (4.12)$$

де n — показник степеня, значення якого залежить від концентрації суміші: при $S = 0 \dots 0,05$ — $n = 1$; при $S = 0,05 \dots 0,20$ — $n = 2$; при $S = > 0,20$ — $n > 2$.

4.1.3 Рух гідросуміші у горизонтальному трубопроводі

Процес переносу твердих часток горизонтальним потоком значно відрізняється від розглянутого вище. Головними чинниками тут є турбулентний режим руху рідини та нерівномірність поля швидкостей по перетині труби.

Існує два режими руху рідини: *ламінальний* і *турбулентний*. Для першого характерним є рух рідини паралельними шарами, без перемішування, рис. 4.5 а, другий же супроводжується завихреннями та пульсацією миттєвих швидкостей рідини, рис. 4.5 б. Ламінарний режим руху спостерігається у потоках, для яких значення числа Рейнольдса не перевищують 2320 — зазвичай при русі масел та інших в'язких рідин. У системах гідротранспорту турбулентний режим є основною формою руху гідросуміші.

Якщо розглянути деяку точку устояного потоку, при ламінарному русі величина і напрям вектору миттєвої швидкості у цій точці будуть незмінними. При турбулентному ж русі вектор миттєвої швидкості буде постійно змінювати як величину, так і напрям. Тому в турбулентному потоці завжди існує рух рідини у напрямку, перпендикулярному вісі потоку. Цей рух призводить до постійного перемішування рідини і сприяє перенесенню твердих часток.

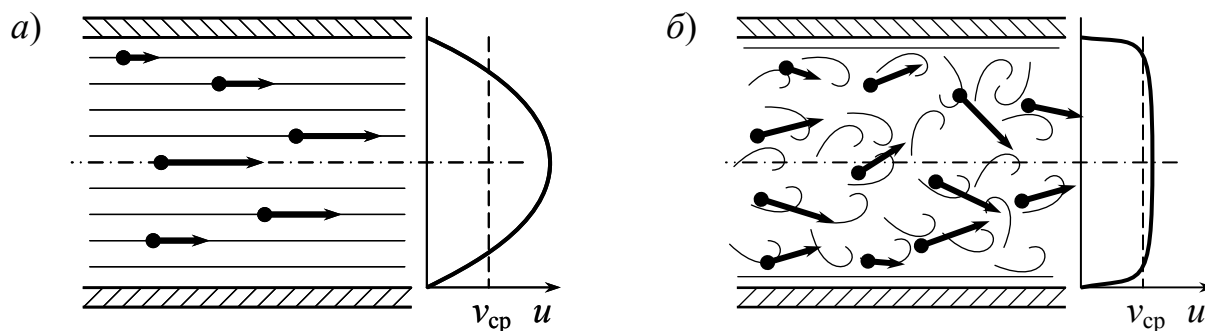


Рисунок 4.5 – Характер руху рідини та поля швидкостей при ламінарному (а) та турбулентному (б) режимах

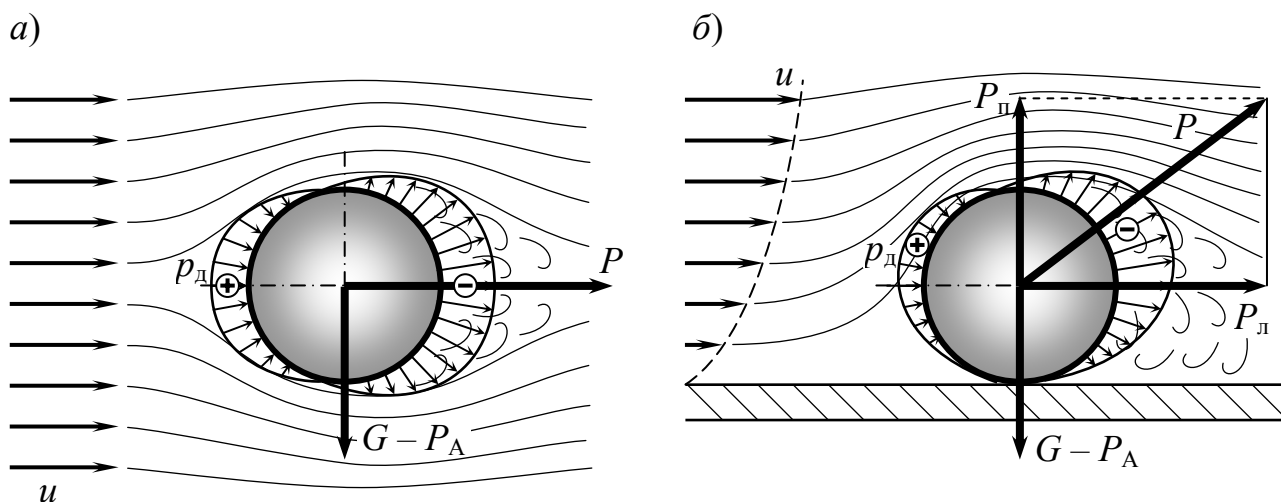


Рисунок 4.6 – Характер обтікання кулі необмеженим потоком (а) та потоком, обмеженим стінкою труби (б)

Зважування твердих часток пояснюється гідродинамічною картиною обтікання їх потоком. Розглянемо обтікання горизонтальним потоком тіла сферичної форми. Якщо тіло обтікається необмеженим потоком з рівномірним розподілом швидкостей, рис. 4.6 а, зони високого та низького тисків розташовані на ньому симетрично відносно напрямку руху рідини, і вектор результуючої сили гідродинамічної взаємодії тіла з потоком також буде направлений горизонтально. Підйомна сила в цьому випадку буде відсутня і тіло під дією гравітації буде падати униз.

Зовсім інша картина спостерігається, якщо тіло лежить на поверхні, яка обмежує рух рідини, рис. 4.6 б. Це може бути стінка труби, дно лотка або шар гірської маси на дні. Поле швидкостей рідини у цьому випадку буде нерівномірним: з наближенням до твердої поверхні швидкість зменшується. Швидкість шарів рідини, що знаходяться безпосередньо біля поверхні, значно менша, ніж у середині потоку, див. епюри на рис. 4.5. Обтікання тіла стає несиметричним — верхня його частина обтікається з більшою швидкістю, ніж нижня, унаслідок чого на верхній частині тіла тиск буде меншим, ніж на нижній. Напрямок вектора результуючої сили зміниться і з'явиться вертикальна складова P_n — підйомна сила. Якщо швидкість руху рідини буде достатньою, величина підйомної сили перевищить вагу тіла і воно відірветься від дна.

У залежності від швидкості руху рідини можна виділити чотири стани тіла, що знаходиться в потоці:

1) швидкість руху потоку недостатня, щоб зрушити тіло з місця: вертикальна складова P_n гідродинамічної сили менша, ніж вага тіла, а

горизонтальна (лобова сила) $P_{\text{л}}$ — менша, ніж сила тертя між тілом і поверхнею, на якій воно лежить;

2) зі збільшенням швидкості потоку гідродинамічна сила зростає; вертикальна складова ще недостатня, щоб підняти тіло, але сумарна дія горизонтальної та вертикальної складових зрушує тіло з місця — залежно від форми воно *пересувається ковзанням* або *перекочується*;

3) швидкість потоку є такою, що вертикальна складова гідродинамічної сили перевищує вагу тіла та піднімає його; але, коли тіло попадає усередину потоку, де нерівномірність швидкостей менша і обтікання тіла стає більш симетричним, до того ж саме тіло набуває деякої швидкості, підйомна сила зменшується і тіло знову падає на дно; виникає режим транспортування “*стрибками*” — тіло піднімається потоком, переноситься на деяку відстань та знову падає;

4) на великій швидкості потоку інтенсивність турбулентного руху рідини стає такою, що тіло, будучи відірваним від дна, вже не повертається на нього, а транспортується у зваженому стані.

Для гідротранспортування корисних копалин та порід характерною є значна неоднорідність розмірів твердих часток. Зазвичай гідросуміш містить як дрібні пилюваті частки з гідравлічною крупністю кілька міліметрів за секунду, так і великі шматки породи розміром до 100 мм і зі швидкістю падіння у воді більше 1 м/с. Тому при деякій швидкості потоку умови транспорту часток, що утворюють гідросуміш, дуже різні.

Рух пульпи у трубопроводі має три характерні стадії, рис. 4.7: рух при великих швидкостях; рух при швидкостях, близьких до критичної швидкості гідротранспортування; рух при швидкостях, менших за критичну.

Рух при великих швидкостях характерний тим, що тверде транспортується при повному зважуванні часток без відкладення їх по дну труби, рис. 4.7 а. У цьому випадку частки породи більш-менш рівномірно розподіляються по перетині труби. Для дрібних часток рівномірний розподіл їх у потоці настає при відносно невеликих швидкостях, а при наявності крупношматкових фракцій потрібні швидкості 4 ... 6 м/с і більше. Такі швидкості можуть бути економічно не вигідними через великі втрати напору і, отже, високі питомі витрати енергії.

Критичною швидкістю гідротранспорту називають найменшу середню швидкість потоку, при якій все тверде рухається в

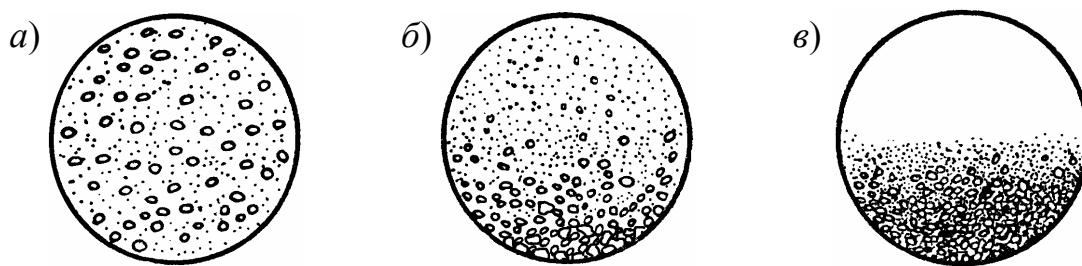


Рисунок 4.7 – Рух гідросуміші по трубах при великих швидкостях (а), при швидкостях, близьких до критичних (б) та при швидкостях замулення (в)

зважає на стані по живому перетині пульповоду. Критична швидкість передуює початку осадження часток породи даної крупності (тобто крупності, до якої віднесена критична швидкість). При критичній швидкості будуть найменші втрати напору при даній концентрації пульпи.

Рух при швидкостях, близьких до критичних, відбувається з концентрацією більш великих часток у дна труби, рис. 4.7 б. Особливо великі шматки пересуваються “стрибками” або котяться по стінці труби. Оскільки частки породи розподіляються по перетині труби нерівномірно, у цьому випадку гідросуміш не може розглядатися як однорідна.

При малих швидкостях руху частки породи починають випадати на дно труби й утворюються їхні відкладення, рис. 4.7 в. Однак, гідротранспорт за таких умов теж можливий, оскільки зменшення перетину труби за рахунок відкладень призводить до збільшення швидкості потоку, яка знов досягає значення критичної.

Величина критичної швидкості залежить від гідравлічної крупності часток породи, що транспортуються, гранулометричного складу матеріалу, його щільності, інших властивостей, концентрації пульпи і діаметра труби. Оскільки процес транспортування твердого горизонтальним потоком рідини є складним і зумовлений дією кількох чинників, знайти залежності, які б адекватно його описували, аналітично дуже складно. Тому отримали поширення методики розрахунку параметрів гідротранспорту (критичної швидкості, втрат напору) на основі емпіричних або полуміричних формул. Звичайно такі методики ґрунтуються на даних експериментів та мають певні обмеження у використанні. Існує багато таких методик (А. Є. Смолдирєва, В. В. Трайніса, А. П. Юфіна, В. С. Кнороза й ін.), кожна з яких орієнтована на деяку область застосування: транспорт вугілля, скельних порід, гравію, піску, глини, мулу, цементу, залізорудного концентрату, золи та ін. Основні методики розглянуті у п. 4.2.

4.2 Розрахунок гідротранспорту сипких матеріалів

4.2.1 Гранулометричний склад сипкого матеріалу

Як показано раніше, на параметри гідротранспорту, зокрема критичну швидкість транспортування та втрати напору, суттєвий вплив оказують розміри часток, що транспортуються. Твердий сипкий матеріал, що поступає на гідротранспорт, являє собою сукупність різних за розмірами шматків, розподіл яких по класам крупності характеризує його *гранулометричний склад*.

Для розподілу твердих матеріалів по класам крупності існує два основні методи: *просівання* та *седиментація*.

Перший метод передбачає послідовне просівання матеріалу на ситах з каліброваними отворами, що відповідають стандартизованим класам крупності. Спочатку матеріал потрапляє на сито з найбільшими отворами, яке відділяє найкрупнішу фракцію. Підситовий продукт, що містить лише частки, менші за отвори першого сита, потрапляє до наступного, з меншими отворами. Це сито відділяє від маси матеріалу частки, розмір яких більше за розмір його отворів (але менше розміру отворів попереднього сита). Після проходження матеріалу через усі сита у порядку зменшення розмірів отворів, на кожному із сит залишиться фракція з розміром часток у діапазоні $d_i \dots d_{i-1}$, де d_i та d_{i-1} — розміри отворів даного та попереднього сит ($d_i < d_{i-1}$). Ця фракція називається *класом крупності*.

Зважуванням кожного класу визначають ваговий вміст цього класу у матеріалі (у процентах або частках одиниці). Метод застосовують для класифікації відносно крупних матеріалів. Наприклад, гранулометричний склад вугілля на гірничих підприємствах звичайно визначають за такими класами: 0 ... 1 мм; 1 ... 3 мм; 3 ... 6 мм; 6 ... 13 мм; 13 ... 25 мм; 25 ... 50 мм; 50 ... 100 мм та більше 100 мм. Для такого розсіву потрібний набір з 7 сит: 1, 3, 6, 13, 25, 50 і 100 мм.

Седиментація або гідравлічна класифікація — розділення твердого матеріалу на дрібні класи під дією гравітації або відцентрової сили у водному або повітряному середовищі. Принцип гідравлічної класифікації полягає у виділенні із загальної маси часток, які осідають з деякою швидкістю в залежності від їхнього розміру. Класифікація здійснюється за допомогою гідравлічних класифікаторів, де частки осідають під впливом гравітації, або гідроциклонів, у яких на частки діє відцентрова сила. Важливо відзначити, що седиментація

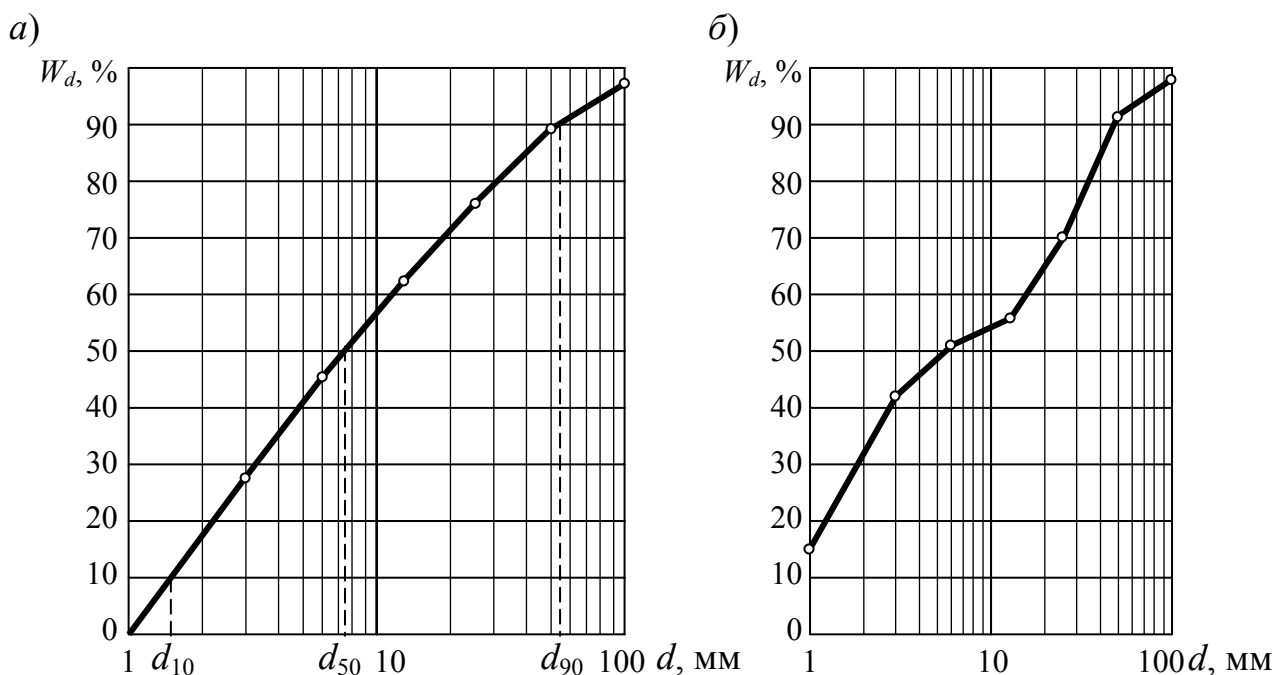


Рисунок 4.8 – Крива гранулометричного складу одномодального (а) та двомодального (б) ґрунтів

розділяє частки не по геометричним розмірам, а по *гідравлічній крупності*, що особливо важно при розрахунках гідротранспорту.

Інформацію про гранулометричний склад твердого матеріалу можна представити у вигляді таблиці або графічно. Перший спосіб полягає у складанні таблиці, у якій кожному з класів крупності відповідає процентний (або частковий) вміст цього класу, табл. 4.2. Другий спосіб потребує введення деякої функції, графік якої характеризував би гранулометричний склад. Такою функцією є *функція розподілу* $W_d = f(d)$, яка дорівнює процентному виходу продукту з під сита з розміром отворів d , тобто вмісту в матеріалі часток, розмір яких менший або дорівнює d . Приклад графіку функції розподілу наведено на рис. 4.8. Для зручності співставлення дрібних та великих класів шкала розмірів d — логарифмічна.

Таблиця 4.2 – Приклади гранулометричного складу сипких матеріалів

Матеріал	а) дрібний пісок							
Клас, мм	0...0,06	0,06...0,13	0,13...0,25	0,25...0,50	0,50...1,0	> 1,0		
Масова доля, %	12	17	40	25	5	1		
Матеріал	б) вугілля							
Клас, мм	0...3	3...6	6...13	13...25	25...50	50...100	> 100	
Масова доля, %	27	19	17	14	12	8	3	
Матеріал	в) піщано-гравійна суміш							
Клас, мм	0...1	1...3	3...6	6...13	13...25	25...50	50...100	> 100
Масова доля, %	15	27	9	5	14	21	7	2

Щоб побудувати графік функції розподілу розмірів часток за даними розсіву, на графік наносять точки, абсциси яких відповідають класам крупності (розмірам отворів сит), а ординати — суми процентних вмістів всіх класів, дрібніших за абсцису. Наприклад, на рис. 4.8. *а* графік функції розподілу побудовано за даними табл. 4.2 *б*, а на рис. 4.8. *б* — за даними табл. 4.2 *в*.

У більшості випадків гранулометричний склад сипких матеріалів, отриманих за рахунок механічного руйнування породного масиву або механічного здрібнення, незалежно від засобів здрібнення (гірничі комбайни, дробарки) підкоряється рівнянню Розина-Раммлера

$$W_d = \left(1 - e^{-\lambda d^m}\right), \quad (4.13)$$

де λ і m — параметри розподілу; параметр λ характеризує умови здрібнення, а параметр m відповідає властивостям матеріалу, що здрібнюється.

За характером розподілу розмірів часток сипкі матеріали розділяють на одно- дво- та багатомодальні. У гранулометричному складі *одномодальних* матеріалів переважають частки одного деякого класу. Наприклад у гранулометричному складі піску, табл. 4.2. *а*, переважає клас 0,13 ... 0,25 мм, а у складі вугілля, табл. 4.2. *б* — клас 0 ... 3 мм. Графік функції розподілу одномодальних матеріалів має вигляд, подібний до рис. 4.8. *а*.

Дво- та багатомодальні матеріали мають кілька максимумів гранулометричного складу та звичайно складаються з двох або більше типів порід, кожна з яких має свій розподіл крупностей. Так, у табл. 4.2. *в* для піщано-гравійної суміші домінують два класи: 1 ... 3 мм — частки крупного піску, та 25 ... 50 мм — куски гравію. Двомодальні матеріали можна представити як суміш двох одномодальних при заданій масовій долі кожного. Типовий вигляд кривої розподілу двомодального ґрунту (за даними табл. 4.2. *в*) показано на рис. 4.8. *б*.

Для багатьох методик розрахунку гідротранспорту вихідними даними є деякі параметри, що характеризують гранулометричний склад матеріалу, що транспортується. Найчастіше такими параметрами є *середньозважений розмір часток* d_{cp} та *коефіцієнт різнозернистості* J . Перший визначається за формулою

$$d_{cp} = \frac{1}{100\%} \sum_i \gamma_i d_i, \quad (4.14)$$

де γ_i – процентний вміст i -го класу; d_i – середній діаметр i -го класу, що визначається як середнє арифметичне максимального і мінімального розмірів часток для даного класу.

Коефіцієнт різнозернистості показує ступінь диференціації часток за розмірами і дорівнює

$$J = \frac{3 d_{10}}{d_{90}}, \quad (4.15)$$

де d_{10} і d_{90} – такі розміри часток, що сумарна маса часток, які менше або дорівнюють цим розмірам, у составі матеріалу складає 10 і 90 %: $W_d(d_{10}) = 10\%$, $W_d(d_{90}) = 90\%$. Ці параметри визначаються по кривій гранулометричного складу, рис. 4.8. а.

Ще однією характеристикою гранулометричного складу є *медіанний розмір часток* d_{50} , який також визначається по кривій гранулометричного складу: $W_d(d_{50}) = 50\%$. Половина (по масі) часток матеріалу мають розмір менше d_{50} , а друга половина — більше d_{50} .

Для дво- та багатомодальних матеріалів використовують середньозважені значення крупності і коефіцієнта різнозернистості

$$d_{\text{ср}} = \sum_k d_{\text{ср}k} P_k; \quad J = \sum_k J_k P_k, \quad (4.16)$$

де $d_{\text{ср}k}$ та J_k – середньозважений розмір часток і коефіцієнт різнозернистості k -ї одномодальної фракції; P_k – масова доля k -ї фракції у складі матеріалу.

4.2.2 Класифікація гідросумішей

Гідросуміші можна класифікувати за крупністю, твердістю, різнозернистістю, щільністю твердих часток, концентрацією, ефективною в'язкістю, гідроабразивністю. Однак при вивченні механіки руху гідросумішей визначальним є розмір твердих часток. У залежності від їхньої крупності змінюються умови гідродинамічної взаємодії часток з потоком рідини.

У залежності від переважного вмісту визначеного класу твердих часток можна виділити гідросуміші структурні, тонкодисперсні, грубодисперсні, неоднорідні грубодисперсні та полідисперсні. Утворення гідросумішей різними матеріалами у залежності від щільності та розміру часток наведено у табл. 4.3.

Структурні гідросуміші (суспензії) відрізняються від інших тим, що визначальна роль у русі належить твердим часткам. При великій кількості (більш 20...25%) малих (до 50 мкм) часток у потоці,

частки передають рух одна одній, а рідина, що міститься усередині деякої просторової структури твердого компонента, переноситься разом із твердими частками. Утворення структури пов'язане з прагненням твердих часток з'єднатися під дією сил молекулярного притягання, що можливе при визначеній концентрації твердих часток і їхньому контакті.

Суспензії не є ньютонівськими рідинами і мають реологічні властивості. Внутрішній рух суспензії визначається переміщеннями, подібними до деформації твердого тіла. Гідросуміш знаходиться у спокої доти, доки напруга зсуву не досягне деякої величини τ_0 . При малих градієнтах швидкості спостерігається плин структурованої системи з практично незруйнованою структурою (шведівський режим плину). Зсув гідросуміші спостерігається тільки в пристінній області.

При збільшенні швидкості значення структурної в'язкості зменшується і при досягненні динамічної границі текучості $\tau_d = 4\tau_0/3$ структурна в'язкість стає постійною — настає структурний, або бінгамівський, режим руху. Він характеризується зруйнованою структурою в пристінній області і практично незруйнованою у центральній. При русі в структурному режимі шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводів не впливає на гідравлічні опори.

Таблиця 4.3 – Утворення гідросумішей різними матеріалами

Матеріал	Щільність, кг/м ³	Клас гідросуміші				
		Струк- турні	Тонко- дисперсні	Грубо- дисперсні	Неоднорідні грубодисперсні	Полі- дисперсні
		Крупність часток, що утворюють гідросуміш, мм				
Глина	2700...2800	До 0,05 мм при концентрації понад 20 ... 25 %	—	—	—	Частки різної крупності
Пісок, гравій, гірничі породи	2600...2700		0,03...0,15	0,15...2,0	понад 2	
Вугілля	1200...1400		0,05...0,25	0,25...2,5	понад 2,5	
Антрацит	1600...1700		0,03...0,15	0,15...1,5	понад 1,5	
Важкі руди і концен- трати	3500...4500					

При подальшому збільшенні швидкостей настає турбулентний режим плинину, який характеризується перемішуванням потоку. Концентровані гідросуміші течуть як умовно однорідні рідини з в'язкістю гранично зруйнованої структури. Зі збільшенням концентрації перехід від структурного до турбулентного режиму відбувається при більш високих швидкостях плинину.

Режим руху структурних гідросумішей визначається узагальненим критерієм Рейнольдса, що дозволяє підійти до питання про розрахунок їхніх гідравлічних опорів.

Тонкодисперсні гідросуміші, які містять частки розміром від 50 до 250 мкм, переміщуються в турбулентному режимі тоді, коли тверді частки перемішуються. При швидкості $v > 1,5 v_{кр}$, де $v_{кр}$ – критична швидкість, тверді частки практично рівномірно розподілені по перетині. При цьому наближені розрахунки гідротранспорту істотно спрощуються, оскільки рідина може розглядатися як умовно однорідна.

Для **грубодисперсних гідросумішей** з частками розміром від 150 мкм до 2,5 мм характерний нерівномірний розподіл часток у потоці — підвищена концентрація твердих часток у придонній області потоку. У результаті підвищених опорів у придонній області максимальна швидкість потоку зміщується нагору від його геометричної осі.

Неоднорідні грубодисперсні суміші містять частки і шматки розміром більш 1,5 мм. Для цих гідросумішей ще більше виражена нерівномірність розподілу твердих часток у потоці. Великі частки і шматки рухаються перекочуванням і волочінням по нижній стінці труби, що приводить до найбільшого зсуву максимальної швидкості нагору від геометричної осі потоку.

Полідисперсні гідросуміші містять частки різної крупності. Частки крупністю менш 0,1 ... 0,25 мм у горизонтальних трубах переміщуються в зваженому стані, частки крупністю до 1,5 ... 3 мм — перериваним зважуванням на всю товщину потоку, а шматки розміром більше 3 мм — перериваним зважуванням або волочінням по нижній стінці труби.

4.2.3 Порядок розрахунку гідротранспортної установки

Вихідними даними для розрахунку пульпопроводу і вибору ґрунтонасоса є: необхідна продуктивність транспортування по твердому матеріалу Q_T , вид матеріалу, що транспортується, його щільність ρ_T і гранулометричний склад, дальність транспортування по суші $L_{тр}$ і різниця геодезичних позначок кінця і початку трубопроводу (висота підйому суміші) ΔH .

Розрахунок напірного гідротранспорту твердого матеріалу зводиться до вибору діаметра трубопроводу і відповідного устаткування для забезпечення заданої продуктивності гідроустановки. При розробці порід гідромоніторами годинна продуктивність гідроустановки по гідросуміші

$$Q_{гс} = Q_T [(1 - m) + q], \quad (4.17)$$

де m – пористість породи; $m = 0,25 \dots 0,4$; q — питома витрата води на розмив 1 м^3 породи, див. табл. 1.4 та 2.8.

Якщо концентрація твердого в гідросуміші визначається умовами гідротранспортування, а не умовами розмиву, необхідно прагнути до транспортування можливо більш густих гідросумішей. У цьому випадку питомі витрати енергії на переміщення зернистого твердого матеріалу в турбулентному потоці будуть мінімальними. Максимально можлива об'ємна концентрація твердих часток у гідросуміші залежить від їхньої крупності і знаходиться в межах 30...50 %. Однак, при використанні у якості енергетичної установки відцентрових насосів, для забезпечення їхньої ефективної та безперебійної роботи концентрацію треба суттєво зменшити. Звичайно при гідротранспортуванні великоуламкових матеріалів (наприклад, гравійно-піщаної суміші) концентрація складає 8 ... 10 %, важких дрібнозернистих матеріалів (піску) — 10 ... 15 %, легких матеріалів (вугілля, торфу) — 15 ... 25 %. Необхідна продуктивність установки по гідросуміші визначається за формулою

$$Q_{гс} = \frac{Q_T}{S}, \quad (4.18)$$

За необхідною продуктивністю гідротранспортної установки визначають розрахунковий діаметр труби пульпопроводу

$$D_p = \sqrt{\frac{4 Q_{гс}}{\pi v_{гс}}}, \quad (4.19)$$

де $v_{\text{гс}}$ — швидкість руху гідросуміші в пульпопроводі, що визначається як $v_{\text{гс}} = k_3 v_{\text{кр}}$; k_3 — коефіцієнт запасу швидкості, який для дисперсної глини і мулу дорівнює 1,05 ... 1,1, для піщано-гравійної суміші — 1,1 ... 1,2; $v_{\text{кр}}$ — критична швидкість транспортування твердого.

На даному етапі ще не можна застосовувати точні методики розрахунку критичної швидкості транспортування, оскільки не вибраний діаметр труб. Тому можна користуватися орієнтовними значеннями критичної швидкості, які наведено у табл. 4.4.

Розрахункова товщина стінок труби пульпопроводу

$$\delta_p = 0,02 D_p + 0,002. \quad (4.20)$$

За розрахунковими значеннями діаметра і товщини стінки з асортименту труб, додаток Г, вибирають трубу із внутрішнім діаметром D , найближчим меншим до розрахункового.

Для вибраної труби виконують перевірку швидкості транспортування. Швидкість гідросуміші в пульпопроводі повинна бути вище критичної

$$v_{\text{гс}} > v_{\text{кр}}. \quad (4.21)$$

Фактична швидкість транспортування гідросуміші

$$v_{\text{гс}} = \frac{4 Q_{\text{гс}}}{\pi D^2}. \quad (4.22)$$

Методики розрахунку критичної швидкості транспортування гідросуміші для різних видів матеріалу, що транспортується, наведені нижче. У випадку, якщо умова (4.21) не виконується, необхідно вибрати трубу з меншим внутрішнім діаметром, і повторити розрахунок фактичної і критичної швидкостей.

Таблиця 4.4 – Значення критичної швидкості гідротранспортування

Діаметр трубопро- воду, мм	Критична швидкість гідротранспортування, м/с				
	глинистих фракцій	піщаних фракцій з домішкою глинистих фракцій	піску 50% і гравію з невеликим вмістом глинистих фракцій	гравію, щебеня	рядового вугілля
200	1,6	1,9	2,4	3,0	2,0
300	1,8	2,1	2,9	3,6	2,5
400	2,2	2,4	3,4	4,3	3,0
500	2,5	3,0	3,8	4,8	3,3
600	2,7	3,2	4,1	5,3	3,6

Насос для перекачування гідросуміші вибирається за необхідною витратою $Q_{\text{гс}}$ і напором H , необхідним для транспортування

$$H = H_{\text{г}} + H_{\text{ост}} + i(L_{\text{тр}} + \sum l_{\text{екв}}), \quad (4.23)$$

де $H_{\text{г}}$ — геометричний напір, який для випадку перекачування води дорівнює ΔH , а для гідросуміші

$$H_{\text{г}} = \Delta H \frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}}; \quad (4.24)$$

$\rho_{\text{гс}}, \rho_{\text{в}}$ — щільність гідросуміші і води;

$$\rho_{\text{гс}} = \rho_{\text{т}} S + \rho_{\text{в}} (1 - S); \quad (4.25)$$

$H_{\text{ост}}$ — втрати на залишковий напір, м: для розподілення гідросуміші при наливі — 3...5 м, перед перекачувальною станцією і на вході в гідрокласифікатор — 8...10 м, на вході в згущувачі — 20...25 м; i — питомі втрати напору по довжині пульпопроводу (*гідравлічний ухил*), який при роботі на чистій воді визначається за формулою (3.11), а при перекачуванні пульпи — в залежності від виду матеріалу, що транспортується, за методиками, наведеними нижче; $\sum l_{\text{екв}}$ — сумарна еквівалентна довжина всіх місцевих опорів пульпопроводу:

$$\sum l_{\text{екв}} = \frac{\sum \xi D}{\lambda}, \quad (4.26)$$

$\sum \xi$ — сума коефіцієнтів місцевих опорів пульповоду; λ — коефіцієнт Дарсі; при спрощеному розрахунку можна приймати значення еквівалентної довжини місцевих опорів у межах $\sum l_{\text{екв}} = (0,05 \dots 0,10) L_{\text{тр}}$.

Тут і далі під *напором гідросуміші* розуміємо величину тиску, яка вимірюється у метрах водяного стовпа, а не у метрах стовпа гідросуміші (яка має щільність, більшу ніж чиста вода), як цього вимагає класичне визначення напору. Це пов'язане з тим, що, по-перше, щільність гідросуміші не є постійною величиною, і, по-друге, гідротранспортна установка розраховується на перекачування як гідросуміші, так і чистої води.

При виборі насоса також враховують тип матеріалу, що транспортується (розміри часток, їхня абразивність), оскільки певні типи насосів розробляються для визначених умов експлуатації. Конструкції насосів, що використовуються для гідротранспорту твердих матеріалів, та їхні технічні характеристики наведені у п. 4.3.

Фактичний робочий режим гідротранспортної установки визначається графічним методом як точка перетину характеристик насоса і мережі. Оскільки гідротранспортна установка на початку і перед кінцем роботи зазвичай працює на чистій воді, необхідно визначити робочі режими як для випадку роботи на гідросуміші, так і для випадку роботи на воді. Для цього в системі координат $(Q; H)$, будують графіки витратних характеристик насоса і пульпопроводу при роботі на чистій воді і на гідросуміші, рис. 4.9.

Завод-виготовлювач насосів для перекачування гідросумішей визначає робочу характеристику насоса при роботі на чистій воді. Напір, що створюється насосом при роботі на гідросуміші, визначається за наступними формулами:

— при транспортуванні гравію, щебеня, гальки, великоуламкових матеріалів

$$H_{\text{н.гс}} = H_{\text{н.в}} \left(1 + \sqrt{\frac{S}{\varphi_{\text{ср}}}} \right), \quad (4.27)$$

де $H_{\text{н.в}}$ – напір насоса при роботі на чистій воді, що визначається за графіком його витратної характеристики; $\varphi_{\text{ср}}$ – усереднений коефіцієнт транспортабельності гідросуміші:

$$\varphi_{\text{ср}} = \sum \varphi_i \gamma_i; \quad (4.28)$$

φ_i – коефіцієнт транспортабельності i -го класу, табл. 4.5; γ_i – масовий вміст i -го класу.

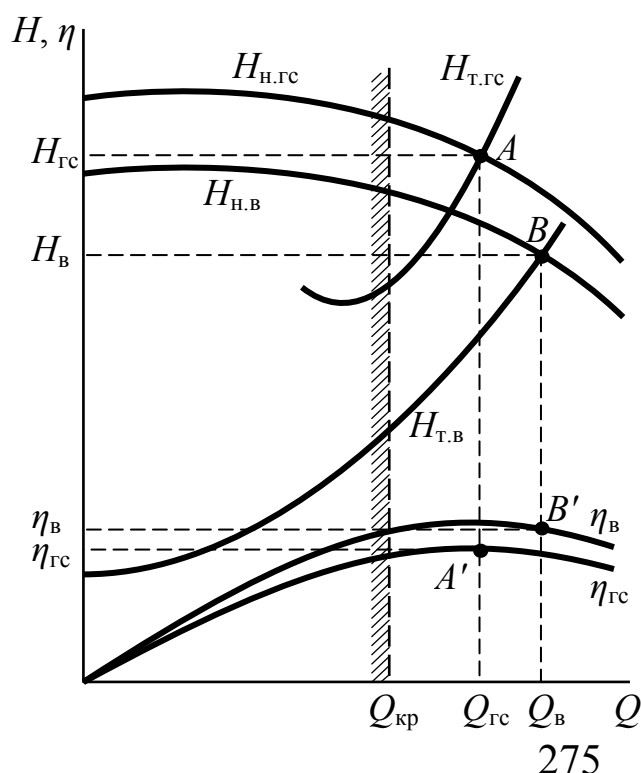


Рисунок 4.9 — Визначення параметрів робочого режиму насоса графічним методом

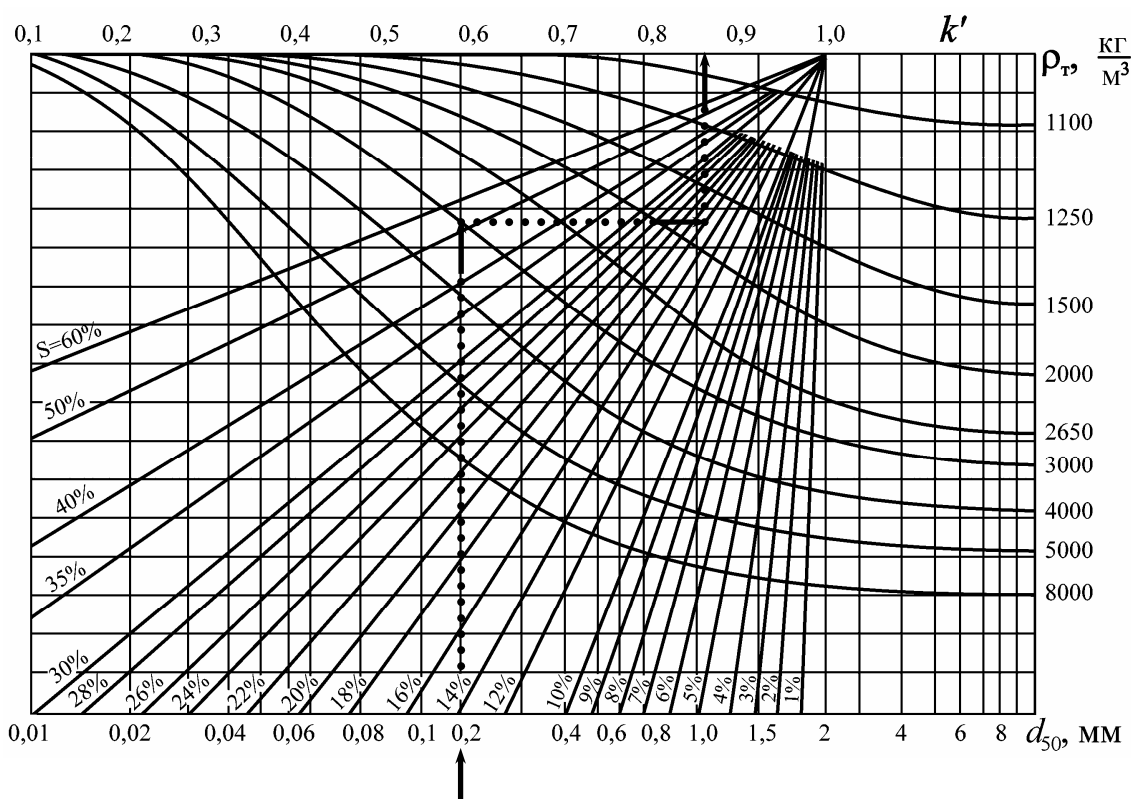
Таблиця 4.5 – Значення коефіцієнту транспортабельності

Клас, мм	0,05...0,10	0,10...0,25	0,25...0,5	0,5...1	1...2	2...3	3...5	5...10	>10
φ	0,02	0,2	0,4	0,8	1,2	1,5	1,8	1,9	2

— при транспортуванні глини, мулу, піску й ін. дрібнозернистих матеріалів, а також вугілля

$$H_{\text{н.гс}} = H_{\text{н.в}} \frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} k' . \quad (4.29)$$

де k' — коефіцієнт, який визначається за номограмою рис. 4.10 в залежності від концентрації гідросуміші, щільності твердого матеріалу і медіанного розміру часток d_{50} , яке визначається за графіком гранулометричного складу. Спосіб визначення k' пояснимо на прикладі. Нехай $d_{50} = 0,2$ мм, $\rho_{\text{т}} = 3000$ кг/м³ і $S = 18\%$. Із точки на нижній вісі, що відповідає $d_{50} = 0,2$ мм, проводимо вертикальну лінію до перетинання з кривою заданої щільності породи. Потім з цієї точки проводимо горизонтальну лінію до перетинання з величиною заданої об'ємної концентрації часток у гідросуміші. Провівши з останньої точки вертикальну лінію до верхньої шкали, знайдемо, що $k' = 0,86$.

Рисунок 4.10 – Номограма для визначення коефіцієнта k'

Для побудови графіків витратних характеристик насоса і пульпопроводу, для кількох значень витрат розраховуються значення напору насоса (за однією з вказаних методик) і пульпопроводу за залежністю (4.23). За результатами розрахунків будуються графіки витратних характеристик насоса і пульпопроводу при роботі на чистій воді і на гідросуміші. Вертикальною лінією позначається мінімальна подача насоса з умови забезпечення надійного гідротранспортування твердого

$$Q_{\text{кр}} = \frac{\pi D^2}{4} v_{\text{кр}}. \quad (4.30)$$

На перетині вказаних графіків знаходяться точки A і B з координатами відповідно $(Q_{\text{гс}}, H_{\text{гс}})$ і $(Q_{\text{в}}, H_{\text{в}})$, які відповідають робочим режимам насоса при роботі на гідросуміші і на чистій воді. Дійсна подача насоса $Q_{\text{гс}}$ має бути не менше розрахункової, щоб забезпечити необхідну продуктивність установки, і більше $Q_{\text{кр}}$, аби виконувалась умова надійного гідротранспорту. У протилежному випадку необхідно вибрати інший насос або змінити діаметр труби пульпопроводу (з обов'язковою перевіркою за критичною швидкістю).

При необхідності істотного збільшення напору допускається установка послідовно двох насосів. У такому випадку будуються сумарні характеристики двох насосів за методикою, яку викладено у пп. 3.2.2. Робочий режим визначається по сумарних характеристиках так само, як і для одного насоса. При послідовній роботі рекомендується встановлювати однотипні насоси, причому конструкція другого насоса має бути розрахованою на підвищений тиск. Якщо вибрані насоси не можуть бути включені послідовно, або сумарний напір двох насосів теж недостатній (наприклад, при перекачуванні гідросуміші на велику відстань або підйомі її на значну висоту), уздовж пульпопроводу влаштовують одну чи кілька перекачувальних станцій.

Для визначення потужності, яку споживає насос при перекачуванні гідросуміші (або води), на тому ж графіку будуються криві к.к.д. насоса у залежності від подачі при роботі на воді та на гідросуміші. Перша вказується заводом-виготовлювачем у паспорті насоса. Коефіцієнт корисної дії насоса при роботі на гідросуміші можна визначити за залежністю

$$\eta_{\text{гс}} = \eta_{\text{в}} (1 - 0,33 S), \quad (4.31)$$

де $\eta_{\text{в}}$ — коефіцієнт корисної дії насоса при роботі на чистій воді.

По графікам к.к.д. для винайдених робочих режимів визначаються к.к.д. насоса при роботі на гідросуміші і на воді (т. A' і B' , рис.4.9). Необхідна потужність приводного електродвигуна насоса при роботі на гідросуміші і на воді складає відповідно

$$N_{\text{гс}} = \frac{\rho_{\text{гс}} g H_{\text{гс}} Q_{\text{гс}}}{\eta_{\text{гс}}} \quad \text{і} \quad N_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{в}} g H_{\text{в}} Q_{\text{в}}}{\eta_{\text{в}}}. \quad (4.32)$$

У залежності від необхідної потужності (з 10...15 % запасом) і частоти обертання робочого колеса насоса вибирають приводний електродвигун.

Питомі енерговитрати гідротранспортування породи (витрати електроенергії на транспортування одиниці маси твердого матеріалу) складають

$$w_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{гс}}}{\rho_{\text{т}} S Q_{\text{гс}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{м}}}, \quad (4.33)$$

де $\eta_{\text{д}}$, $\eta_{\text{м}}$ — коефіцієнти корисної дії електродвигуна і електромережі: $\eta_{\text{д}} = 0,9 \dots 0,92$; $\eta_{\text{м}} = 0,97 \dots 0,98$.

4.2.4 Інженерні методи розрахунку гідротранспорту

Існує велика кількість емпіричних і полуміричних методик розрахунку параметрів гідротранспорту, зокрема критичної швидкості і гідравлічного ухилу, які розроблені на основі досліджень руху різних типів гідросумішей як вітчизняними, так і закордонними дослідницькими лабораторіями. Кожна з цих методик орієнтована на певний більш-менш вузький клас гідросумішей, має обмеження по значенням вихідних параметрів і дає результат з деякою похибкою. Тому перед використанням тої чи іншої методики слід уважно вивчити, для якого класу гідросумішей, яких властивостей матеріалу, що транспортується, її розроблено, з якими обмеженнями її можна використовувати.

1) Розрахунок гідротранспорту кускових матеріалів і їхніх сумішей з більш дрібними частками за методикою В. В. Трайніса

Гідравлічний ухил при перекачуванні гідросуміші та критична швидкість гідротранспортування визначаються за формулами

$$i_{\text{гс}} = i_0 \frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\sqrt{gD}}{k_{\text{е}} C v} \cdot \frac{\rho_{\text{гс}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} K; \quad (4.34)$$

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{gD} \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{гс}} - \rho_{\text{в}}}{k_{\text{е}} C \lambda_0 \rho_{\text{гс}}} K}, \quad (4.35)$$

де i_0 і λ_0 — гідравлічний ухил і коефіцієнт Дарсі при русі води, див. п. 3.2; C — коефіцієнт опору при вільному падінні твердої частки в рідкому середовищі; для гравію, щебеня та інших кускових порід можна брати $C = 0,55$; для вугілля — $C = 0,75$; для антрацита — $C = 0,65$; для руди — $C = 0,41$; k_e — емпіричний коефіцієнт, який для породи дорівнює 1,4; для вугілля — 1,9; для вуглепородної суміші визначається за залежністю

$$k_e = 1,088 + \frac{49,6}{161,6 - P_B}; \quad (4.36)$$

P_B — масовий вміст вугілля у вуглепородній суміші (у процентах); K — коефіцієнт, що враховує масовий вміст R дрібних часток (породні частки менш 2 мм, вугільні частки менш 3 мм):

$$K = 0,75 \left(1 - \frac{R}{100} \right), \text{ якщо } R \geq 15\%, \text{ і } K = 1 - 2,4 \frac{R}{100}, \text{ якщо } R < 15\%. \quad (4.37)$$

При $K < 0,35$ значення $v_{кр}$, обчислені за формулою (4.35), слід збільшити на 15...20%

При значному вмісті в гірській масі дрібних часток, які збільшують щільність середовища, що несе, у ці формули замість щільності води слід підставляти щільність суспензії ρ_c , що утвориться з цих часток.

2) Розрахунок напірного гідротранспорту ґрунтів по інструкції ВНДІГ ім. Б. Є. Веденєєва

Інструкція застосовна для розрахунків гідравлічного транспорту незв'язних ґрунтів (піщаних, гравійних, галькових) і продуктів дроблення великоуламкових порід щільністю 2600 ... 2700 кг/м³ і середньозваженою крупністю $d_{cp} = 0,25 \dots 70$ мм при $d_{cp} \leq 0,15 D$ і $d_{max} \leq 0,3 D$, де d_{max} — максимальний розмір шматків, що транспортуються.

Критична швидкість руху гідросуміші визначається за формулою:

$$v_{кр} = 8,3 \sqrt[3]{D} \sqrt[6]{S_d \varphi_{cp}}, \quad (4.38)$$

де S_d — дійсна об'ємна концентрація гідросуміші, табл. 4.6; φ_{cp} — середній коефіцієнт транспортабельності гідросуміші, який розраховується за залежністю (4.28).

Гідравлічні опори визначаються за формулою:

$$i_{гс} = i_0 + \delta \sqrt[4]{J} \sqrt[3]{S_d^2} \frac{v_{кр}}{v}, \quad (4.39)$$

де δ — коефіцієнт, що враховує вплив відносної крупності часток ґрунту $d_{\text{ср}} / D$, табл. 4.7; J — коефіцієнт різнозернистості, який визначається за методикою, наведеною у пп. 4.2.1.

Таблиця 4.6 – Залежність дійсної концентрації від швидкості потоку

Дійсна об'ємна концентрація гідросуміші S_d	Витратна об'ємна концентрація гідросуміші S при $v / v_{\text{кр}}$				
	1	1,2	1,5	2	2,5
0,02	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
0,04	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026
0,06	0,036	0,037	0,039	0,042	0,045
0,08	0,051	0,053	0,057	0,061	0,065
0,10	0,068	0,072	0,076	0,082	0,086
0,12	0,087	0,091	0,097	0,103	0,107
0,14	0,107	0,112	0,118	0,124	0,128
0,16	0,128	0,134	0,139	0,146	0,150
0,18	0,150	0,155	0,161	0,167	0,171
0,20	0,171	0,177	0,183	0,189	0,192

Таблиця 4.7. Значення коефіцієнта відносної крупності

$100 \frac{d_{\text{ср}}}{D}$	Значення коефіцієнта δ при діаметрі труб, м						
	0,1...0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,05	0,050	0,051	0,052	0,053	0,054	0,055	0,056
0,10	0,090	0,100	0,110	0,125	0,140	0,150	0,160
0,15	0,120	0,130	0,155	0,180	0,210	0,230	0,250
0,20	0,140	0,170	0,205	0,240	0,270	0,300	0,330
0,30	0,180	0,210	0,260	0,300	0,340	0,375	0,410
0,40	0,215	0,275	0,325	0,370	0,400	0,435	0,475
0,50	0,230	0,305	0,360	0,405	0,440	0,475	0,505
0,60	0,240	0,330	0,380	0,430	0,470	0,505	0,535
0,70	0,247	0,350	0,400	0,450	0,490	0,530	0,560
0,80	0,250	0,365	0,410	0,465	0,510	0,545	0,580
0,90	0,255	0,375	0,420	0,480	0,530	0,565	0,605
1,0	0,260	0,385	0,430	0,490	0,540	0,580	0,615
1,5	0,270	0,402	0,460	0,530	0,580	0,630	0,665
2,0	0,280	0,415	0,470	0,550	0,595	0,650	0,690
2,5	0,285	0,425	0,480	0,565	0,605	0,665	0,705
3,0	0,290	0,430	0,490	0,575	0,620	0,675	0,715
3,5	0,295	0,435	0,500	0,585	0,630	0,680	0,725
4,0	0,300	0,450	0,510	0,595	0,635	0,685	0,730
4,5	0,300	0,450	0,520	0,600	0,640	0,690	0,735
5,0	0,300	0,450	0,530	0,600	0,640	0,690	0,735

Примітка. При $100 \frac{d_{\text{ср}}}{D} < 0,05$ приймати значення коефіцієнту $\delta = 100 \frac{d_{\text{ср}}}{D}$

3) Розрахунок параметрів гідротранспорту за методикою А. Є. Смолдирєва.

Відповідно до методики [31] розрахунок ведеться у залежності від класу гідросуміші згідно класифікації, яку надано у пп. 4.2.2.

Тонкодисперсні гідросуміші в турбулентному потоці мають приблизно рівномірний розподіл твердих часток по перетині потоку і за властивостями близьки до однорідної рідини. Гідравлічний ухил і критична швидкість визначаються за формулами:

$$i_{\text{гс}} = i_0 (1 + C_0 a S); \quad (4.40)$$

$$v_{\text{кр}} = n_0 \sqrt{a g D}, \quad (4.41)$$

де $a = (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}) / \rho_{\text{в}}$ – диференціальна відносна щільність твердого матеріалу; C_0 – емпіричний коефіцієнт; при вмісті пилюватих фракцій (які утворюють структурну суміш) не більш кількох відсотків $C_0 \approx 1$; при значному вмісті пилюватих фракцій $C_0 = 1,5 \dots 3,5$; n_0 – емпіричний коефіцієнт, що враховує вплив речовинного складу часток і ступеня їхньої дезинтеграції; $n_0 = 0,7 \dots 1,5$ (для вугілля 1,1 ... 1,2).

Грубодисперсні гідросуміші мають частки розміром від 150 мкм до 3 мм. Гідравлічні опори і критична швидкість визначаються по формулах:

$$i_{\text{гс}} = i_0 + C_1 a S \frac{v_{\text{ст}}}{v_0} \sqrt{\frac{D}{d_{\text{ср}}}}; \quad (4.42)$$

$$v_{\text{кр}} = n_1 \sqrt{D} \sqrt[3]{\frac{a S v_{\text{ст}}}{\sqrt{d_{\text{ср}}}}}, \quad (4.43)$$

де C_1, n_1 — емпіричні коефіцієнти; для труб діаметром 150 ... 900 мм $C_1 \approx 0,45$; $n_1 = 6,5 \dots 8$; v_0 і $v_{\text{ст}}$ — швидкості вільного і стиснутого падіння часток, див. п. 4.1.

Неоднорідні грубодисперсні гідросуміші мають частки розміром більше 3 мм. Для таких гідросумішей

$$i_{\text{г}} = i_0 + f a S; \quad (4.44)$$

$$v_{\text{кр}} = n_2 \sqrt{f a S g D}, \quad (4.45)$$

де f — емпіричний коефіцієнт; для скельних порід $f = 0,56 \dots 0,7$; для порід середньої міцності $f = 0,46 \dots 0,55$; для м'яких порід $f = 0,36 \dots 0,45$; для сланців і міцних вугілля $f = 0,2 \dots 0,35$; для м'яких вугілля і антрацитів $f = 0,1 \dots 0,2$; $n_2 = 7 \dots 9$ — емпіричний коефіцієнт.

Полідисперсні гідросуміші містять частки різної крупності. Гідравлічний ухил і критична швидкість визначаються по формулах:

$$i_2 = i_0(1 + C_0 a S_1) + C_1 a' S_2 \frac{v_{\text{ст}}}{v_0} \sqrt{\frac{D}{d_{\text{ср}}}} + f a' S_3; \quad (4.46)$$

$$v_{\text{кр}} = n_1 \sqrt{D} \sqrt[3]{\frac{a' S_2 v_{\text{ст}}}{\sqrt{d_{\text{ср}}}}} + n_2 \sqrt{f a' S_3 g D}, \quad (4.47)$$

де S_1, S_2, S_3 — концентрації часток відповідно тонкодисперсних, грубодисперсних однорідних і грубодисперсних неоднорідних; a' — диференціальна відносна щільність твердого матеріалу у суспензії, яка утворена дрібними частками з концентрацією S_1 :

$$a' = \frac{\rho_{\text{т}} - (1 + a S_1)}{1 + a S_1}. \quad (4.48)$$

4) Розрахунок гідротранспорту піщаних і напівскельних порід у глинистих суспензіях

При транспортуванні суглинних ґрунтів у гідросуміші може міститися значна кількість глинистих домішок. Наявність цих домішок сприятливо позначається на гідротранспортуванні: зменшуються гідравлічні опори і критична швидкість. Це пояснюється збільшенням щільності середовища, що несе (води з домішкою глинистих часток), згладжуванням глинистими частками турбулентних пульсацій у гідросуміші, появою в останньої в'язкопластичних властивостей, що сприяють зважуванню твердих часток і утворенню тонкого нерухомого шару рідини на стінці трубопроводу. Перекриваючи шорсткості стінки трубопроводу, цей шар забезпечує зниження гідравлічних опорів у трубопроводі.

При гідротранспорті *піщано-глинистих сумішей* А. П. Юфін рекомендує визначати гідравлічний ухил і критичну швидкість за формулами:

$$i_{\text{гс}} = i_{\text{гл}} + (i_{\text{пс}} - i_{\text{гл}}) \frac{\sigma}{100}; \quad (4.49)$$

$$v_{\text{кр}} = 9,8 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{v_0} \left(\frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{гл}}} - \frac{\rho_{\text{гл}}}{\rho_{\text{в}}} \right), \quad (4.50)$$

де $i_{\text{гл}}, i_{\text{пс}}$ — гідравлічні ухили при русі глинистої та піщаної гідросумішей; σ — вміст піску (у відсотках від загального вмісту твердого

матеріалу); $\rho_{\text{гл}}$ — щільність воли з домішкою глинистих часток; v_0 — гідравлічна крупність піску, м/с.

Для розрахунку критичної швидкості і гідравлічного ухилу при гідротранспортуванні піску (при $D > 0,2$ м) А. П. Юфін рекомендує формули

$$v_{\text{кр}} = 9,8 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{v_0} \left(\frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} - 0,4 \right); \quad (4.51)$$

$$i_{\text{гс}} = i_0 \frac{\rho_{\text{гс}}}{\rho_{\text{в}}} \left[1 + (\beta - 1) \left(\frac{v_{\text{кр}}}{v} \right)^{2,35} \right], \quad (4.52)$$

де
$$\beta = 1 + (3,5D + 2D + 0,5\sqrt{d_{\text{ср}}}) \left(\frac{\rho_{\text{гс}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} \right)^{0,8}. \quad (4.53)$$

При транспортуванні неоднорідного ґрунту критична швидкість і гідравлічний ухил визначаються по формулах:

$$v_{\text{кр.н}} = v_{\text{кр}} J^{0,125}; \quad (4.54)$$

$$i_{\text{гс.н}} = i_0 + (i_{\text{гс}} - i_0) J^{0,125}, \quad (4.55)$$

де J — коефіцієнт різнозернистості.

При *гідротранспортуванні напівскельних порід глинистими суспензіями* Г. А. Нурок і А. П. Гришко рекомендують визначати гідравлічний ухил за формулою

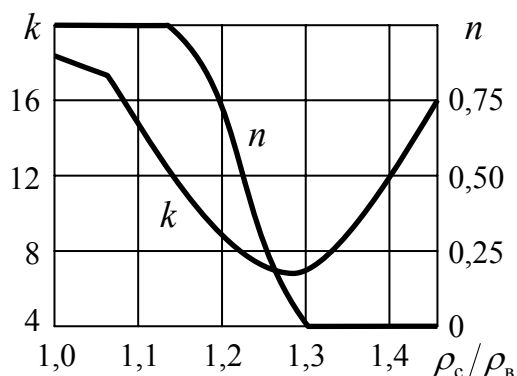
$$i_{\text{гс}} = i_0 \frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{в}}} \left[1 + 2a_{\text{с}}^{1,5} S_1^{0,5} k \left(\frac{\sqrt{gD}}{v} \right)^{n+2} \right], \quad (4.56)$$

де $\rho_{\text{с}}$ — щільність глинистої суспензії; S_1 — об'ємна концентрація напівскельних порід у глинистій суспензії; $a_{\text{с}}$ — диференціальна відносна щільність порід у глинистій суспензії:

$$a_{\text{с}} = \frac{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{с}}};$$

k, n — емпіричні коефіцієнти, які визначаються за графіком, рис. 4.11.

Коефіцієнт n визначає наявність у суспензії властивостей структурної гідросуміші і вплив цих властивостей на гідротранспорт часток породи. При $n = 0$ частки переносяться в пластичному структурному потоці, який може рухатися з будь-якою швидкістю: $v_{\text{кр}} = 0$. При $0 < n < 1$ структурні властивості суспензії проявляються частко-

Рисунок 4.11 – Графіки для визначення коефіцієнтів k і n

во, а при $n = 1$ структурні властивості практично відсутні і частки переносяться в турбулентному потоці. У цих випадках критична швидкість визначається по формулі

$$v_{\text{кр}} = n \sqrt{g D k a_c S_1^{0,5}}. \quad (4.57)$$

4.2.5 Розрахунок параметрів гідротранспортування у вертикальних і похилих трубопроводах

Умовно прийнято, що до похилих трубопроводів відносяться трубопроводи з кутом нахилу $25 \dots 60^\circ$, а до вертикальних — з кутом нахилу $60 \dots 90^\circ$. Розрахунок параметрів гідротранспорту у вертикальних і похилих трубопроводах має деякі особливості. При переміщенні гідросуміші похилими трубопроводами значення підйомної сили в процесі зважування твердих часток зменшується, а значення лобового тиску зростає. У похилих трубопроводах режим транспортування при $v < v_{\text{кр}}$ неможливий, тому що труби мають кут нахилу більший, ніж кут тертя часток у воді, і частки, що осіли на дно, сповзають по похилій трубі донизу. Замулення трубопроводу відсутнє, але осідання твердого може привести до закупорки трубопроводу в його нижній частині.

Критична швидкість у похилих трубопроводах визначається по формулі

$$v'_{\text{кр}} = v_{\text{кр}} \cos^2 \alpha, \quad (4.58)$$

де $v_{\text{кр}}$ — критична швидкість у горизонтальному трубопроводі; α — кут нахилу трубопроводу.

Гідравлічний ухил в похилих трубопроводах складає

$$i'_{\text{гс}} = i_{\text{гс}} + (i_{\text{гс}} - i_0) \cos \alpha. \quad (4.59)$$

При гідротранспортуванні гірської маси по вертикальному трубопроводу частки по перетині трубопроводу розподіляються майже рівномірно, і гальмуючий вплив стінок трубопроводу на переміщення часток зменшується в порівнянні з горизонтальним трубопроводом. Оскільки в центрі потоку швидкість руху гідросуміші більше, ніж біля стінок трубопроводу, виникає гідродинамічна сила, що відштовхує частки гірської маси від стінок у центральну частину потоку. Тому коло стінок трубопроводу створюється шар рідини, практично вільний від твердих часток. Це сприяє зменшенню гідроабразивного зносу вертикального трубопроводу (у порівнянні з горизонтальним) і зниженню гідравлічних опорів, що наближаються до гідравлічних опорів при русі чистої води.

При русі часток твердого вертикальним трубопроводом вони сковзають униз щодо часток рідини зі швидкістю стиснутого падіння. Звідси випливає, що обов'язковою умовою для висхідних потоків гідросуміші є перевищення швидкості гідросуміші над швидкістю стиснутого падіння часток, яка у даному випадку і буде критичною швидкістю гідротранспорту. Для спадних потоків напрямки руху гідросуміші і відносного руху часток у рідині співпадають — частки “обганяють” рідину. Тому поняття критичної швидкості у цьому випадку не існує. Більш докладно процес руху гідросуміші вертикальним трубопроводом розглянуто у пп. 4.1.2.

Зі збільшенням концентрації твердих часток швидкість стиснутого падіння зменшується. При великих частках і значній їхній концентрації в гідросуміші розходження швидкостей твердої і рідкої фаз приводить до того, що дійсна концентрація гідросуміші значно перевищує витратну, що впливає на умови транспортування.

Гідравлічний ухил при русі гідросуміші у вертикальних трубопроводах А. П. Юфін рекомендує визначати за наступними формулами:

— для висхідного потоку

$$i_{\text{вс}} = i_0 \left(1 + 145 S \sqrt{gD} \frac{v_0}{v^2} \right); \quad (4.60)$$

— для спадного потоку

$$i_{\text{сп}} = i_0 \left(1 - 250 S \sqrt{gD} \frac{v_0}{v^2} \right). \quad (4.61)$$

де i_0 — гідравлічний ухил при русі води; S — об'ємна концентрація твердих часток у гідросуміші; v_0 — гідравлічна крупність часток; v — середня швидкість руху гідросуміші; D — діаметр труби.

Збільшення гідравлічного ухилу при висхідному русі гідросуміші і зменшення його при спадному можна пояснити тим, що в першому випадку рідина, що транспортує, витрачає деяку енергію на підйом твердих часток. У другому випадку частки, що рухаються униз, навпаки, звільняють енергію, яка передається рідині і частково компенсує втрати енергії потоком.

4.2.6 Розрахунок параметрів безнапірного гідротранспорту

Безнапірним називають рух рідини у відкритих руслах. Безнапірний потік знизу та з боків обмежений твердими границями, а зверху має вільну поверхню, тиск на якій дорівнює атмосферному. Джерелом енергії безнапірного потоку є гравітація, а обов'язковою умовою безнапірного руху — наявність ухилу русла у напрямку руху.

В безнапірного гідротранспорту є низка переваг. У зв'язку з тим, що переміщення твердого матеріалу безнапірним потоком відбувається під дією сили ваги, такий транспорт не потребує витрат енергії. Завдяки наявності вільної поверхні периметр змочування в безнапірного потоку менше, ніж у напірного, а гідравлічний радіус більше. Внаслідок цього, при однаковій площі живого перетину потоку металоемність і капітальні витрати на безнапірний гідротранспорт значно менші, ніж на напірний гідротранспорт. Для завантаження породи в безнапірний потік не потрібно застосування спеціальних машин. Монтаж і демонтаж транспортних комунікацій простіше і дешевше, ніж при напірному транспорті. Наявність вільної поверхні у відкритого потоку дозволяє транспортувати більш великі шматки породи в порівнянні з напірним транспортом. Основним недоліком безнапірного транспорту є необхідність мати значну різницю висот.

Пристрої самопливного транспорту й область його застосування на кар'єрах приведені в табл. 4.4. В умовах відкритих гірничих розробок лотки для самопливного гідротранспорту порід підрозділяються на:

- *забійні* (транспорт пульпи в межах робочої площадки уступу);
- *розподільні* (подача пульпи з робочих площадок до основної магістралі);
- *магістральні* (транспорт пульпи поза контурами кар'єрів);
- *відвальні* (для укладання пульпи на гідровідвалах).

Забійні, розподільні й відвальні лотки збираються з окремих секцій. Магістральні лотки виготовляють на місці робіт з дощок.

Таблиця 4.8 – Области застосування безнапірного гідротранспорту

Область застосування самопливного транспорту	Пристрої для самопливного транспортування
Транспортування порід, розмитих з масиву або навалів, до зумпфа землесоса	Породні канали, лотки
Транспортування порід на гідровідвал, що знаходиться поза контуром кар'єру	Породні канали, естакадні лотки
При утворенні гідровідвалу	Естакадні лотки, лотки спеціальних конструкцій, породні канали
При утворенні гідровідвалу з колісною доставкою порід	Прийомні укоси, змішувальні пристрої і лотки
У сполученні з іншими видами транспорту (напірним гідравлічним, конвеєрним і колісним)	Змішувальні бункери, лотки, породні канали, естакади
При збагаченні корисних копалин гравітаційним способом	Лотки спеціальної конструкції

Здатність потоку транспортувати є основною характеристикою самопливного гідротранспорту. Вона характеризує собою граничну кількість твердого матеріалу, яку потік здатний переносити разом з водою.

На продуктивність самопливного транспортування породи по лотку або каналі впливають витрата води, ухил, площа та форма поперечного перерізу русла, шорсткість його стінок, гранулометричний склад і щільність матеріалу, що транспортується. Вплив зазначених факторів на самопливне транспортування твердого матеріалу висвітлено в роботах А. І. Купріна. Приклади графіків залежності здатності потоку транспортувати від ухилу лотка і витрати води показані на рис. 4.12.

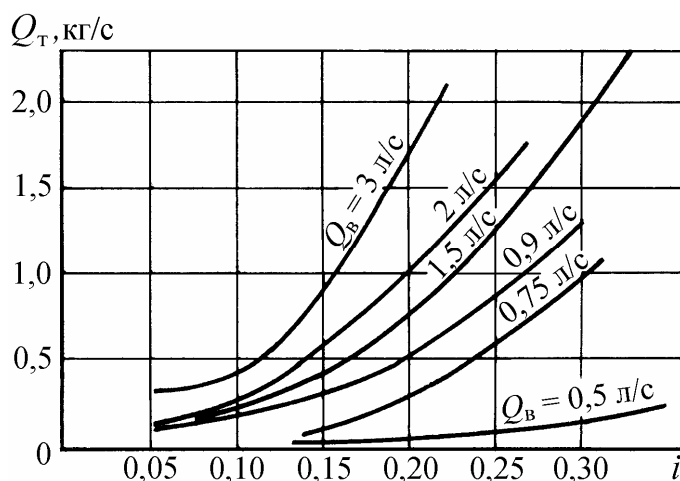


Рисунок 4.12 – Графіки залежності продуктивності гідротранспорту Q_t від ухилу i для металічного жолоба шириною 100 мм при витраті води від 0,5 до 3 л/с

На здатність потоку транспортувати значно впливає сила взаємодії матеріалу, що переміщується, і дна жолоба, яка залежить від коефіцієнта тертя. Наприклад, мінімальна питома витрата води для транспортування рядової породи жолобом з гладкою емальованою поверхнею при ухилі 0,07 приблизно в 2 рази менше, ніж для металевого жолоба.

З метою зменшення зносу жолобів їх облицьовують різними матеріалами. Матеріали з малим коефіцієнтом тертя (емаль, сталь) застосовують для облицьовання жолобів, що мають невеликий ухил у бік транспортування. Матеріали з більшим коефіцієнтом тертя застосовують для облицьовання жолобів у тому випадку, коли ухил є достатнім для гідротранспортування.

Між *глибиною потоку гідросуміші* і крупністю матеріалу, що переміщується, існує оптимальне співвідношення, при якому питома витрата води на транспортування мінімальна.

Здатність потоку транспортувати залежить від різнозернистості кускового матеріалу і наявності в ньому дрібних фракцій. Додавання в кускову породну суміш деякої кількості дрібних фракцій збільшує здатність потоку транспортувати тверде. Це відбувається не тільки за рахунок побіжного транспортування дріб'язку без додаткових витрат енергії, але і за рахунок збільшення здатності транспортувати кусковий матеріал.

Здатність потоку транспортувати знижується при наявності порогів і раптових звужень або розширень потоку. Неякісне з'єднання лотків збільшує шорсткість жолобів і знижує здатність потоку транспортувати.

Гідротранспорт твердого матеріалу безнапірним потоком води може відбуватися як у зваженому стані, так і донним волочінням. Дрібні частки пересуваються в потоці в зваженому стані, а грудковий матеріал рухається в основному в придонній частині короткими стрибками, перекочуванням або ковзанням. Можливість гідравлічного транспорту безнапірним потоком, як і напірним, визначається швидкістю руху рідини, яка має бути не менше деякої критичної швидкості. Оскільки, згідно формулі Шезі, швидкість безнапірного потоку залежить від ухилу русла, очевидно, що гідротранспорт деякого матеріалу можливий лише за умови, якщо ухил русла не менше деякого мінімального значення. Згідно досвіду промислової експлуатації, для гідравлічного транспортування вугілля мінімальний

ухил металевого жолоба повинний бути 0,05, а для транспортування рядової породи — 0,07.

У залежності від заданої витрати води Q_v і ухилу жолоба i максимальна продуктивність по твердому матеріалі Q_t може бути визначена по емпіричній формулі

$$Q_t = \frac{Q_v}{\frac{k_1}{i} - k_2 \sqrt{i} + k_3} \quad (4.62)$$

де k_1 , k_2 , k_3 — емпіричні коефіцієнти, значення яких залежать від матеріалу жолоба і властивостей матеріалу, що транспортується, табл. 4.9.

Розрахунок параметрів безнапірного гідротранспорту полягає у визначенні необхідного ухилу лотків і їхніх поперечних розмірів при заданих продуктивності по твердому, питомій витраті води і фізико-механічних властивостях матеріалу, що транспортується. У практиці інженерних розрахунків найчастіше зустрічаються два типи задач:

1) при заданих *витраті гідросуміші* й *ухилі* дна русла, який визначається рельєфом місцевості, необхідно визначити розміри *поперечного переріза* каналу;

2) при заданих *витраті гідросуміші* і розмірах *поперечного переріза* каналу необхідно визначити необхідний *ухил*.

Таблиця 4.9 – Значення емпіричних коефіцієнтів при транспортуванні вугілля і породи по металевим жолобам

Умови застосування			Значення коефіцієнтів		
Матеріал, що транспортується	Розміри шматків, мм	Ухил	k_1	k_2	k_3
Рядова порода,	0 ... 250	0,07 ... 0,30	0,80 / 0,65	7	1,5
Рядове вугілля,	0 ... 250	0,05 ... 0,16	0,18 / 0,15	3	0,5
Суміш вугілля з породою у співвідношенні (В/П):					
3 / 1	0 ... 250	0,05 ... 0,16	0,20 / 0,17	3	0,5
2 / 1	—	—	0,27 / 0,23	3	0,5
1 / 1	—	—	0,34 / 0,28	3	0,5
Дроблене вугілля	0 ... 130	0,05 ... 0,16	0,18 / 0,15	3	0,5

Примітка: У чисельнику значення для нового жолоба, у знаменнику — для приробленого

Безнапірний рух рідини відрізняється від руху рідини у трубі тим, що, по-перше, площа живого перетину потоку може мінятися, якщо змінюється швидкість потоку, і, по-друге, гідравлічний ухил i дорівнює дійсному ухилу русла потоку

$$i = \sin \alpha, \quad (4.63)$$

де α – кут нахилу дна русла до горизонту.

Основними розрахунковими формулами для визначення параметрів безнапірного потоку: ухилу i або швидкості потоку v , є рівняння нерозривності потоку

$$Q = \omega v, \quad (4.64)$$

та формула Шезі

$$v = C \sqrt{R i}, \quad (4.65)$$

де ω – площа живого перетину потоку; C – коефіцієнт Шезі, який залежить від шорсткості і форми русла; R – гідравлічний радіус:

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (4.66)$$

χ – змочений периметр каналу. Для заповнених труб $R = D/4$, для жолобів прямокутного перетину із шириною b і глибиною потоку h $R = b h / (b + 2h)$.

Для визначення коефіцієнта Шезі при транспортуванні чистої води існує кілька емпіричних формул. Добрі результати дає формула акад. М. М. Павловського:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (4.67)$$

де n – коефіцієнт шорсткості стінок русла, табл. 4.10; y – показник степеня; при $R < 1$ м — $y = 1,3\sqrt{n}$, а при $R > 1$ м — $y = 1,5\sqrt{n}$.

Наявність у рідині, що рухається, шматків гірничої маси зменшує швидкість руху гідросуміші у порівнянні з рухом чистої води. За даними проф. В. С. Мучника, для гідросуміші у формулу Шезі треба внести поправку Δi , яка враховуватиме наявність твердого в воді:

$$v = C \sqrt{R (i - \Delta i)}. \quad (4.68)$$

Для металевих жолобів з ухилом до 0,07 при концентрації гідросуміші 9 ... 25 % значення такої поправки є практично незмінним: $\Delta i = 0,012$.

Таблиця 4.10 – Значення коефіцієнту шорсткості стінок русел

Характеристика стінок	Коефіцієнт n
Винятково гладкі поверхні; поверхні, покриті емаллю або глазур'ю	0,008...0,009
Чисті нові залізні труби і лотки, ретельно укладені і з'єднані; добре обстругані дошки	0,010
Чисті залізні труби і лотки в нормальних умовах; добре пригнані нові дошки; нове якісне бетонування	0,012
Забруднені або кородовані залізні труби і лотки; старі або неякісні дошки; бетонування звичайної якості	0,014
Грубе бетонування; бутове мурування; цегельна кладка; канали, покриті товстим мулистим шаром	0,018
Канали в скелі з порівняно гладкими стінками; канали у щільному ґравії, щільній землі, затягнуті мулистю плівкою	0,020
Канали в скельних породах, щільній глині, ґравії, землі; земляні канали в гарному стані	0,022
Земляні канали в середньому стані	0,025
Земляні канали в поганому стані; русла річок	0,030

Існуючі методи розрахунку самопливного транспортування гірської маси не відрізняються достатньою точністю. Багато формул отримані без урахування впливу на здатність транспортувати форми часток, конструкції лотків і форми перетину потоку. Немає досить точних формул для розрахунку самопливного гідротранспорту в ґрунтових канавах на робочих площадках уступів. Утрудняє розрахунок самопливного транспорту мінливість площі живого перетину відкритого потоку по довжині канав, що транспортують пульпу до зумпфів землесосних станцій.

Найбільш повно сутність переносу відкритим потоком води дрібних твердих матеріалів *у зваженому стані* відбита в **методі розрахунку ВНДІГ ім. Б. Є. Веденєєва**. Метод заснований на численному експериментальному матеріалі і досить точно збігається з даними практики. По цьому методі гідравлічний розрахунок лотків здійснюється в залежності від необхідної витрати гідросуміші $Q_{\text{гс}}$, масової консистенції гідросуміші S'_m і середньозваженого розміру часток, що транспортуються, $d_{\text{ср}}$. В основі методу лежать емпіричні формули для розрахунку $Q_{\text{гс}}$, які слід вибирати з табл. 4.11 у залежності від $d_{\text{ср}}$.

Таблиця 4.11 – Формули ВНДІГ ім. Б. Є. Веденєєва для визначення витрати гідросуміші при безнапірному гідротранспорті

Середньозважений розмір часток, мм	Формули для визначення витрати гідросуміші, м ³ /с
До 0,07	$Q_{\text{гс}} = 0,2 \, m \, h_{\text{к}}^2 \left(1 + 3,43 \sqrt[4]{S'_{\text{м}} h_{\text{к}}^{0,75}} \right) \frac{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}{1,70 \, \rho_{\text{в}}}$
0,07 ... 0,15	$Q_{\text{гс}} = 0,3 \, m \, h_{\text{к}}^2 \left(1 + 3,50 \sqrt[3]{S'_{\text{м}}} \sqrt[4]{h_{\text{к}}} \right) \frac{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}{1,70 \, \rho_{\text{в}}}$
0,15 ... 0,40	$Q_{\text{гс}} = m \, h_{\text{к}}^2 \left(0,35 + 2,15 \sqrt[3]{S'_{\text{м}} h_{\text{к}}^2} \right) \frac{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}{1,70 \, \rho_{\text{в}}}$
0,40 ... 1,50	$Q_{\text{гс}} = m \, h_{\text{к}}^2 \left(0,35 + 2,15 \sqrt[3]{S'_{\text{м}} h_{\text{к}}^2} \right) \frac{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}{1,70 \, \rho_{\text{в}}} \sqrt{\frac{d_{\text{ср}}}{0,4}}$
Більш 1,50	$Q_{\text{гс}} = 1,9 \, h_{\text{к}}^2 \left(0,35 + 2,15 \sqrt[3]{S'_{\text{м}} h_{\text{к}}^2} \right) \sqrt{\frac{d_{\text{ср}}}{1,5} \cdot \frac{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}{1,70 \, \rho_{\text{в}}}}$

У формулах масова консистенція $S'_{\text{м}}$ визначається у процентах як відношення маси твердої T та рідкої P фаз:

$$S'_{\text{м}} = \frac{T}{P} \cdot 100\% ;$$

m – коефіцієнт, що дорівнює: $m = b / h_{\text{кр}}$; b – ширина лотка; $h_{\text{кр}}$ – глибина потоку в лотку, що відповідає критичній швидкості. Для умов гідротранспортування $m = 3 \dots 4$.

Розрахунок самопливного транспорту ведеться в наступному порядку. По заданій величині витрати гідросуміші $Q_{\text{гс}}$ і прийнятій величині m , по формулах табл. 4.6 шляхом підбору визначають критичну глибину $h_{\text{кр}}$ потоку в лотку. Ширину b лотка знаходять по формулі $b = m \, h_{\text{кр}}$. Визначають критичну швидкість руху гідросуміші:

$$v_{\text{кр}} = \frac{Q_{\text{гс}}}{b \, h_{\text{кр}}} . \quad (4.69)$$

Ухил лотка визначається по формулі Шезі при швидкості потоку, що дорівнює критичній

$$i = \frac{v_{\text{кр}}^2}{R_{\text{кр}} \, C^2} , \quad (4.70)$$

де гідравлічний радіус $R_{\text{кр}} = b \, h_{\text{кр}} / (b + 2h_{\text{кр}})$.

У випадку транспортування **напівскельних порід крупністю 0...200 мм** (дроблений піщаник, аргіліт, алевроліт і ін.), які переміщуються в потоці в основному в придонній частині, рекомендується **метод В. І. Шелоганова**. Порядок розрахунку за цим методом наступний.

Умовна здатність потоку транспортувати без урахування дрібних фракцій породи

$$Q_{т.у} = \frac{Q_{т.}}{0,6 \sqrt{\frac{Q_{т.}}{Q_{в.}}} \Pi + 1}, \quad (4.71)$$

де $Q_{т.}$ – задана продуктивність по породі з урахуванням дрібних фракцій; $Q_{в.}$ – витрата води; $Q_{в.} = q Q_{т.}$; q – питома витрата води; Π – процентний вміст дрібних фракцій від загального обсягу породи, що транспортується.

Необхідна швидкість руху потоку води

$$v = 9,1 \sqrt[3]{\frac{h^2}{q \lambda^2 \sqrt{d_{ср}}} \left(\frac{d_{ср}}{d_{\max}} \right)^{0,125}} \sqrt{f g \frac{\rho_{т.} - \rho_{в.}}{\rho_{в.}}}; \quad (4.72)$$

ширина прямокутного лотка

$$b = \frac{0,21 Q_{т.у} h}{\lambda^2 v^4 \sqrt{d_{ср}}} \left(\frac{d_{ср}}{d_{\max}} \right)^{0,125} \left[f g \frac{\rho_{т.} - \rho_{в.}}{\rho_{в.}} \right]^{1,5}, \quad (4.73)$$

де $d_{ср}$ і $d_{\max}$ – середньозважений і максимальний розміри шматків породи, що транспортується; h – глибина потоку води до введення в нього твердого:

$$h = (1,4 \dots 2,5) d_{ср};$$

λ – коефіцієнт, що враховує вплив ширини потоку на його здатність транспортувати: для витрати води 500 ... 3000 м³/год — $\lambda = 1,5$, а для витрати більш 3000 м³/год — $\lambda = 0,7$; f – коефіцієнт тертя матеріалу по дну лотка, значення якого приведені в табл. 4.12.

По знайденій швидкості руху потоку води і розмірам поперечного переріза лотка по формулі Шезі визначається ухил i лотка.

Область застосування зазначеного методу обмежується витратою води від 500 до 4000 м³/год та умовами

$$\frac{d_{ср}}{h} < 0,7; \quad \frac{d_{\max}}{h} < 1. \quad (4.74)$$

Таблиця 4.12 – Середні значення коефіцієнта тертя f матеріалу, що транспортується по лотку

Лоток	Коефіцієнт тертя f для		
	піщанику	аргіліту	вугілля
Металевий	0,66	0,46	0,36
Емальований	0,44	0,30	0,22
Армований склом	0,45	0,34	0,22
Армований метлаською плиткою	0,57	0,54	0,54
Армований кахельною плиткою	0,52	0,36	0,31
Армований дерев'яними струганими дошками	0,78	0,64	0,62
Армований торцевими дерев'яними вставками	1,09	0,88	0,92

Наближений метод розрахунку самопливного гідротранспорту гірської маси по лотках полягає в наступному. Вихідними даними є витрата гідросуміші $Q_{гс}$ та тип матеріалу, що транспортується. Критична швидкість руху пульпи приймається за даними табл. 4.13. Основні розміри лотка визначаються за залежністю (4.69) з урахуванням співвідношення між шириною лотка і глибиною потоку $b = (3 \dots 4) h$. Конструктивна висота лотка h повинна бути на 30 % більше максимального розміру шматків, що транспортуються.

Ухил лотка розраховується по формулі Шезі. Орієнтовні значення мінімального ухилу лотків і каналів для гідротранспортування порід наведені в табл. 4.14 і 4.15.

Таблиця 4.13 – Критична швидкість безнапірного потоку

Порода	Критична швидкість потоку, м/с
Мул і глина	0,08
Тонкий пісок	0,15
Грубий пісок	0,22
Гравій крупністю 25 мм	0,60
Гравій крупністю 50 мм	1,00
Галька крупністю 75-100 мм	1,60
Галька крупністю 150-200 мм	2,00
Галька крупністю 300-450 мм	3,00

Таблиця 4.14 – Мінімальний ухил лотків і каналів

Порода	Мінімальний ухил	
	лотків і бетонованих каналів	земляних каналів
Глина	0,015 ... 0,025	0,020 ... 0,030
Дрібний пісок	0,025 ... 0,030	0,030 ... 0,040
Середній пісок	0,030 ... 0,035	0,040 ... 0,050
Великий пісок	0,035 ... 0,050	0,050 ... 0,060
Гравій	0,050 ... 0,100	—

Таблиця 4.15 – Ухил пульпоприймальних каналів при гідромоніторному розмиві порід

Група порід	Порода	Ухил пульпоприймальних каналів при продуктивності гідромоніторів, м ³ /с		
		0,1	0,2	0,3
I	Попередньо розпушена незлежала порода	Приймаються по відповідній групі порід		
	Пісок дрібнозернистий і пиловатий	—	0,045	0,030
II	Супісь легка	0,035	0,030	0,025
	Льос пухкий	0,035	0,030	0,025
	Торф, що розклався	0,025	0,020	0,015
III	Пісок середньо- і різнозернистий	—	0,050	0,035
	Супісь середня	0,030	0,025	0,020
	Суглинок легкий	0,030	0,025	0,020
	Льос щільний	0,030	0,025	0,020
	Пісок грубозернистий	—	0,060	0,040
	Супісь важка	0,035	0,030	0,025
IV	Суглинок середній і важкий, глина піщана	0,030	0,025	0,020
V	Піщано-гравійна суміш зі змістом гравію до 25%	—	0,080	0,070
	Глина напівжирна зі вмістом глинистих фракцій 40 ... 50%	0,035	0,030	0,025
	Піщано-гравійна суміш зі змістом гравію до 40%	—	0,120	0,100
VI	Глина напівжирна зі вмістом глинистих фракцій до 50 ... 60%	0,035	0,030	0,025

4.3 Відцентрові насоси для гідросумішей

Для здійснення напірного гідротранспорту застосовуються лопатеві й об'ємні насоси, гідроелеватори і ерліфти. Найбільшого поширення набули відцентрові насоси, які відносяться до групи лопатевих і спеціально призначені для перекачування гідросумішей.

4.3.1 Основні положення теорії лопатевих машин

У відцентрових насосах передача енергії від робочого колеса до рідини здійснюється за рахунок динамічної взаємодії між потоком рідини і лопатями *робочого колеса*:

На рис. 4.13 показана схема одноступінчастого відцентрового насоса. Рідина через вхідний патрубок 1 подається у внутрішню порожнину робочого колеса 2, де попадає в простір між лопатями. Робоче колесо складається з двох дисків із розташованими між ними лопатями. Один диск (передній) має в центрі отвір для проходу рідини в порожнину робочого колеса, а інший (задній) за допомогою маточини кріпиться на валу 4. Робоче колесо розташовано в корпусі, внутрішня порожнина якого виконана у вигляді спіralи з дифузорним каналом 3 (так званий *равлик*), який поступово переходить у напірний патрубок 5.

Принцип дії відцентрового насоса полягає у наступному. Перед пуском насоса внутрішню порожнину корпусу заповнюють рідиною, що перекачується. Після запуску насоса рідина, що знаходиться в порожнині робочого колеса, починає обертатися разом з ним. При цьому виникають гідродинамічні (відцентрові) сили, під дією яких рідина рухається від центра до периферії і потім викидається з порожнини робочого колеса в дифузорний канал. Унаслідок безперервності потоку рідини в центрі робочого колеса виникає розрідження, у результаті чого з усмоктувальної лінії через вхідний патрубок надходить нова порція рідини.

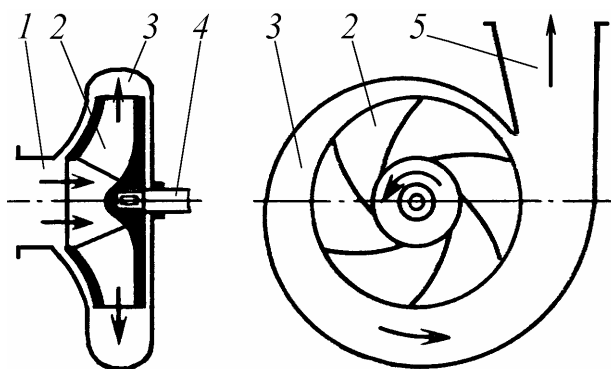


Рисунок 4.13 – Схема одноступінчастого відцентрового насоса: 1 – вхідний патрубок; 2 – робоче колесо; 3 – відвід (равлик); 4 – вал; 5 – напірний патрубок

При проходженні крізь робоче колесо рідина здобуває кінетичну енергію, виходячи з нього з великою швидкістю. В дифузорному каналі при істотному зниженні швидкості рідини значна частина її кінетичної енергії переходить у потенційну, у результаті чого тиск рідини зростає. У такий спосіб досягається необхідний тиск рідини, яка виходить з напірного патрубка.

Відцентрові насоси класифікуються за наступними ознаками.

У залежності від *числа ступіней* (послідовно розташованих робочих коліс) відцентрові насоси підрозділяються на одноступінчасті, двоступінчасті і багатоступінчасті. В двоступінчастих і багатоступінчастих насосах рідина, пройшовши перше колесо, попадає на вхід другого, здобуваючи послідовно енергію на кожній ступіні. Тому багатоступінчасті насоси є високонапірними.

У залежності від *числа потоків* (паралельно розташованих робочих коліс) відцентрові насоси підрозділяються на однопотокові, двопотокові і багатопотокові. Останні є насосами великих подач.

У залежності від *умов входу рідини* в порожнину робочого колеса відцентрові насоси підрозділяються на насоси одnobічного входу і двостороннього входу, див. рис. 3.11.

За умовами *відводу рідини* з порожнини робочого колеса відцентрові насоси поділяються на насоси зі спіральним відводом, рис. 4.13, з кільцевим відводом та з направляючим апаратом. Направляючий апарат служить для зменшення швидкості рідини, що виходить з робочого колеса і направлення її на вхід наступного робочого колеса багатоступінчастих секційних насосів, див. рис. 3.12.

Відцентрові насоси мають різні конструкції *робочого колеса*: із закритим робочим колесом (із двома дисками), з напіввідчиненим робочим колесом (з одним диском), з відкритим робочим колесом (без дисків). Детально конструкції робочих коліс, що використовуються у насосах для гідросумішей, розглянуті нижче.

Рух рідини в порожнині робочого колеса можна представити у виді суми двох рухів: *переносного* — обертання разом з робочим колесом, і *відносного* — руху рідини відносно робочого колеса.

Швидкість переносного руху *u* спрямована по дотичній до окружності убік обертання робочого колеса, рис. 4.14, і її значення для деякої точки на робочому колесі визначається по формулі

$$u = \pi D n / 60, \quad (4.75)$$

де D — діаметр окружності, на якій розташована точка, що розглядається; n — частота обертання робочого колеса, об/хв.

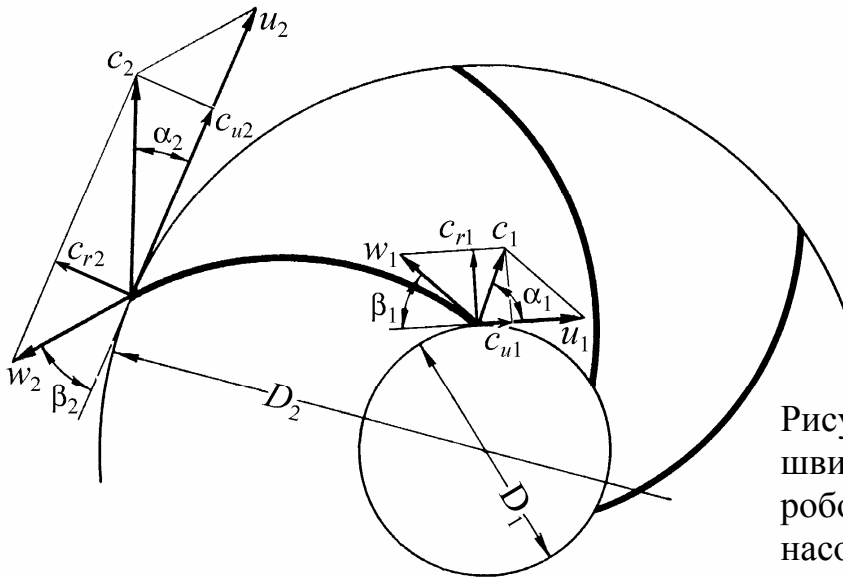


Рисунок 4.14 – Паралелограми швидкостей на вході і виході робочого колеса відцентрового насоса

Швидкість відносного руху w можна визначити, якщо зробити деякі припущення. Зазвичай вважають, що лопаті розташовані так часто, а канали між ними такі вузькі, що рідина рухається у цих каналах строго паралельно лопатям. Тоді відносна швидкість w спрямована по дотичній до лопаті, а її значення дорівнює

$$w = \frac{Q_T}{\pi D b \psi \sin \beta}, \quad (4.76)$$

де Q_T – теоретична подача насоса (витрата рідини, що протікає через робоче колесо); b – ширина колеса на окружності діаметром D ; β – кут нахилу лопатей відносно нормалі до радіуса; ψ – коефіцієнт стиснення, який враховує зменшення площі живого перетину потоку лопатями:

$$\psi = 1 - \frac{z \delta b}{\pi D}; \quad (4.77)$$

z – число лопатей, δ – товщина лопаті на окружності діаметром D .

Значення і напрямки абсолютної швидкості руху c визначаються шляхом геометричного складання переносної і відносної швидкостей

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}. \quad (4.78)$$

З паралелограма швидкостей маємо

$$w^2 = c^2 + u^2 - 2 c u \cos \alpha, \quad (4.79)$$

де α – кут між напрямками абсолютної c і переносної u швидкостей рідини.

Абсолютну швидкість c можна також розкласти на дві взаємно перпендикулярні складові: тангенціальну швидкість c_u , спрямовану по дотичній до окружності обертання, і радіальну швидкість c_r , спрямовану уздовж радіуса окружності обертання.

Радіальну і тангенціальну складові абсолютної швидкості можна визначити за наступними формулами:

$$c_r = c \sin \alpha \quad \text{і} \quad c_u = c \cos \alpha = u - c_r \operatorname{ctg} \beta. \quad (4.80)$$

Таким чином, характер руху рідини в робочому колесі визначається лінійними розмірами і частотою обертання робочого колеса, а також конструкцією лопатей.

На основі отриманих закономірностей кінематики рідини в робочому колесі можна установити закономірності динаміки рідини, тобто установити характер її взаємодії з робочим колесом і визначити енергію, що здобувається рідиною в робочому колесі.

Розглянемо модель робочого колеса відцентрового насоса з нескінченно великим числом тонких лопатей. Будемо вважати, що гідравлічні утрати відсутні. В цьому випадку питома енергія, що здобувається рідиною в робочому колесі, являє собою **теоретичний напір**. Величина теоретичного напору визначається рівнянням

$$H_T = \frac{1}{g}(u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1}) \quad \text{або} \quad H_T = \frac{1}{g}(u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) \quad (4.81)$$

де u_1 , c_1 , c_{u1} і α_1 – переносна, абсолютна, тангенціальна швидкості і кут між напрямками абсолютної та переносної швидкостей на окружності з діаметром D_1 , на якій рідина входить у міжлопатевий простір; u_2 , c_2 , c_{u2} і α_2 – відповідні параметри на окружності з діаметром D_2 , де рідина виходить з робочого колеса (D_2 – зовнішній діаметр колеса).

Рівняння (4.81) називається **основним рівнянням відцентрового насоса** або **рівнянням Ейлера**. Воно дає зв'язок між теоретичним напором і кінематичними показниками потоку рідини, що протікає крізь робоче колесо. Рівняння Ейлера застосовне до лопатевих насосів будь-якого виду. Для відцентрових насосів при осьовому підведенні рідини до робочого колеса можна прийняти, що абсолютна швидкість c_1 спрямована по радіусі, тобто $\alpha_1 = 90^\circ$ і $c_{u1} = 0$. Рівняння (4.81) прийме вид

$$H_T = \frac{1}{g} u_2 c_{u2} \quad \text{або} \quad H_T = \frac{1}{g} u_2 c_2 \cos \alpha_2. \quad (4.82)$$

З урахуванням (4.80) можемо записати

$$H_T = \frac{1}{g} u_2 (u_2 - c_{r2} \operatorname{ctg} \beta_2), \quad (4.83)$$

де c_{r2} – радіальна швидкість на виході з робочого колеса. Оскільки саме ця швидкість визначає витрату рідини, яка проходить крізь колесо, її величину можемо визначити за залежністю

$$c_{r2} = \frac{Q_T}{\pi D_2 b_2 \psi_2}, \quad (4.84)$$

де b_2 і ψ_2 – ширина і коефіцієнт стиснення на виході з робочого колеса. Підставивши (4.84) у (4.83), отримаємо залежність теоретичного напору від теоретичної подачі насоса:

$$H_T = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \operatorname{ctg} \beta_2}{\pi g D_2 b_2 \psi_2} Q_T. \quad (4.85)$$

Цю залежність називають **теоретичною напірною характеристикою** відцентрового насоса. З неї випливає, що при постійній частоті обертання ($n = \text{const}$ і, отже, $u_2 = \text{const}$) залежність теоретичного напору при нескінченному числі лопатей від витрати рідини, що протікає через робоче колесо, лінійна. Характер цієї залежності визначається кутом нахилу лопатей β_2 на виході з колеса: якщо $\beta_2 < 90^\circ$ (лопать “відігнута” назад, рис. 4.15 а), $\operatorname{ctg} \beta_2 > 0$ і з ростом подачі напір знижується; якщо $\beta_2 = 90^\circ$ (лопаті радіальні, рис. 4.15 б),

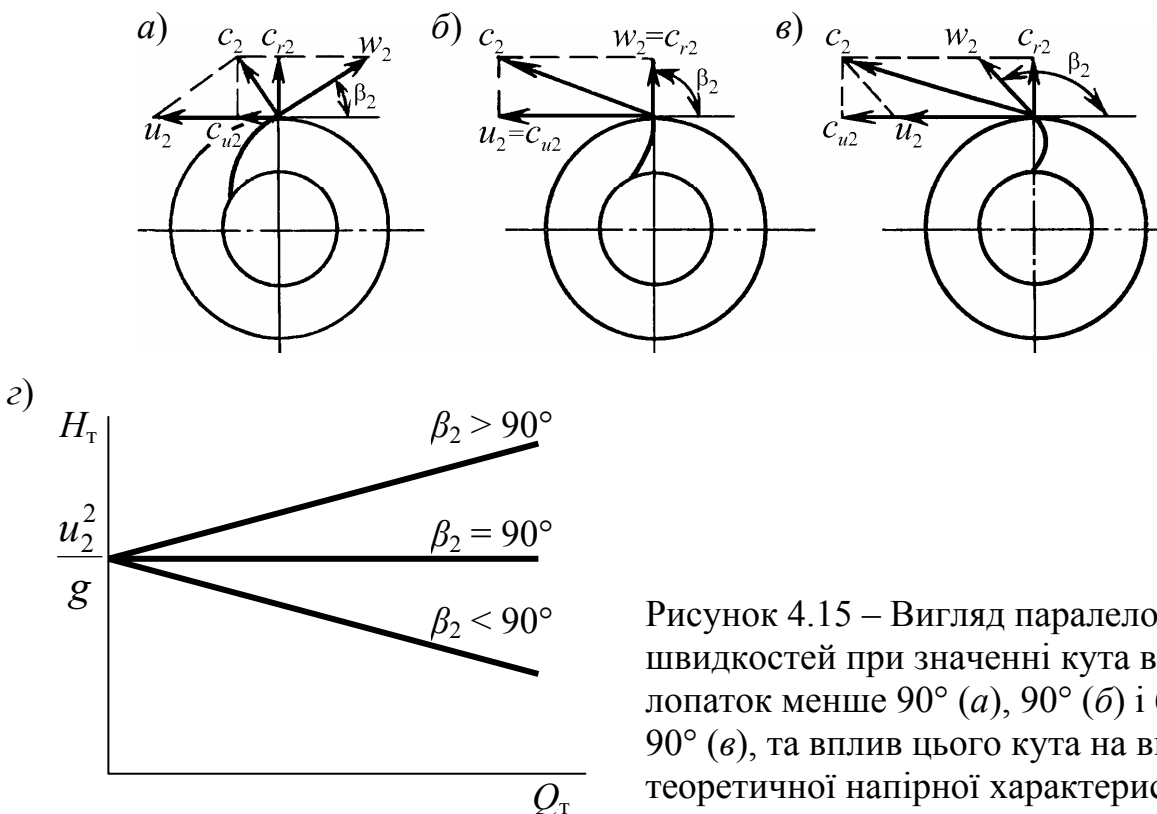


Рисунок 4.15 – Вигляд паралелограму швидкостей при значенні кута виходу лопаток менше 90° (а), 90° (б) і більше 90° (в), та вплив цього кута на вигляд теоретичної напірної характеристики (г)

$\operatorname{ctg} \beta_2 = 0$ і $H_T = \text{const}$; якщо $\beta_2 > 90^\circ$ (лопоть “відігнута” уперед, рис. 4.15 в), $\operatorname{ctg} \beta_2 < 0$ і з ростом подачі напір зростає, рис. 4.15 г.

На перший погляд, лопоть з кутом виходу більше 90° є вигіднішою, оскільки забезпечує більші значення напору. Але, як видно з трикутників швидкостей, рис. 4.15 а, б і в, при одній і тій же частоті обертання з ростом кута нахилу лопаті β_2 росте абсолютна швидкість c_2 на виході з робочого колеса. Це викликає зростання гідравлічних утрат і веде до суттєвого зменшення коефіцієнту корисної дії насоса. Крім того, збільшення β_2 може привести до нестійких режимів. Тому звичайно у відцентрових насосах $\beta_2 < 35^\circ$.

Дійсна напірна характеристика лопатевої машини, — залежність напору H від подачі Q , — значно відрізняється від теоретичної. Причин тому дві. Перша — наявність циркуляційних процесів у робочому колесі. Відмінність реального робочого колеса від ідеальної моделі з нескінченною кількістю лопатей призводить до того, що траєкторії відносного руху часток рідини відрізняються від форми лопатей. Дійсне значення тангенціальної складової абсолютної швидкості на виході з колеса буде меншим, ніж розрахункове. Тому і напір буде меншим, ніж теоретичний. На рис. 4.16 лінія 1 — теоретична характеристика насоса з нескінченним числом лопатей робочого колеса, лінія 2 — теоретична характеристика з урахуванням скінченної кількості лопатей, ΔH_∞ — різниця напорів між ними.

Друга причина — наявність *утрат енергії*. Теоретичну характеристику отримано для ідеальної машини, без урахування утрат. Процес передачі механічної енергії від двигуна до рідини супроводжується втратами енергії. Якщо на валу двигуна, що обертає вал насоса з робочим колесом, розвивається потужність N , а корисна потужність, що здобувається рідиною в насосі, (*гідравлічна потужність*) $N_k = \rho g H Q$, де ρ — щільність рідини, H — напір, Q — витрата рідини, то рівняння балансу енергії відцентрового насоса можна представити у виді

$$N = N_k + \Delta N, \quad (4.86)$$

де ΔN — втрати потужності, зумовлені трьома чинниками: втратами на механічне тертя в ущільненнях і підшипниках ΔN_m , втратами на витоки рідини з області нагнітання в область усмоктування ΔN_o і втратами на тертя в рідині ΔN_r . Таким чином,

$$\Delta N = \Delta N_m + \Delta N_o + \Delta N_r. \quad (4.87)$$

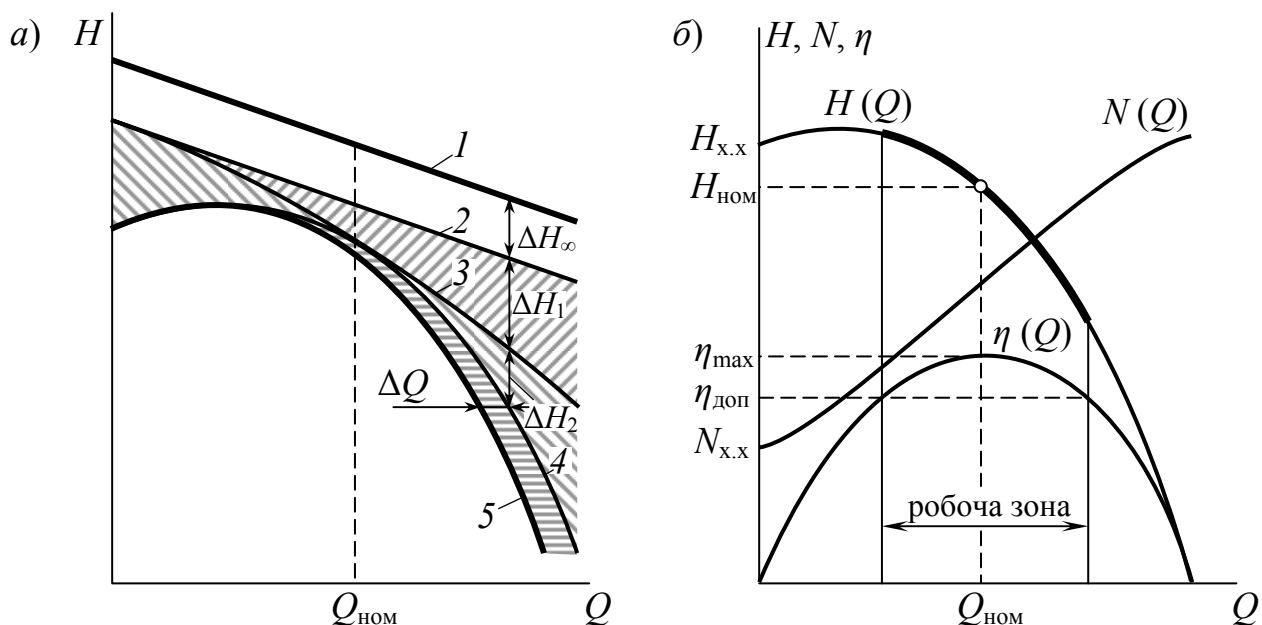


Рисунок 4.16 – Побудова дійсної напірної характеристики відцентрового насоса (а); напірна і енергетична характеристики насоса (б)

Втрати на механічне тертя впливають на величину споживаної потужності і к.к.д. насоса, але не роблять вплив на напірну характеристику. Навпроти, утрати на гідравлічне тертя і витіки безпосередньо відбиваються на напірній характеристиці.

Утрати енергії на тертя в рідині призводять до зменшення напору насоса. Ці утрати викликані двома причинами. Перша — утрати на гідравлічне тертя при русі рідини в каналах насоса. Через високі значення чисел Рейнольдса цей рух відбувається у розвиненому турбулентному режимі, для якого характерна квадратична залежність втрат напору: $\Delta H_1 = a Q^2$, де a — опір каналів насоса. Віднявши від значень напору кривої 2, отримаємо криву 3. Заштрихована зона між цими кривими — утрати напору на гідравлічне тертя.

Друга причина втрати напору — гідравлічний удар при вході рідини в робоче колесо. Кут нахилу вхідних кромek лопатей β_1 при проектуванні насоса вибирають таким, щоб при вході незакрученого потоку ($c_{u1} = 0$) в робоче колесо відносна швидкість w_1 була направлена по дотичній до лопаті:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{c_{r1}}{u_1} = \frac{Q_{\text{ном}}}{\pi D_1 b_1 \psi_1} \cdot \frac{60}{\pi D_1 n} = \frac{60 Q_{\text{ном}}}{\pi^2 D_1^2 b_1 \psi_1 n}, \quad (4.88)$$

де $Q_{\text{ном}}$ — номінальна подача насоса. При виконанні цієї умови вхід рідини у робоче колесо буде плавним. Очевидно, що при відхиленні подачі від номінальної рідина буде входити у міжлопатевий канал під іншим кутом, унаслідок чого частина напору ΔH_2 буде витрачатися на

гідравлічний удар і вихроутворення. На рис. 4.16 ці утрати враховані кривою 4.

Дійсна подача насоса відрізняється від теоретичної на значення поворотних витоків ΔQ : $Q = Q_T - \Delta Q$. Основна причина витоків — негерметичність ущільнення між переднім диском робочого колеса і корпусом. Це ущільнення відокремлює порожнину нагнітання від порожнини усмоктування і зазвичай буває щільного типу — два шліфованих кільця з малим зазором між ними. Через значну різницю тисків у вказаних порожнинах частина рідини, яка проходить крізь робоче колесо, повертається назад у порожнину всмоктування, зменшуючи подачу насоса.

Зсунувши криву напорів 4 уліво на значення поворотних витоків ΔQ , одержимо дійсну напірну характеристику насоса (крива 5 на рис. 4.16).

Напірна характеристика насоса дозволяє визначити можливість його роботи на деяку мережу, і робочий режим — напір і подачу, — при роботі на цю мережу. Оскільки визначити усі витрати енергії теоретично неможливо, характеристику насоса отримують шляхом випробувань на спеціальному стенді. Окрім напірної характеристики, у паспорті насоса вказується його енергетична характеристика — залежність споживаної потужності і коефіцієнта корисної дії насоса від його подачі.

Споживана потужність — потужність на валу насоса, — визначається при його стендових випробуваннях. К.к.д. насоса

$$\eta = \frac{\rho g H Q}{N}. \quad (4.89)$$

Вигляд графіків напірної та енергетичної характеристик відцентрового насоса наведено на рис. 4.17. Потужність на валу насоса зростає зі збільшенням подачі. Залежність к.к.д. від подачі складніше. Як видно з (4.89), $\eta = 0$ у двох випадках: якщо $Q = 0$ (насос працює на трубопровід з закритою засувкою), та якщо $H = 0$. При деякому значенні подачі к.к.д. набуває максимального значення. Таку подачу вважають *номіальною* для даного насоса ($Q_{\text{ном}}$), а інтервал подач, у якому к.к.д. залишається достатньо високим, називають **зоною промислового використання** або **робочою зоною** насоса.

Звичайно характеристики насосів надаються для заданих значень частоти обертання вала, діаметра робочого колеса і щільності рідини. Якщо в умовах експлуатації насоса ці параметри приймають

інші значення, то характеристики насоса можна перерахувати на основі *теорії подоби*.

Як видно з рівняння (4.81), напір насоса не залежить від щільності рідини. Один і той же насос при однаковій частоті обертання вала створить, припустимо, 20 метрів напору води, керосину, спирту і т.д. Однак, тиск, який створює насос, буде пропорційним щільності рідини: $p = \rho g H$. Чим більшу щільність має рідина, тим більший буде тиск насоса. Цей факт пояснює необхідність заповнення насосів рідиною перед пуском: адже щільність повітря приблизно у 800 разів менша, ніж щільність води. Відповідно, тиск, який створює незаповнений насос, буде дуже малий.

Якщо насос перекачує гідросуміш, щільність якої більше щільності води, це також призведе до збільшення тиску, хоча через несплошність середовища залежність в даному випадку нелінійна. Слід зауважити, що в практиці гідромеханізації під напором гідросуміші розуміють тиск, виражений у одиницях напору чистої води. Тому напір насосів в цьому випадку теж буде більшим.

На практиці для регулювання продуктивності насосів інколи застосовують один з методів: зменшення діаметра робочого колеса шляхом його обточування або зміна частоти обертання вала насоса через заміну приводного двигуна. В обох випадках характеристика насоса змінюється.

Відповідно до законів подоби гідродинамічних машин, при зміні частоти n обертання продуктивність змінюється пропорційно n , напір — пропорційно n^2 , потужність — пропорційно n^3 . Позначивши параметри деякого насоса при даному числі оборотів через Q_1, H_1, N_1, n_1 , а при зміні числа оборотів через Q_2, H_2, N_2, n_2 , одержимо

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}. \quad (4.90)$$

Зміна подачі і напору відцентрового насоса за рахунок зменшення зовнішнього діаметра колеса (тобто за рахунок його обточування) становить

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}, \quad (4.91)$$

де D_1 і D_2 — діаметри нормального та обточеного робочих коліс. Обточування допускається не більш, ніж на 15-20% первісного діаметра, оскільки більше обточування приводить до зниження к.к.д. Докладніше про регулювання відцентрових насосів див. пп. 3.2.2.

Окрім напору і подачі, важливим показником роботи насоса є здатність усмоктувати рідину — його кавітаційна характеристика.

Кавітацією називається порушення безперервності потоку рідини, обумовлене появою в ній порожнин, заповнених паром або газом. Кавітація виникає у зонах різкого падіння тиску, де тиск стає меншим, ніж тиск насиченої пари рідини. Рідина починає перетворюватися на пару і утворюються пухирі. Ці пухирі рухаються далі і, потрапляючи у зону з більшим тиском, миттєво схлопуються, причому у рідині виникає гідравлічний удар.

У відцентровому насосі зоною виникнення кавітації є вхід в робоче колесо. Одним з найбільш небезпечних наслідків кавітації є руйнування стінок каналу. При перекачуванні абразивних гідросумішей кавітаційне руйнування відбувається разом з гідроабразивним зношуванням, що приводить до значного зростання інтенсивності руйнування деталей насоса. Робота насоса в кавітаційному режимі супроводжується шумом, тріском, ударами рідини і твердих часток гідросуміші об стінки каналів, вібрацією. При роботі насоса в кавітаційному режимі знижується напір і к. к. д.

Кавітаційна характеристика насоса — це крива залежності напору H і потужності N від кавітаційного запасу Δh при постійних подачі і числі оборотів, рис.4.17. **Кавітаційним запасом** називається перевищення питомої енергії рідини (повного напору) в усмоктувальному патрубку насоса над пружністю її пари, тобто

$$\Delta h = \frac{p_y}{\rho g} + \frac{v_y^2}{2g} - \frac{p_{н.п}}{\rho g}, \quad (4.92)$$

де p_y , v_y — відповідно абсолютний тиск і швидкість руху рідини в усмоктувальному патрубку; $p_{н.п}$ — тиск насиченої пари рідини. Як видно з характеристики, якщо кавітаційний запас стає меншим деякого критичного значення $\Delta h_{кр}$, в насосі настає кавітація і його напір різко зменшується.

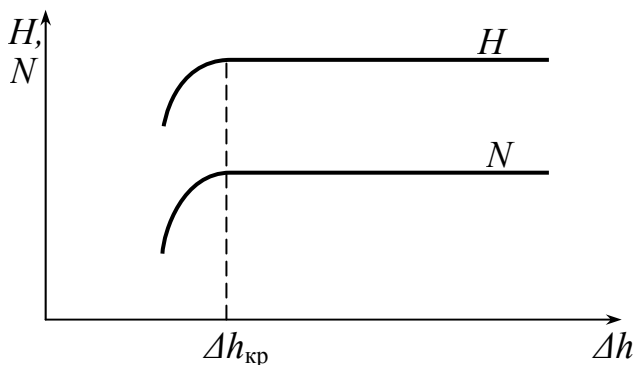


Рисунок 4.17 – Кавітаційна характеристика насоса

Рідина по усмоктувальному трубопроводу рухається під дією різниці статичних тисків, що діють на поверхню рідини в місці її забору (звичайно це атмосферний тиск p_a) і в усмоктувальному патрубку p_y . Ця різниця тисків, виражена у метрах стовпа рідини, називається **вакуумметричною висотою усмоктування**:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_a - p_y}{\rho g}. \quad (4.93)$$

Припустима вакуумметрична висота усмоктування, при якій насос працює без ризику виникнення кавітації, зв'язана з припустимим кавітаційним запасом $\Delta h_{\text{пр}}$ залежністю

$$H_{\text{вак}}^{\text{пр}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п}}}{\rho g} + \frac{v_y^2}{2g} - \Delta h_{\text{пр}}. \quad (4.94)$$

Припустимий кавітаційний запас становить $\Delta h_{\text{пр}} = (1,2 \dots 1,3) \Delta h_{\text{кр}}$.

Припустима геометрична висота усмоктування — різниця висот рівня поверхні рідини в резервуарі і вхідного патрубка насоса, — менше вакуумметричної на величину утрат напору в усмоктувальному трубопроводі:

$$H_y^{\text{пр}} = H_{\text{вак}}^{\text{пр}} - a_y Q^2, \quad (4.95)$$

де a_y — гідравлічний опір усмоктувального трубопроводу насоса.

Припустимі значення кавітаційного запасу, вакуумметричної і геометричної висот усмоктування залежать від подачі насоса — чим більше подача, тим більший має бути кавітаційний запас і, відповідно, зменшуються вакуумметрична і геометрична висоти усмоктування. У паспортах насосів, каталогах і довідниках приводиться графік залежності припустимого кавітаційного запасу або припустимої вакуумметричної висоти усмоктування від подачі насоса, зазвичай розташований на тому ж полі, що й характеристики насоса.

Припустимі кавітаційні запаси залишаються приблизно постійними при роботі на воді і на *гідросуміші*. Припустима геометрична висота усмоктування при роботі насоса на гідросуміші буде *меншою*, ніж при роботі на воді, через збільшення щільності і більші утрати напору при русі гідросуміші. Чим більше *концентрація* гідросуміші, тим меншою має бути висота усмоктування.

Контроль за безкавітаційним режимом роботи насоса здійснюється за допомогою вакуумметра, встановленого на усмоктувальному патрубку.

4.3.2 Особливості конструкції відцентрових насосів для гідросумішей

Основними елементами відцентрового насоса є *робоче колесо*, *підведення* і *відвід*. Крім того, до *гідравлічних елементів* відносять ущільнення, гідравлічний затвор, а до *конструктивних* — корпус, вал з деталями для кріплення коліс, підшипники, втулки, стяжні і кріпильні деталі.

Робоче колесо відцентрового насоса призначене для перетворення механічної енергії обертання вала в енергію потоку рідини, що перекачується.

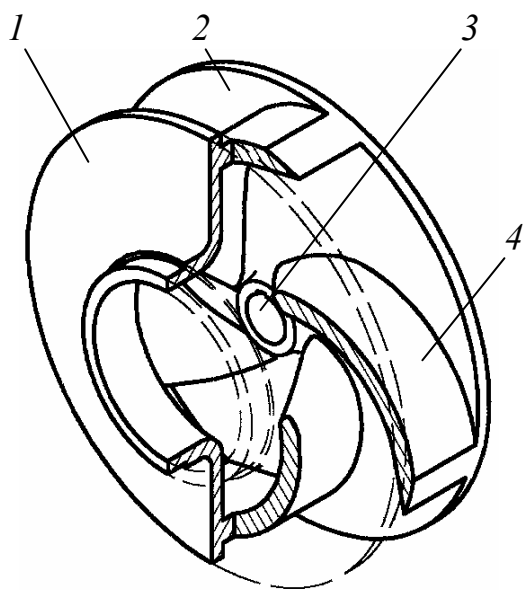


Рисунок 4.18 – Робоче колесо відцентрового насосу

Робоче колесо складається з переднього диску *1*, заднього (корінного) диску *2*, маточини *3* і лопаток *4*, рис. 4.18. Рідина з підводу насоса через вікно всмоктування у передньому диску поступає у міжлопатеві канали. Внаслідок гідродинамічної взаємодії потоку рідини з лопатками колеса, що обертається, збільшується швидкість потоку та напір. Пройшовши через канали, рідина виходить вікнами по окружності колеса, та направляється у відвід.

До робочих коліс відцентрових насосів для гідросумішей висувають такі *вимоги*: передача енергії потоку має відбуватися з мінімальними втратами; колеса мають бути зносостійкими; колеса повинні мати максимально можливі прохідні перетини каналів, тверді частки не повинні заклинюватися у них; колеса повинні мати просте, швидкокороз'ємне та надійне з'єднання з валом.

Розрізняють наступні типи робочих коліс ґрунтових насосів: відкриті, напівзакриті та закриті.

Відкриті робочі колеса не мають дисків, рис. 4.19 а. Вони досить прості в конструктивному відношенні, але в сучасних ґрунтових насосах колеса цього типу застосовуються нечасто, тому що їх к. к. д. не перевищує 40%. Відкриті робочі колеса менш піддані засміченню і дуже просто захищаються від зносу накладками зі спеціальних сталей. Ремонтувати їх також простіше, ніж колеса інших типів.

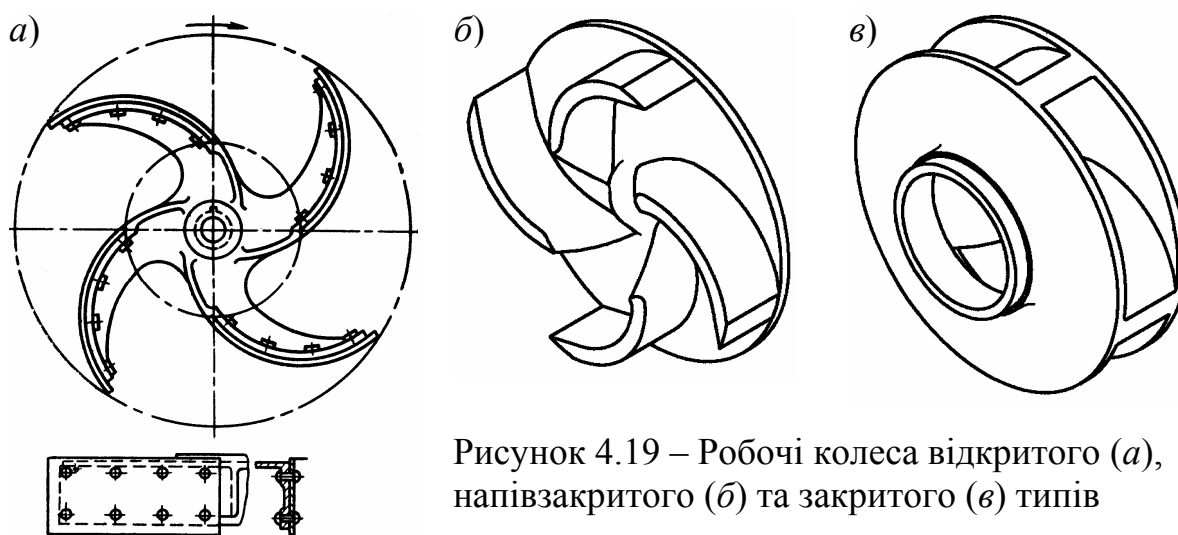


Рисунок 4.19 – Робочі колеса відкритого (а), напівзакритого (б) та закритого (в) типів

Напівзакриті колеса мають задній диск, виконаний за одне ціле з маточиною, за допомогою якої колесо кріпиться на валу, рис. 4.19 б. Перевагою напівзакритих коліс є простота виготовлення та ремонту. Доступність усіх поверхонь, що зношуються, спрощує наплавлення їх твердими сплавами. К. к. д. таких коліс більший, ніж відкритих.

Закриті робочі колеса, які мають передній та задній диски, рис. 4.19 в, найбільш досконалі в гідравлічному відношенні, і ними обладнуються майже всі сучасні ґрунтові насоси. Ці колеса за інших рівних умов мають найбільшу механічну міцність. До числа їхніх недоліків слід віднести більшу імовірність засмічення. Закриті колеса складніше захищати від зносу.

Робочі колеса в *насосах для гідросумішей* виготовляють широкими, з великими прохідними перетинами каналів, рис. 4.20. Кількість лопаток у таких коліс менше, ніж у коліс звичайних насосів — як правило, від двох до чотирьох. Передній та задній диски роблять паралельними — це знижує можливість заклинювання великоуламкового матеріалу в робочому колесі.

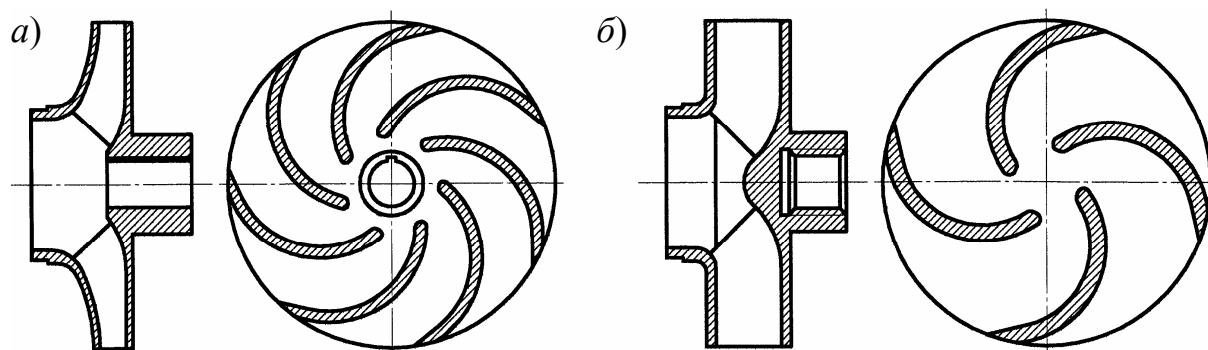


Рисунок 4.20 – Робочі колеса насосу для чистої води (а) та насосу для гідросуміші (б)

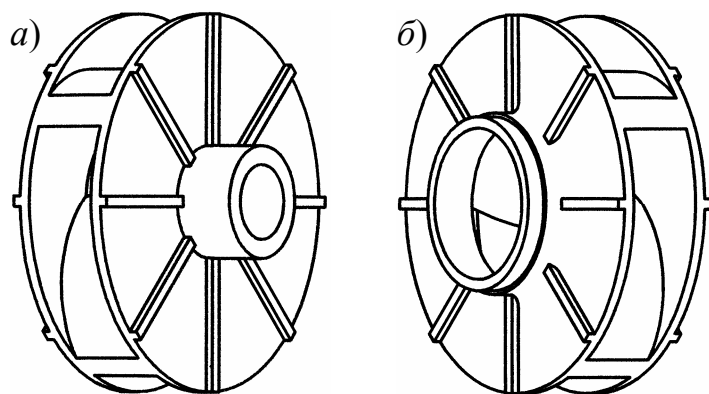


Рисунок 4.21 – Імпелер на задньому (а) та передньому (б) дисках робочого колеса

Інколи на зовнішній стороні заднього та переднього дисків робочого колеса роблять вузькі радіальні лопатки — *імпелер*, — які закручують рідину у щілині за колесом, рис. 4.21. Відцентрова сила, що виникає, не дає твердим часткам потрапляти у зазор між робочим колесом та заднім бронедиском, а також у сальник. Крім того, імпелер зменшує тиск рідини у просторі за колесом, що покращує умови роботи сальника та зменшує осьове зусилля на роторі.

Робочі колеса, як правило, виготовляються суцільнолитими. Колеса великих ґрунтових насосів іноді виготовляються звареними з литих деталей. Іноді, при застосуванні для виготовлення коліс важко-оброблюваних твердих сплавів, вони робляться з окремою маточиною, яку виготовляють з більш м'якого матеріалу.

Відомі різні способи кріплення робочого колеса на валі. Найбільш поширені з них показані на рис. 4.22. Способи кріплення можна розділити на чотири групи: кріплення з наскрізними отворами в маточині, кріплення без наскрізних отворів, гвинтові та фланцеві кріплення.

Кріплення першої групи, рис. 4.22 а, б, забезпечують простоту з'єму та установки колеса, але при перекачуванні великоуламкових матеріалів гайка, що кріпить, піддана безупинним ударам, що знижує надійність з'єднання. Зазвичай, таке кріплення використовується на насосах для чистої води, а на сучасних насосах для гідросумішей майже не застосовуються.

При відсутності крізного отвору в маточині кріплення захищене від абразивного зносу, рис. 4.22 в, г. Однак демонтаж та монтаж робочого колеса ускладнюються, оскільки колесо кріпиться на валі зі сторони нагнітання — притягується болтами до гайки чи кільця, що закріплене на валі.

Отвір у маточині робочого колеса для посадки на вал робиться циліндричним або конічним. Циліндрична посадка, рис. 4.22 б, г, при

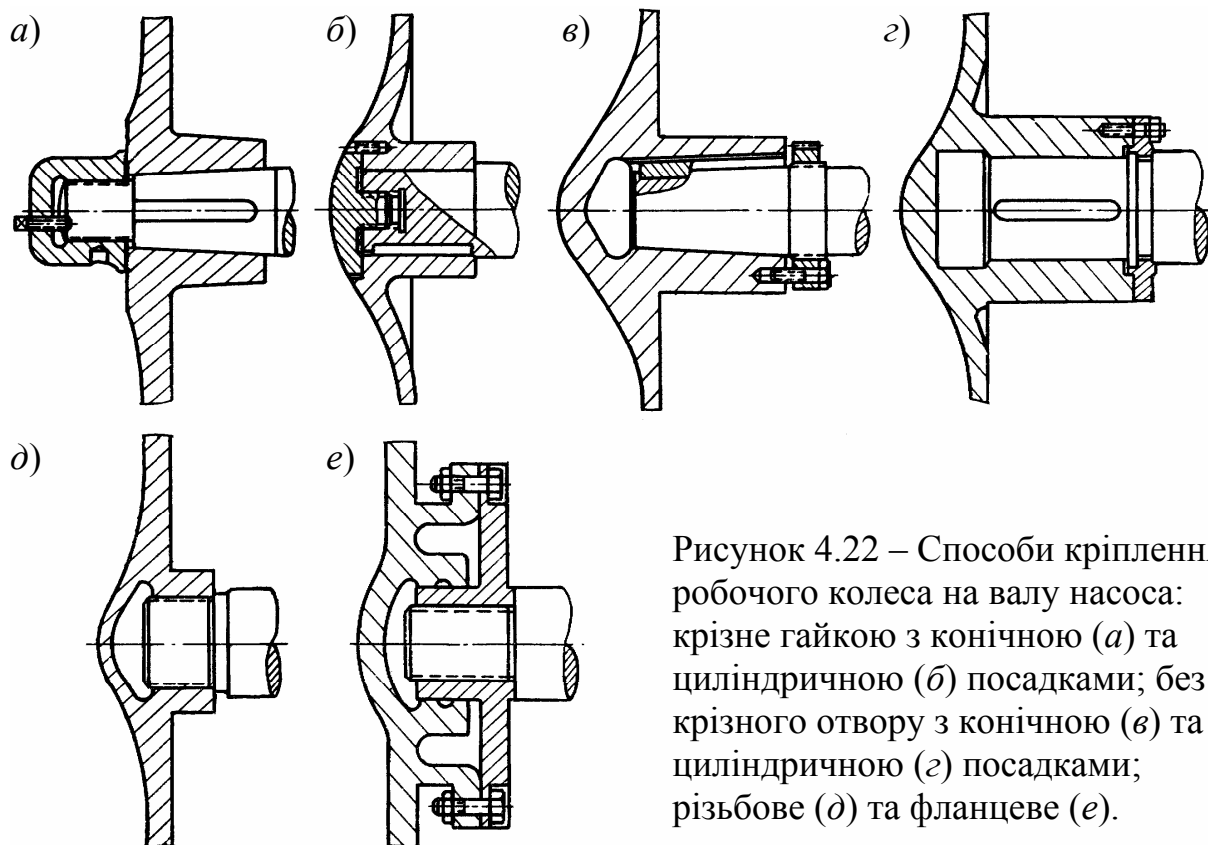


Рисунок 4.22 – Способи кріплення робочого колеса на валу насоса: крізне гайкою з конічною (а) та циліндричною (б) посадками; без крізного отвору з конічною (в) та циліндричною (г) посадками; різьбове (д) та фланцеве (е).

якісному виготовленні точно фіксує положення колеса. Недоліком циліндричної посадки є необхідність ретельної обробки з допусками ковзних посадок. Надягання колеса на вал і, особливо, зняття його при циліндричних посадках нерідко сполучені з великими труднощами.

Конічна посадка, рис. 4.22 а, в, не вимагає такої точності обробки, забезпечується простота надягання і зняття робочого колеса. Однак така посадка може давати биття колеса, а також не забезпечує точне положення робочого колеса в осьовому напрямку. Незважаючи на це, конічна посадка у насосах для гідросумішей поширена значно більше, ніж циліндрична. Момент, що крутить, передається за допомогою шпонок.

На рис. 4.22 д показаний гвинтовий спосіб кріплення робочого колеса, що усе частіше застосовується в сучасних ґрунтових насосах. Цей спосіб забезпечує найбільшу зручність при експлуатації. Для згвинчування робочого колеса достатньо застопорити колесо і запустити двигун у зворотному напрямку. Гвинтовий спосіб посадки робочих коліс на вал широко застосовується в США, Нідерландах, Фінляндії.

Фланцевий спосіб кріплення, рис. 4.22 е, застосовується в тих випадках, коли проточна частина колеса виготовляється з особливо твердого, важкооброблюваного сплаву. Колесо кріпиться гвинтами до

фланцю, який нагвинчується на вал, або виконаний з ним як одне ціле. Співвісність досягається циліндричним заточенням або контрольними шпильками.

Корпусом насоса називається деталь, яка охоплює робоче колесо. Внутрішня порожнина корпусу служить *відводом*. Корпус має патрубок, до якого підключається напірний трубопровід.

Відвід призначений для прийняття потоку рідини від робочого колеса та зменшення швидкості потоку до величини, що дорівнює швидкості потоку в напірному трубопроводі. При цьому частина швидкісного напору перетворюється у статичний з відповідним підвищенням тиску на виході з насоса.

Відвід може бути *кільцевим*, з однаковою площею перетину каналу, та *спіральним (равликовим)*, площа перетину якого збільшується у напрямку до напірного патрубка. Останній є більш досконалим у гідравлічному відношенні.

До корпусу насоса, який перекачує гідросуміш, висуваються такі *вимоги*: мінімальний гідравлічний опір, можливість проходу великих твердих часток, стійкість до абразивного зносу, зручність демонтажу та ремонту.

Прохідний перетин корпусу насоса для гідросуміші має бути не менше прохідного перетину робочого колеса, який у свою чергу вибирається за максимальним розміром твердих часток, для перекачування яких призначається насос. Ця вимога змушує при виборі форми равлика значно відступати від оптимальної в гідравлічному відношенні форми. У багатьох сучасних ґрунтових насосах равлик виконується у вигляді концентричного каналу, дуже близького до кільцевого, рис. 4.23.

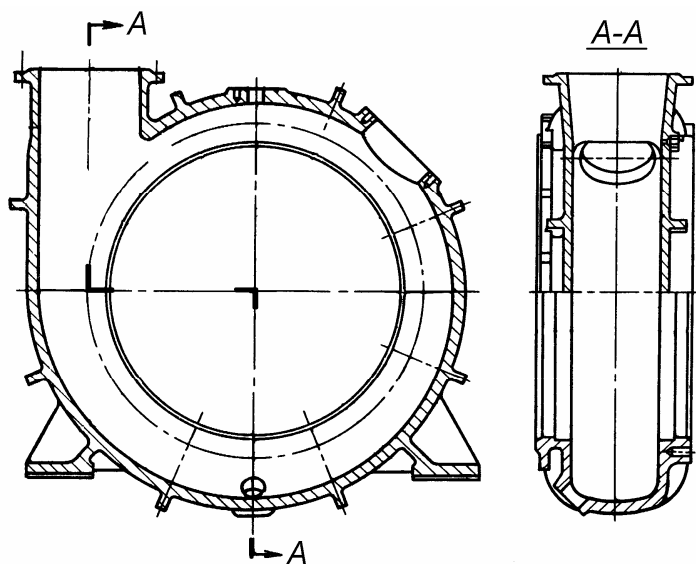


Рисунок 4.23 – Корпус насоса ЗГМ-1

Корпуси насосів для гідросумішей зазвичай виконуються литими. Для збільшення ресурсу корпусу у деяких насосах його виготовляють зі спеціальних зносостійких сплавів.

Для захисту корпусу від зносу застосовується *футерівка* змінними деталями, які виготовлені зі спеціальних зносостійких сталей. Це можуть бути *бронедиски* — плити, що захищають корпус від зношування пульпою, яка попадає у зазор між корпусом та переднім або заднім дисками робочого колеса, рис. 4.24. У важких ґрунтових насосах застосовується *внутрішній корпус (броневкладини)* зі зносостійкого сплаву, який захищає корпус насоса від зносу, рис. 4.25. Зношений внутрішній корпус можна замінити новим.

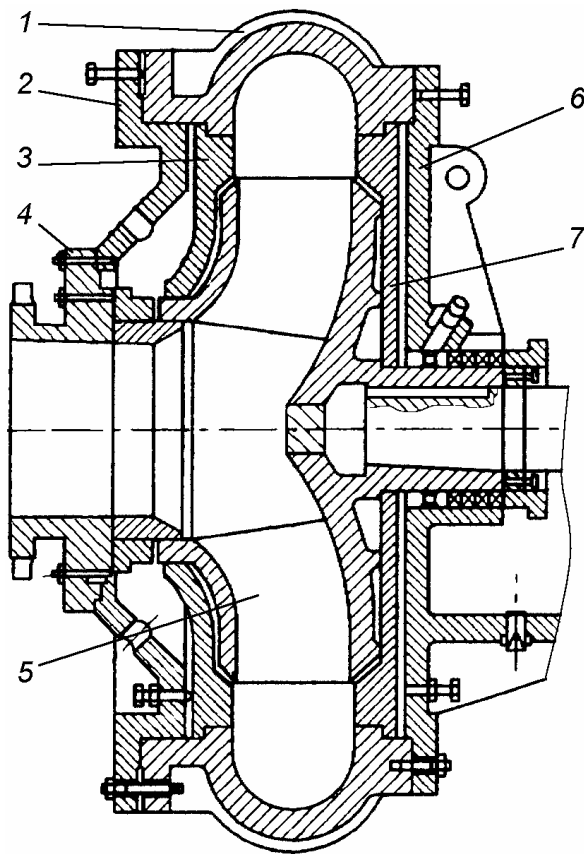


Рисунок 4.24 – Корпус ґрунтового насоса 16GrU-8: 1 – корпус; 2 – передня кришка; 3 – передній бронедиск; 4 – всмоктувальний патрубок; 5 – робоче колесо; 6 – задня кришка; 7 – задній бронедиск

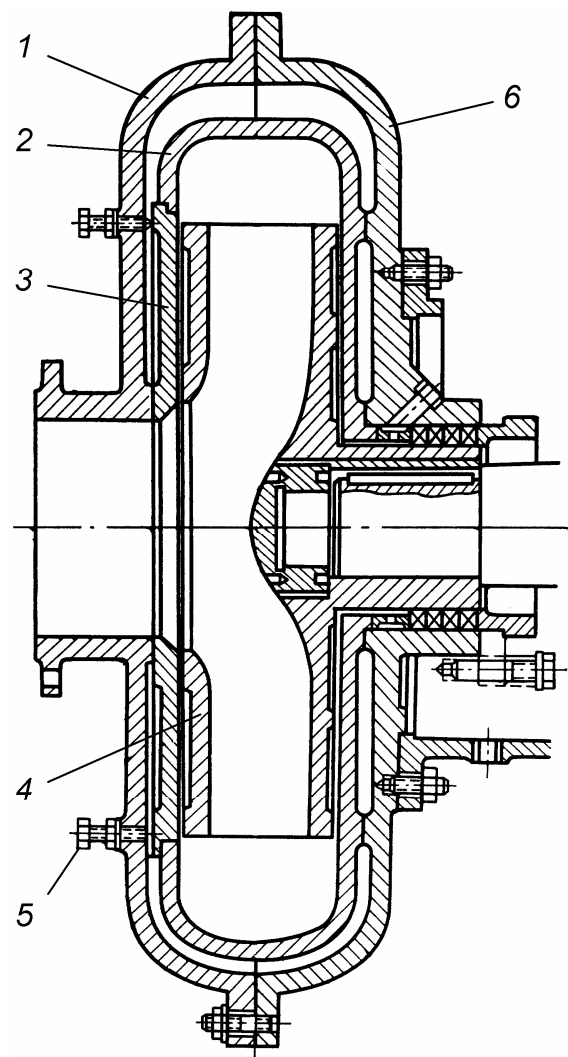


Рисунок 4.25 – Корпус ґрунтового насоса 12GrT-8: 1 – передня половина корпусу; 2 – внутрішній корпус; 3 – бронедиск; 4 – робоче колесо; 5 – притискний болт; 6 – задня половина корпусу

У конструкціях деяких вітчизняних та зарубіжних насосів для гідросумішей для захисту деталей проточної частини насосу використовуються спеціальні зносостійкі покриття. Найбільше поширення отримало *корундове* покриття, яке має надзвичайно високу стійкість до абразивного зносу. Корундовані насоси застосовуються при гідротранспортуванні дрібних абразивних матеріалів (піску, шлаку, золи), але при відсутності гравію і великоуламкових включень, тому що крихке корундове покриття при ударах сколюється.

Перспективним напрямком вдосконалення насосів для гідросумішей є також *футерівка гумовим покриттям* деталей проточної частини (робочого колеса, корпусу). Цей спосіб захисту від зносу широко використовується європейськими та американськими виробниками. Дослідження показали, що гідросуміш майже не зношує гумових деталей. Однак гумова футерівка може бути пошкоджена гострими уламками породи, тому її також доцільно використовувати при транспорті дрібних матеріалів.

Поширеним у вітчизняній та зарубіжній практиці є захист та відновлення деталей насосів для гідросумішей шляхом *електронаплавлення* їх зносостійкими сплавами.

Важкі умови експлуатації насосів для гідросумішей та малий ресурс швидкозношуваних деталей — робочого колеса, броне-вкладишей та броне-дисків, захисних та ущільнювальних кілець, — потребують забезпечення легкого доступу для їхньої заміни. На практиці одержали поширення наступні рішення *рознімання корпусу* для заміни зношених деталей.

У великих ґрунтових насосах корпус звичайно рознімається по площині, паралельній осі обертання робочого колеса: горизонтальній, рис. 4.26 а, або похилій, рис. 4.26 б. Це дає змогу зняти верхню половину корпусу за допомогою підйомного пристрою без демонтажу всмоктувального та напірного трубопроводів. Для більш зручного монтажу в конструкцію корпусу деяких голландських насосів введено шарнір, рис. 4.26 б, що значно спрощує збірку насоса після заміни внутрішнього корпусу.

Недоліком таких способів роз'єму корпусу є складність герметизації — слід одночасно забезпечувати ущільнення в горизонтальній площині, між половинами корпусу, і у вертикальній, між корпусом і кришкою або фланцем трубопроводу.

Рознімання в площині, перпендикулярній осі обертання робочого колеса, рис. 4.26 в, спрощує герметизацію, оскільки всі поверхні,

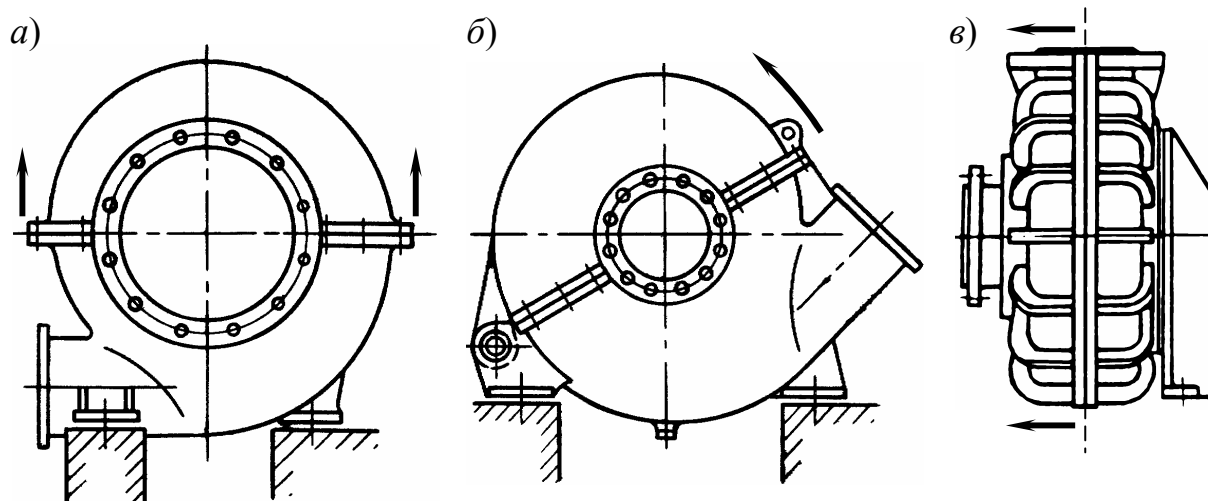


Рисунок 4.26 – Способи роз'єму ґрунтових насосів: по горизонтальній площині (а), по похилій площині з шарніром (б) та у площині, перпендикулярній до вісі обертання робочого колеса (в)

що ущільнюються, лежать в площинах, паралельних одна до одної. Спосіб застосовується в малих і середніх насосах і має два варіанти. Якщо насос не має внутрішнього корпусу, його корпус зношується і підлягає періодичній заміні. У такому випадку корпус виконується суцільним і кріпиться до передньої та задньої кришок, рис. 4.24. При наявності внутрішнього корпусу, корпус звичайно має рознімання по вертикальній площині симетрії, рис. 4.25.

Головний недолік роз'єму у площині, перпендикулярній осі обертання робочого колеса, — необхідність від'єднання всмоктувального і напірного трубопроводів. Голландською фірмою «I. X. K. Holland» випускаються невеликі ґрунтові насоси, у яких корпус з'єднується з задньою кришкою, всмоктувальним та нагнітальним патрубками швидкокороз'ємним з'єднанням, що значно спрощує розбирання та складання насосу, рис. 4.27.

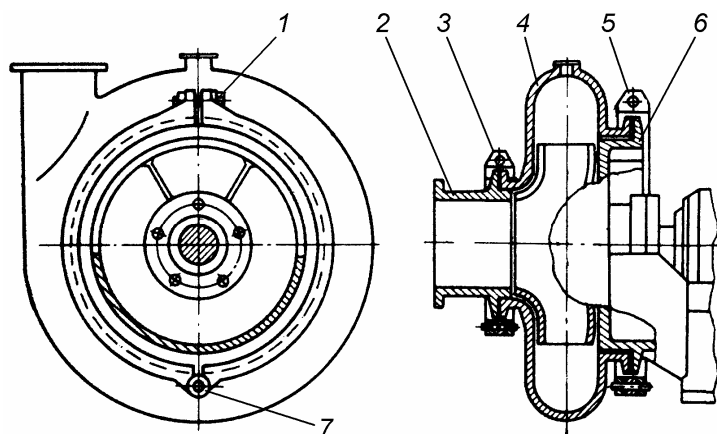


Рисунок 4.27 – Корпус ґрунтового насоса, що кріпиться за допомогою швидкокороз'ємних з'єднань: 1 – стяжний болт; 2 – всмоктувальний патрубок; 3, 5 – шарнірні кільця; 4 – корпус; 6 – задня кришка; 7 – шарнір

Ущільнення служать для зменшення витоків у місцях виходу вала з корпусу та внутрішніх витоків між усмоктувальною і нагнітальною сторонами робочого колеса.

Переднє ущільнення робочого колеса запобігає перетіканню рідини з порожнини нагнітання до порожнини всмоктування через зазор між переднім диском робочого колеса та корпусом. У переважній більшості насосів для гідросумішей використовується *щілинне* або *лабіринтне* ущільнення.

Переднє ущільнення виконується в такий спосіб. У корпусі 1 насоса встановлюється нерухоме ущільнювальне кільце 5, а на передньому диску робочого колеса 3 робиться проточка, що відповідає кільцю, рис. 4.28 а. Між ущільнювальним кільцем та проточкою утворюється кільцева щілина, у якій відбувається дроселювання тиску рідини, що протікає.

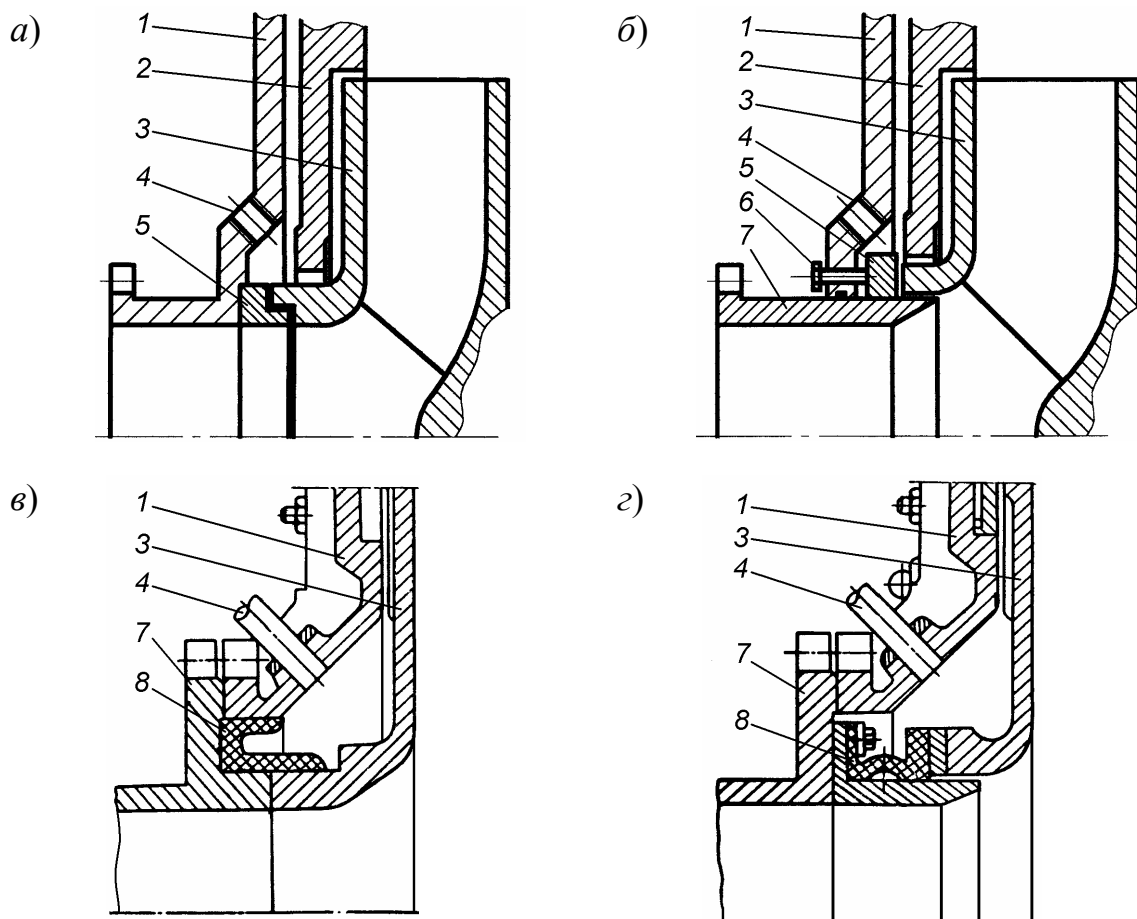


Рисунок 4.28 – Ущільнення робочого колеса нерегульованим (а) та регульованим (б) ущільнювальними кільцями; гумовою манжетою радіальне (в) та торцеве (г): 1 – передня кришка; 2 – бронедиск; 3 – робоче колесо; 4 – штуцер підводу чистої води; 5 – ущільнювальне кільце; 6 – регулювальні гвинти; 7 – всмоктувальний патрубок; 8 – гумова манжета

Ущільнювальне кільце є швидкозношуваною змінною деталлю. Для збільшення строку служби воно виготовляється зі зносостійких сплавів і, на деяких насосах, промивається чистою водою, яка подається через отвір 4.

Щоб запобігти зменшенню к. к. д. насоса через перетікання рідини з порожнини нагнітання до порожнини всмоктування, зазор між ущільнювальним кільцем та колесом має бути мінімальним. Регулювання зазору здійснюється або шляхом переміщення ротора насоса, рис. 4.28 а, або шляхом регулювання положення ущільнювального кільця за допомогою гвинтів б, рис. 4.28 б. Останній спосіб дещо ускладнює конструкцію насосу, але спрощує регулювання зазору й використовується переважно на великих ґрунтових насосах.

У деяких насосах ущільнювальне кільце відсутнє, а ущільнення здійснюється шляхом дроселювання зворотного потоку у радіальній щілині між переднім диском робочого колеса та переднім броне-диском, див. рис. 4.25. Це дещо зменшує ефективність ущільнення, але дозволяє спростити конструкцію та зменшити кількість змінних деталей.

Вочевидь, щілинне ущільнення не дає повної герметизації. Для досягнення максимального ущільнення деякі американські та європейські фірми застосовують *гумові самоущільнювальні прокладки* (манжети), що можуть бути радіальними, рис. 4.28 в, або торцевими, рис. 4.28 г.

Для ущільнення вала насоса в місцях виходу його з корпусу передбачаються *кінцеві ущільнення*, основним призначенням яких є запобігання витоків рідини, що перекачується, з насоса.

Сальникове ущільнення є найбільш простим з погляду конструктивного виконання й обслуговування, і тому найпоширенішим типом ущільнення в насосах для гідросумішей. Елементом, що ущільнює, є набивання 7, рис. 4.29, яке найчастіше роблять у виді шнурів квадратного перетину, виконаних із пеньки або льону та просочують консистентним змащенням або графітом. У сучасних зарубіжних насосах використовуються інші матеріали, наприклад, азбест, покритий тефлоном (фірма *Ahlström*, Фінляндія).

Кільця набивання встановлюються у порожнині корпусу 4 та підгортаються натискним кільцем, що виготовлено роз'ємним з двох половин б та 9, і притягується до корпусу шпильками 10. При цьому набивання притискається до вала або маточини робочого колеса, ущільнюючи його.

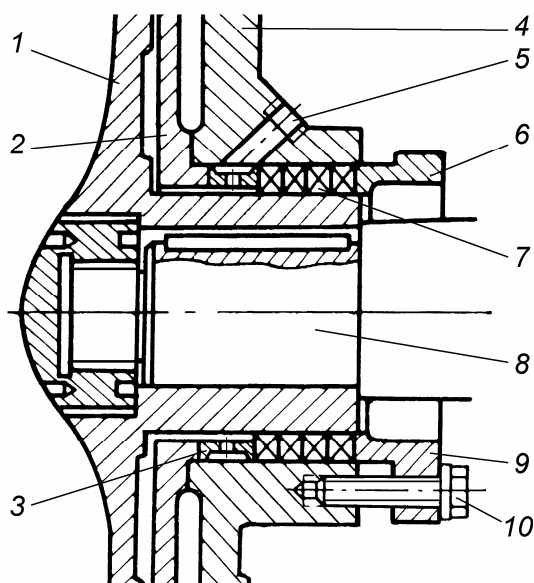


Рисунок 4.29 – Сальникове ущільнення:

1 – робоче колесо; 2 – бронедиск;
3 – водорозподільне кільце; 4 – задня кришка; 5 – отвір для подачі промивної води; 6, 9 – верхня та нижня половини натискного кільця; 7 – сальникове набивання; 8 – вал; 10 – шпилька

Для захисту сальника від влучання у нього твердих часток через отвір 5 та водорозподільне кільце 3 подається *чиста вода* у кількості, яка складає приблизно 1,5 ... 2 % від подачі пульпи, що перекачується, та під напором, що на 10 ... 15 м перевищує напір насосу. Вода утворює гідравлічний затвор та, рухаючись у напрямку від сальника до внутрішньої частини насоса, запобігає влученню твердих часток у зазор між робочим колесом і заднім бронедиском та забрудненню сальника.

За вимогою замовників ґрунтові насоси виготовляються з подачею чистої води близько 10 % від кількості пульпи, що перекачується, у простір між робочим колесом і бронею. Це зменшує знос колеса і броні, але вимагає додаткової подачі значної кількості чистої води. При двох і трьох ступінях перекачування пульпи такої води буде потрібно близько 20 ... 30 % від кількості пульпи, що перекачується. Тому, звичайно, ґрунтові насоси поставляються без подачі чистої води в простір між колесом і бронею.

При роботі насоса без подачі чистої води на ущільнення сальників протягом години, при зносі вала на незначну величину (менше міліметра) насос треба зупиняти для ремонту. Для запобігання зносу вала твердими частками він захищається спеціальною змінною захисною втулкою, або сальник розміщується безпосередньо на подовженій маточині робочого колеса. Головним недоліком сальникових ущільнень є малий термін служби, необхідність постійного догляду (підтяжка, перенабивання), непридатність для роботи при окружних швидкостях, що перевищують 30 м/с.

Окрім сальникових, у вітчизняному та зарубіжному насособудівництві застосовуються інші типи ущільнень. Найчастіше це

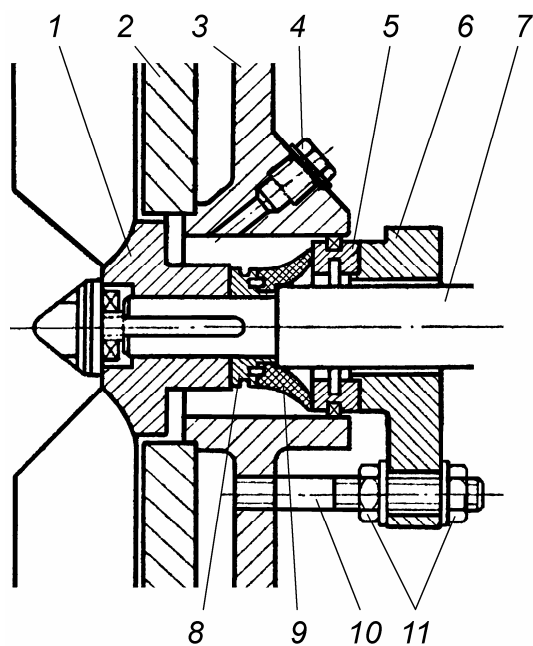


Рисунок 4.30 – Торцеве ущільнення:

1 – робоче колесо; 2 – бронедиск;
 3 – задня кришка; 4 – отвір для подачі промивної води; 5 – втулка; 6 – кришка;
 7 – вал; 8 – кільце; 9 – гумова манжета;
 10 – шпилька; 11 – гайки

ущільнення *гумовими кільцями та манжетами*. Наприклад, у шламовому насосі *ШН2-200* застосоване торцеве ущільнення, що складається з гумової манжети 9 та втулки 5, рис. 4.30. Манжета закріплена у кільці 8, що затиснуто на валу 7 та обертається разом з валом. Втулка закріплена на кришці 6 ущільнення і підтискує манжету при переміщенні кришки за допомогою шпильок 10 та гайок 11. Для захисту ущільнення від влучання твердих часток через отвір 4 подається чиста вода.

У порівнянні з сальниковими такі ущільнення мають наступні переваги: можуть нормально працювати навіть при підвищеній вібрації ротора; мають значно більшу довговічність; не вимагають постійного догляду; можуть застосовуватися для більш широких діапазонів тисків і окружних швидкостей.

Істотним недоліком цих ущільнень є складність заміни зношеної манжети, оскільки для цього потрібно розбирати корпус насоса та знімати з вала робоче колесо.

Тип і конструкція **підшипників** ґрунтових насосів вибираються відповідно до розрахункових навантажень і частоти обертання ґрунтових насосів. Можуть застосовуватися як *підшипники котіння*, так і *підшипники ковзання*, але у сучасних конструкціях насосів перевагу віддають підшипникам котіння, як більш надійним і таким, що потребують меншого догляду.

Вибір типу, розмірів та числа підшипників зумовлений важкими умовами їхньої роботи у порівнянні з насосами для чистої рідини. Наявність у гідросуміші, що перекачується, великих твердих часток

призводить до формування на роторі динамічного навантаження, ударів. Окрім того, більшість насосів для гідросумішей не мають спеціальних пристроїв для врівноваження *осьового зусилля*, яке повністю сприймається підшипниковими опорами.

У невеликих насосах для гідросумішей у якості передньої та задньої опор можуть застосовуватися два однакових радіально-упорних шарикопідшипника. У важких ґрунтових насосах зазвичай передньою опорою служить важкий радіальний або сферичний роликопідшипник, що сприймає тільки радіальне зусилля. Задня опора складається з такого ж роликопідшипника та п'яти, що складена з двох та більше упорних або радіально-упорних шарикопідшипників і сприймає тільки осьове навантаження. Можливі також інші варіанти, наприклад передня опора — радіальний роликопідшипник, а задня — два або три радіально-упорних шарикопідшипника.

При застосуванні у якості опор підшипників ковзання, які сприймають тільки радіальне навантаження, для сприйняття осьового зусилля робиться п'ята з упорних або радіально-упорних шарикопідшипників.

Підшипники розміщують у підшипникових стаканах, які, у свою чергу, закріплені у стійці. Зазвичай стійка робиться заодно зі станиною і є також картером для олії, що змащує підшипники. У деяких насосах, наприклад серії *ГрА*, передній та задній підшипники розміщені у одному стакані, який можна пересувати в станині у осьовому напрямку для регулювання зазору в ущільненні робочого колеса.

При конструюванні підшипників ґрунтових насосів слід звернути особливу увагу на захист їх від влучення пульпи, особливо в передній підшипник, що знаходиться в безпосередній близькості від сальникового ущільнення, яке при зносі починає пропускати пульпу. Добре зарекомендувало себе відбійне кільце, що закріплене на валу перед підшипником. Пульпа, що попадає на кільце, відкидається відцентровою силою.

Типове рішення групи вала насоса для гідросуміші показане на рис. 4.31. Вал 12 встановлений на двох підшипникових опорах. Передня складена з двох радіальних роликопідшипників 11, задня — з радіального роликопідшипника 14 та двох радіально-упорних шарикопідшипників 15, що сприймають осьове навантаження. Підшипники розміщені у стаканах 10 та 16, які закриті кришками 9 і 17 й встановлені у стійці 13. Порожни́на стійки є картером і заповнена олією для змащення підшипників. Для захисту переднього підшип-

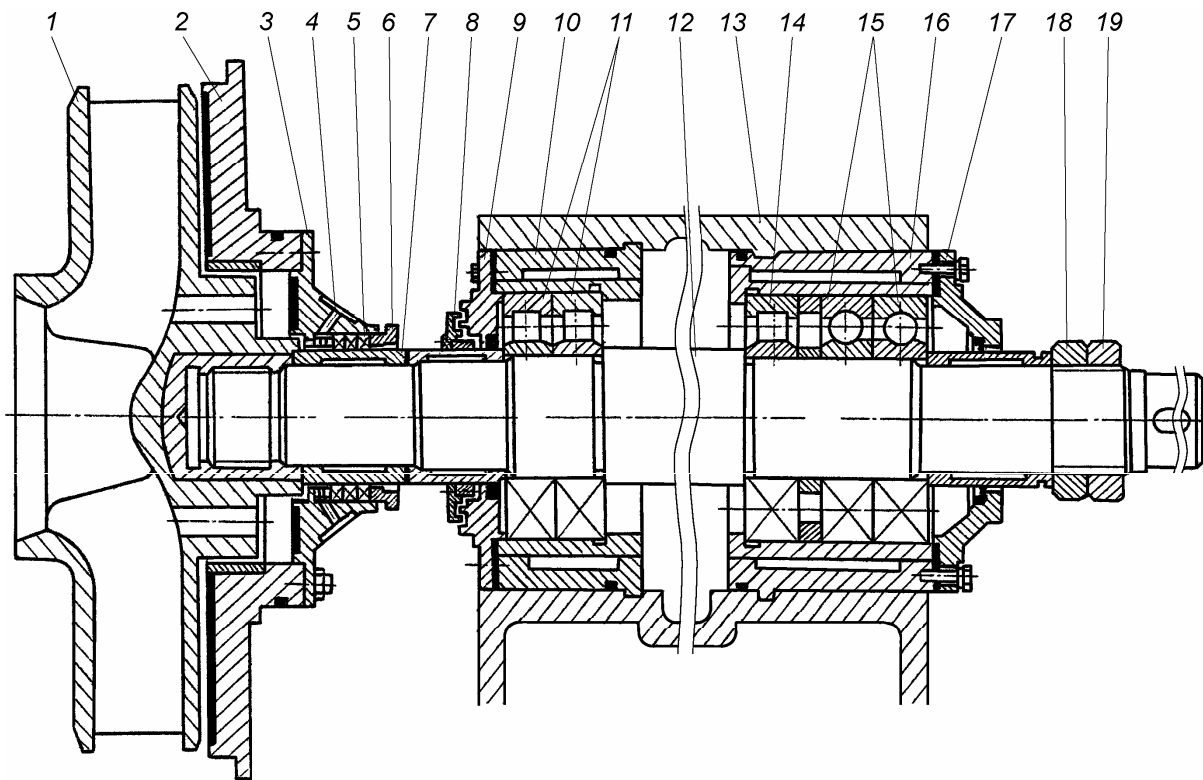


Рисунок 4.31 – Ротор вуглесоса У900-180: 1 – робоче колесо; 2 – бронециліндр; 3 – корпус сальника; 4 – отвір підведення чистої води; 5 – сальникове набивання; 6 – кришка сальника; 7 – втулка сальника; 8 – лабіринтне кільце; 9 – кришка переднього підшипника; 10 – стакан переднього підшипника; 11, 14 – радіальні роликопідшипники; 12 – вал; 13 – станина; 15 – радіально-упорний шарикопідшипник; 16 – стакан заднього підшипника; 17 – кришка заднього підшипника; 18 – гайка; 19 – контргайка

ника від влучання пульпи встановлено кільце 8, що разом з кришкою 9 утворює лабіринтне ущільнення.

У лопатевих машинах на робочому колесі формується **осьове зусилля**, що діє по осі ротора убік входу рідини в машину. У відцентрових насосах осьове зусилля настільки велике (до кількох тонн), що його врівноваження представляє складну задачу.

Фізична природа осьового зусилля може бути встановлена зі схеми розподілу тисків у проточній частині насосу й епюри тисків, які діють на диски робочого колеса, рис. 4.32 а. В усмоктувальній порожнині насоса — тиск p_v , що при позитивній висоті всмоктування є меншим за атмосферний. У порожнині нагнітання — значно більший тиск p_n . Порожнини всмоктування та нагнітання розділені переднім ущільненням колеса. Завдяки обертанню робочого колеса тиск у міжлопатевому каналі зростає від p_v до p_n . У зазорах між корпусом і переднім та заднім дисками робочого колеса тиск дещо зменшується за рахунок закручування рідини до значень відповідно p'_n та p''_n .

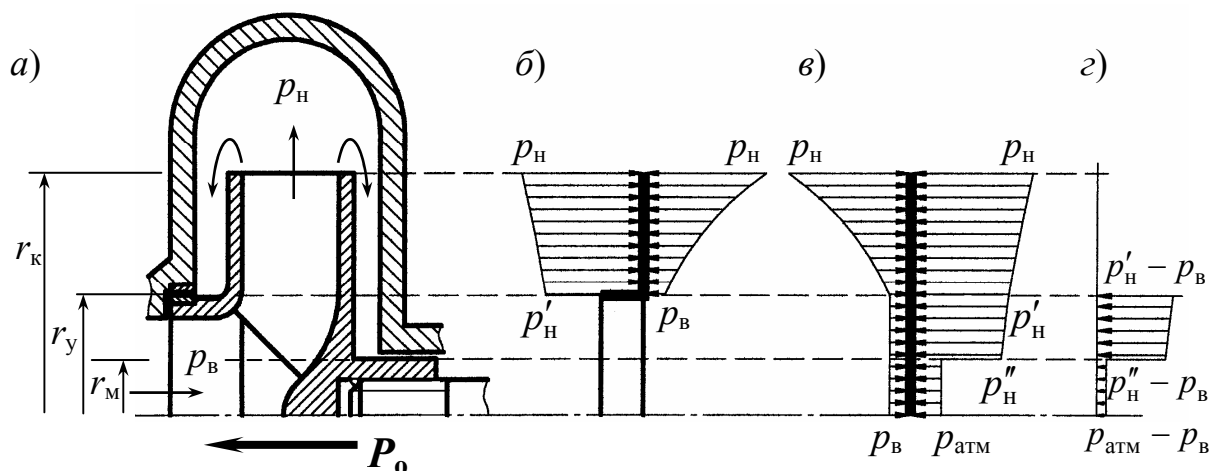


Рисунок 4.32 – Схема формування осьового зусилля: тиск у проточній частині насосу (а), епюри тиску на передньому (б) та задньому (в) дисках робочого колеса, та сумарна епюра тиску (г)

Якщо розглянути епюри тиску, що діє на передній, рис. 4.32 б, та задній, рис. 4.32 в, диски робочого колеса, видно, що в області від r_y (радіус ущільнювального кільця) до r_k (радіус колеса) тиски рівні (врівноважуються), а в межах від центра колеса до радіусу r_y тиск ліворуч, що дорівнює тиску у вході в робоче колесо, менше тиску праворуч, рис. 4.32 г. Найбільшою є різниця у межах від r_m (радіус маточини або сальникового ущільнення) до r_y , де на задній диск з одного боку діє тиск всмоктування, а з іншого — тиск нагнітання. Унаслідок цієї різниці тисків виникає осьове зусилля P_o яке прагне змістити колесо з вала у бік всмоктування.

Осьове зусилля може бути врівноважено різними способами: застосуванням робочих коліс двостороннього всмоктування, симетричним розташуванням робочих коліс, розвантажувальними отворами, імпелером, гідравлічною п'ятою або упорними підшипниками.

Робоче колесо двостороннього всмоктування має два покривні диски і два всмоктувальні отвори, що розташовані симетрично відносно корінного диску, рис. 4.33 а. Рідина підводиться до колеса з обох сторін, а на виході потоки об'єднуються. Завдяки цьому досягається майже повне осьове врівноваження. Насоси з робочими колесами такого типу є досить розповсюдженими при перекачуванні чистих рідин, але для транспортування гідросумішей не використовуються, оскільки наявність двох підводів та складна конфігурація корпусу значно ускладнює захист проточної частини від зносу.

У багатоступінчастих насосах з парною кількістю робочих коліс використовують їх симетричне розташування: половина коліс має всмоктувальний отвір з одного боку, половина — з іншого,

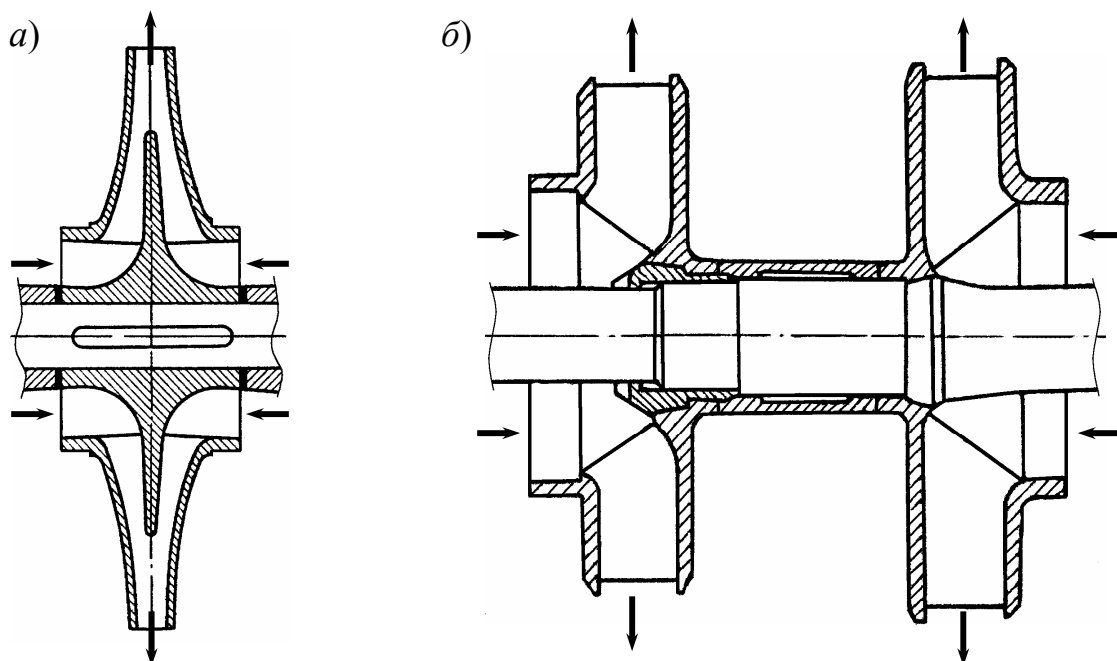


Рисунок 4.33 – Врівноваження осьового зусилля за допомогою використання робочого колеса двостороннього всмоктування (а) та шляхом симетричного розташування робочих коліс (б)

рис. 4.33 б. При цьому осьові сили на колесах мають приблизно одну величину та спрямовані у протилежні сторони, і тому врівноважуються. Більшість насосів для гідросумішей є одноступінчастими, і спосіб не набув великого поширення. За таким принципом побудований вітчизняний двоступінчастий високонапірний вуглесос *14УВ6* (див. нижче), а також деякі зарубіжні насоси, наприклад двоступінчастий пульповий насос *HSP 430* фірми “*Humboldt*”, Германия.

Досить просте врівноваження досягається виконанням кількох отворів 2, зазвичай від чотирьох до восьми, у задньому диску робочого колеса 1, рис. 4.34. Щоб запобігти витіканню рідини з порожнини нагнітання 8, встановлюється ущільнювальне кільце 9, що має діаметр, однаковий з ущільнювальним кільцем 7 на передньому диску. У відокремленій таким чином задній порожнині 3 завдяки отворам створюється тиск, що приблизно дорівнює тиску в порожнині всмоктування. Цим досягається майже повне осьове врівноваження. Крім того, значно знижується тиск на сальнику 5, що покращує умови його роботи та дозволяє промивати його через отвір 4 водою з меншим напором. Недоліками цього способу є збільшені внутрішні витоки рідини і деяке зниження к. к. д.

Ефективним способом зниження осьового зусилля є *імпелер* — невеликі радіальні лопатки на зовнішній стороні заднього диску робочого колеса, рис. 4.21. Лопатки закручують рідину у зазорі за ро-

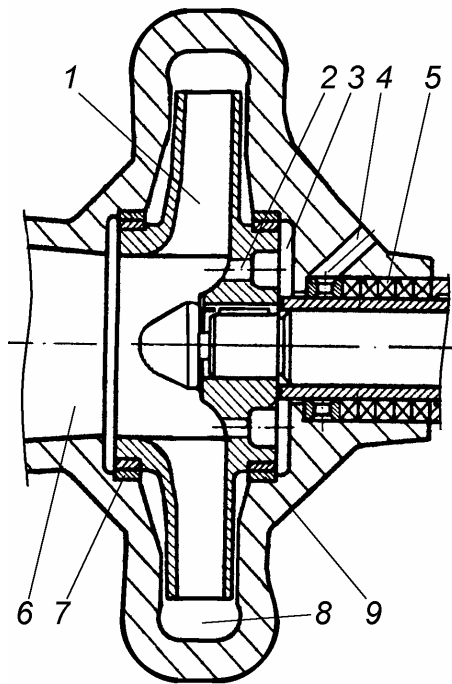


Рисунок 4.34 – Врівноваження осьового зусилля за допомогою розвантажувальних отворів у задньому диску робочого колеса: 1 – робоче колесо; 2 – розвантажувальні отвори; 3 – порожнина зниженого тиску; 4 – отвір для подачі чистої води; 5 – сальник; 6 – порожнина всмоктування; 7 – ущільнення переднього диска робочого колеса; 8 – порожнина нагнітання; 9 – ущільнення заднього диска робочого колеса

бочим колесом і тиск $p''_н$ у цій порожнині (див. рис. 4.32) значно зменшується завдяки відцентровій силі. Це призводить до зменшення осьової сили.

Повне врівноваження осьового зусилля досягається за допомогою *гідравлічної п'яти*, рис.4.35. Диск гідравлічної п'яти 4 насаджений на вал 5 і обертається разом з ним. Частина рідини під високим тиском з відводу робочого колеса 1 через канал 2 підводиться у порожнину 6 між нерухомим кільцем 3 та п'ятою 4. Тиск рідини на п'яту примушує ротор насоса зсуватися вправо (за схемою) і, таким чином, компенсує осьову силу.

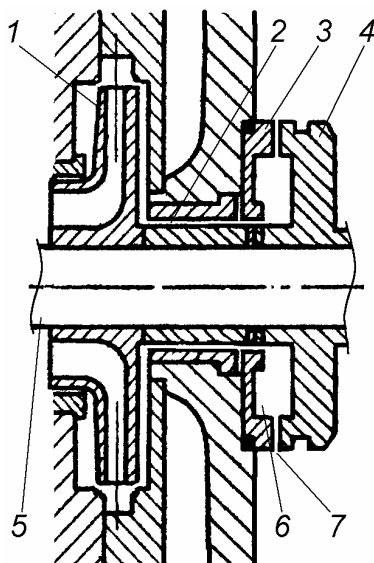


Рисунок 4.35 – Врівноваження осьового зусилля за допомогою гідравлічної п'яти: 1 – робоче колесо; 2 – канал підводу води до п'яти; 3 – нерухоме кільце; 4 – п'ята; 5 – вал; 6 – порожнина п'яти; 7 – щілина, що дроселює

Регулювання зусилля, що врівноважує, відбувається автоматично за рахунок дроселювання потоку рідини, що витікає з порожнини 6 через щілину 7. Збільшення осьового зусилля на роторі призводить до зсуву його вліво та зменшує прохідний перетин щілини 7. Її гідравлічний опір збільшується і тиск у порожнині 6 зростає, збільшуючи й зусилля, що врівноважує. При зменшенні осьової сили ротор зміщується вправо, дроселювання потоку, що витікає, зменшується і тиск під п'ятою та зусилля на ній знижуються. Таким чином, зусилля, що врівноважує, завжди дорівнює осьовому зусиллю.

Недоліками останнього способу є постійна втрата частини рідини (3...5 % від подачі насосу), яка витікає з гідроп'яти, а також швидкий знос кільця та гідроп'яти по зазору 7 при пуску та зупинці насосу, коли гідроп'ята не функціонує через малий тиск рідини, що до неї підводиться. Спосіб знайшов застосування у багатосекційних насосах високого тиску, а в насосах для гідросумішей не використовується.

Насосна установка для перекачування гідросуміші складається з насоса та електродвигуна, змонтованих на рамі. Існують три способи **компонування насосних установок**.

Більшість насосних установок вітчизняного виробництва мають подовжнє компонування: електродвигун розміщений на одній осі з насосом, рис. 4.36 а. Таке компонування забезпечує найпростіше та найнадійніше з'єднання вала ґрунтового насоса з валом двигуна — пружною пальцевою муфтою. Але є недоліки. Значні габарити установки ускладнюють встановлення її на землесосному снаряді, під землею або в інших стиснутих умовах. Крім того, пряма передача обертового моменту означає, що частота обертання робочого колеса дорівнює частоті обертання вала електродвигуна і не може бути зміненою.

Тому все більше поширення здобуває розміщення електродвигуна поряд або зверху насоса, рис. 4.36 б та в. Вали електродвигуна та насоса з'єднуються за допомогою клиноремінної передачі. При цьому зменшується довжина установки та з'являється можливість регулювати частоту обертання робочого колеса насоса шляхом підбору діаметрів шківів. Але слід врахувати значно меншу надійність клиноремінної передачі, особливо у важких умовах, у яких працюють ґрунтові насоси. Підвищена вологість, можливість влучання у передачу пульпи та твердих часток можуть призвести до виходу передачі з ладу.

Компонування насосної установки з розміщенням електродвигуна поряд з насосом, рис. 4.36 б, мають насоси серії *ГрА*, що випускаються Бобруйським машинобудівним заводом. Європейські виробники, наприклад фірма *Ahlström*, Фінляндія, для насосних установок малої та середньої потужності практикують розміщення електродвигуна над насосом на спеціальній рамі, рис. 4.36 в, яке значно зменшує габарити установки в плані.

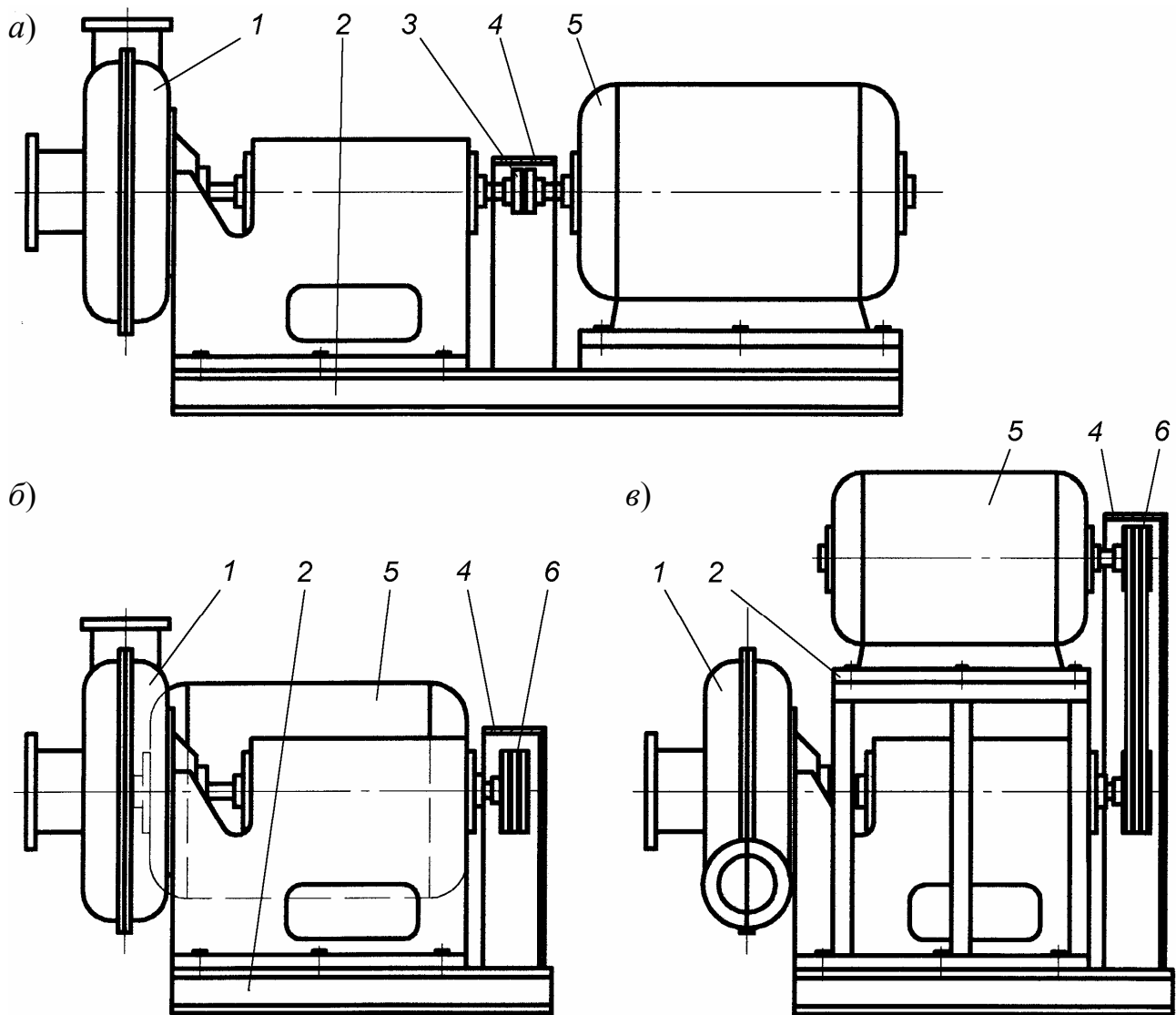


Рисунок 4.36 – Компонування насосної установки з розташуванням електродвигуна позад (а), поряд (б) та зверху (в) насоса: 1 – насос; 2 – станина; 3 – пружна пальцева муфта; 4 – захисний кожух; 5 – електродвигун; 6 – клиноремінна передача

4.3.3 Типи відцентрових насосів для гідросумішей

У залежності від роду гідросуміші, що перекачується, умов експлуатації і призначення, відцентрові насоси, призначені для гідротранспорту сипких матеріалів, називаються: *грунтовими, иламовими, бажерними, вуглесосами, пісковими, цементними* й ін.

Грунтові насоси призначені для гідротранспорту ґрунтів при гідротехнічному будівництві та днопоглибленні, корисних копалин та порід при гірничих роботах. Також ці насоси можуть використовуватися для гідротранспорту твердих матеріалів у інших галузях виробництва.

Зараз промисловістю випускається багато типів ґрунтових насосів. Найбільше поширення в практиці гідромеханізованих робіт знайшли насоси типу *Гр*, рідше — *Р*, *ЗГМ* і *ПБ*. У практиці днопоглиблювальних робіт на річкових земснарядах установлюють спеціальні ґрунтові насоси типу *МП*, що відрізняються великою продуктивністю і малим напором. Серед заглибних ґрунтових насосів розрізняють насоси типу *ПГМ* і *МБ*.

Прототипом сучасних ґрунтових насосів є насос *ЗГМ-1*, сконструйований у 1935 р. відомим конструктором насосів В. А. Морозом. Удосконаленою конструкцією ґрунтового насоса є *ЗГМ-1-350А*, а його модифікацією: *ЗГМ-2* і *ЗГМ-2М*, табл. 4.16.

ЗГМ-2М одержав найбільше поширення на вугільних і піщаних кар'єрах, рис. 4.37 а. Основними деталями ґрунтового насоса *ЗГМ-2М* є: корпус *13*, передня *12* і задня *14* кришки, передній *3* і задній *5* захисні бронедиски, робоче колесо *4*, трилопатеве, виконане зі сталі 55Л. Зазор між ущільнювальним кільцем *2* і робочим колесом *4* регулюється за допомогою шпильок *1*. Для зменшення зносу робочого колеса, ущільнювального кільця та бронедиска в порожнину за передньою кришкою через шість рівномірно розташованих по окружності штуцерів *11* подається віджимна вода.

Робоче колесо кріпиться на валі за допомогою навареної на вал гайки *7*. Сальникове ущільнення *6* складається з порожнини, у якій розміщаються водорозподільне кільце, бавовняне, просочене жиром змащенням набивання і притискне кільце (ґрундбукса) сальника. На сальник під тиском подається технічна вода. Задня кришка кріпиться на болтах до станини *15*. Радіальні сферичні роликопідшипники *8* і *10*, у яких обертається вал ґрунтового насоса, змонтовані в двох корпусах і затиснуті на валі гайками. Осьові навантаження сприймаються шариковим упорним підшипником *9*.

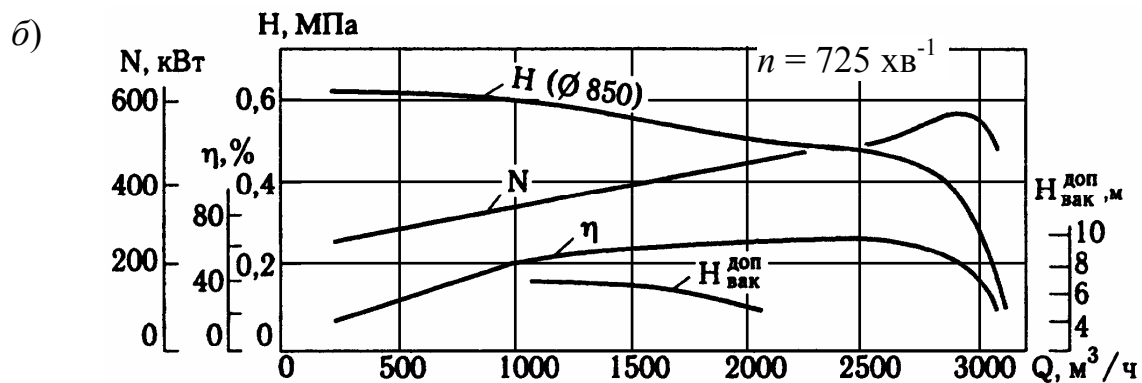
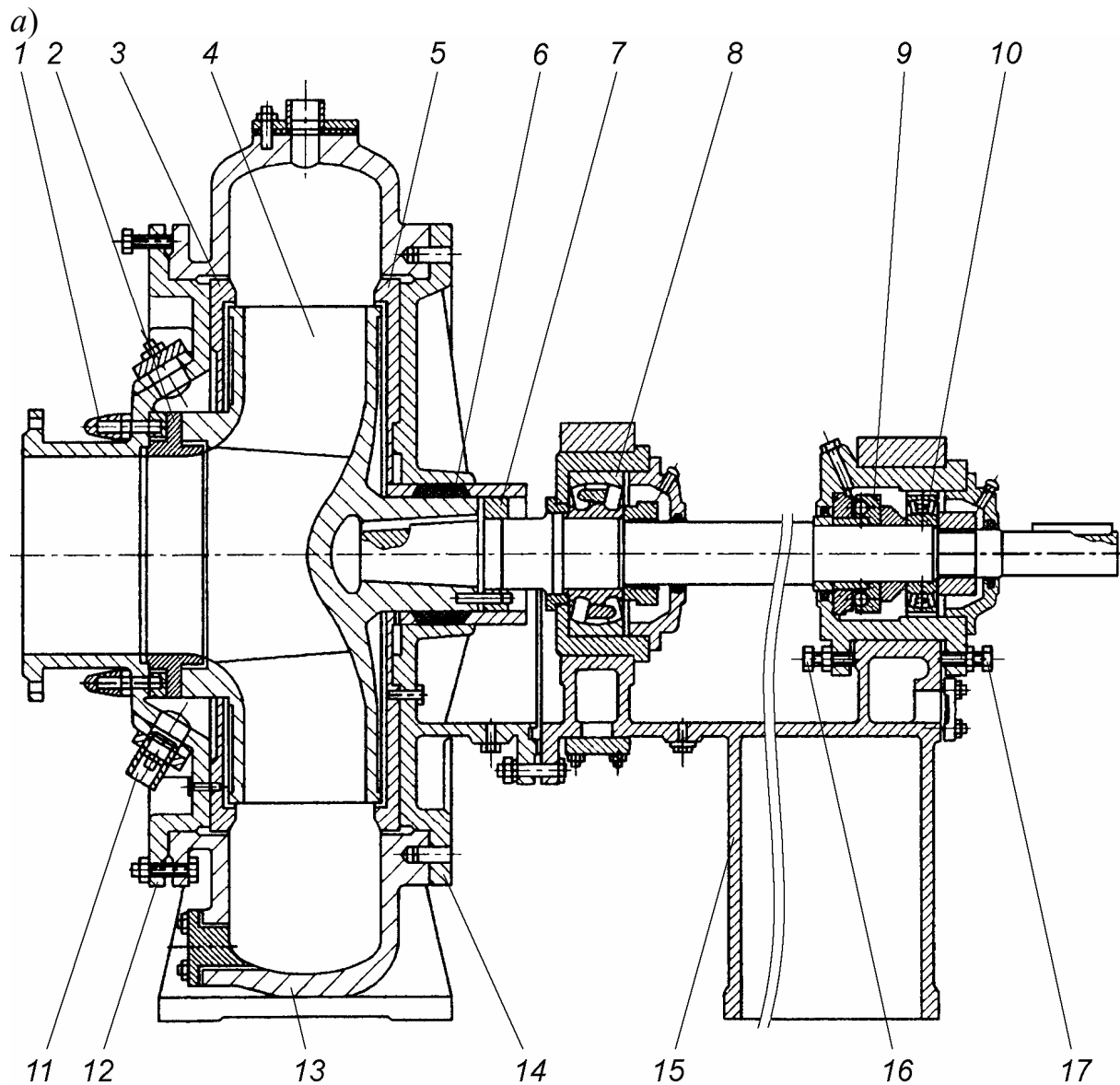


Рисунок 4.37 – Ґрунтовий насос 3ГМ-2М, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 – регулювальні шпильки; 2 – ущільнювальне кільце; 3 – передній бронедиск; 4 – робоче колесо; 5 – задній бронедиск; 6 – сальник; 7 – гайка; 8 – передній підшипник; 9 – упорний підшипник; 10 – задній підшипник; 11 – штуцер подачі віджимної води; 12 – передня кришка; 13 – корпус; 14 – задня кришка; 15 – станина; 16 і 17 – регулювальні гвинти

Таблиця 4.16 – Технічні характеристики ґрунтових насосів ЗГМ

Найменування показників	Марка ґрунтового насоса					
	ЗГМ-1М		ЗГМ-2	ЗГМ-2М	ЗГМ-1-350А	
Діаметр робочого колеса, мм	630	700	850	850	856	856 910
Частота обертання, хв ⁻¹	725		580	725	580	725 580
Тиск насоса, МПа	0,285	0,37	0,43	0,53	0,38	0,61 0,43
Витрата по воді, м ³ /год	1250	1500	1400	1900	1800	1900 1900
Припустима висота усмоктування, м	6		5	5,7	5,5	4,5 5,5
Максимальний к.к.д., %	63	66	74	65	69	69 70
Число лопат	3		3	3	3	
Найменший прохідний перетин, мм	200		180	190	210	
Коефіцієнт швидкохідності	130	110	100	100	100	90 90
Маса насоса, т	3,82		3,4	3,4	4,01	
Діаметр патрубків, мм:						
усмоктувального	300		300	350	350	
напірного	300		300	300	350	
Потужність двигуна, кВт	250	320	310	630	500	630 500

Корпуси підшипників встановлені в постелях станини 15. Корпус заднього підшипника має припливи, у які укручені чотири болти 16 та 17 з контргайками, за допомогою яких коробка разом із ротором насоса може рухатися вперед чи назад. Завдяки цьому здійснюється регулювання зазору між бронедиском і робочим колесом.

Змащення підшипників консистентне, здійснюється через прес-масельничку. Для охолодження підшипників у порожнини в станині 15 під підшипниковими опорами подається вода.

Загальна витрата води на віджим і охолодження близько 150 м³/год. Ґрунтовий насос з'єднується з електродвигуном за допомогою зубцевої муфти.

Найбільш стійка й ефективна експлуатація насоса відбувається при подачі 1900...2000 м³/год і тиску 0,59...0,45 МПа, рис. 4.37 б. Експлуатація при малих опорах системи і високих подачах (до 2500...2700 м³/год) може вестися тільки при від'ємній висоті всмоктування через те, що цей тип ґрунтового насоса схильний до кавітації.

У 1965 р. був уведений державний стандарт, у якому уніфікувалися ґрунтові насоси для гідротранспортування абразивних ґрунтів з подачею від 7 до 10 000 м³/год і тиском 0,08...0,8 МПа.

По конструктивних ознаках **ґрунтові насоси типу Гр** розділяються: зі збільшеним розміром прохідного перетину на 25 % у порівнянні з номіналом (*У*); зі зменшеним прохідним перетином (*О*); з деталями зі зносостійкого металу або гуми (*Р*); корундовані проти абразивного зносу (*К*); одно- (*Л*) і двокорпусні (*Т*). Наприклад, марка *ГрУТ* означає: ґрунтовий насос двокорпусний, зі збільшеним прохідним перетином. У двокорпусних насосах внутрішній корпус (броневкладиш) виготовляють змінним зі зносостійкого металу.

Відповідно до ДСТ 1965 р. умовні позначення насосів були наступними: *8ГрЛ-8*, *16ГрУЛ-8*, *12ГрК-12*, *20ГрТ-8* і т.д. Цифри перед маркою позначали діаметр усмоктувального патрубку в дюймах, після марки — коефіцієнт швидкості, зменшений у 10 разів.

Надалі маркірування ґрунтових насосів *Гр* було змінено. Після літерних позначень, які залишилися незмінними, вказуються *номінальні подача насоса* (м³/год) та *напір* (м) *при роботі на воді*. Так, наприклад, ґрунтовий насос *ГрУ 1600/25* — насос з подачею 1600 м³/год і напором 25 м. Індекс «*Л*» у новому позначенні не вказується. При відсутності індексу «*Т*» мається на увазі, що ґрунтовий насос має однокорпусне виконання.

Насоси типу *Гр* призначені для перекачування гравійних, піщано-гравійних, шлакових, золошлакових та інших абразивних гідросумішей з показником рН = 6...8, щільністю до 1300 кг/м³, температурою до 70°C. Насоси серії *Гр* мають чотирилопатеві робочі колеса, а *ГрУ* — трилопатеві. Характеристики марок ґрунтових насосів типу *Гр* приведені в таблиці 4.17 та у додатку Е, а їхні робочі поля на графіку, рис. 4.38.

ГрУ 2000/63. Корпус 5 і робоче трилопатеве колесо 6 виготовляються литими зі сталі 55Л-І, напірна 3 і усмоктувальна 8 кришки — сталеві, рис. 4.39 а. Для запобігання їх від зносу є бронедиски — передній 4 і задній 7, виготовлені зі спеціального зносостійкого сплаву *ІЧХ28НГ*. Усмоктувальний патрубок 1 насоса виконаний знімним та має оглядовий люк 2. Зазор між ущільнювальним кільцем 15 і робочим колесом 6 регулюється за допомогою шпильок. Для зменшення зносу робочих органів у порожнину між робочим колесом і бронедиском через отвори 16 у передній кришці подається вода під тиском.

Таблиця 4.17 – Технічні характеристики ґрунтових насосів типу *Гр*

Марка насоса	Найменування показників						
	Номи-нальна подача м ³ /год.	Номи-нальний тиск, МПа	Потужність приводу насоса, кВт	Частота обертання колеса, об/хв.	Діаметр робочого колеса, мм	Припус-тимо роз-рідження, кПа	Маса насоса, кг
<i>ГрТ</i> — двокорпусні							
<i>ГрТ 50/16</i>	50	0,16	11	1450	225	85	176
<i>ГрТ 100/40</i>	100	0,40	40	1450	365	68	378
<i>ГрТ 160/31,5</i>	160	0,315	40	1450	325	78	434
<i>ГрТ 160/71</i>	160	0,71	75	1450	434	54	815
<i>ГрТ 400/40</i>	400	0,40	132	980	515	75	1050
<i>ГрТ 800/71</i>	800	0,71	400	980	730	25	4545
<i>ГрТ 1250/71</i>	1250	0,71	630	980	720	45	5020
<i>ГрТ 1600/50</i>	1600	0,50	500	725	840	70	3570
<i>ГрТ 4000/71</i>	4000	0,71	1600	485	1390	55	14615
<i>ГрТ 8000/71</i>	9000	0,71	3150	365	1790	50	30000
<i>ГрУ</i> — зі збільшеним прохідним перетином							
<i>ГрУ 400/20</i>	400	0,20	55	980	405	45	674
<i>ГрУ 800/40</i>	800	0,40	200	725	700	60	1955
<i>ГрУ 1600/25</i>	1600	0,25	250	725	650	70	2040
<i>ГрУ 2000/63</i>	2000	0,63	630	580	1050	70	6885
<i>ГрУТ</i> — двокорпусні зі збільшеним прохідним перетином							
<i>ГрУТ 2000/63</i>	1850	0,47	330	580	920	72	8850
—	2000	0,55	500	580	980	—	—
—	2200	0,63	620	580	1030	—	—
<i>ГрУТ 4000/71</i>	3650	0,49	750	485	1200	65	15430
—	3950	0,54	900	485	1260	—	—
—	4500	0,66	1270	485	1360	—	—
<i>ГрК</i> — корундовані							
<i>ГрК 50/16</i>	50	0,16	11	1450	225	85	181
<i>ГрК 160/16</i>	160	0,16	22	1450	254	68	296
<i>ГрК 160/31,5</i>	160	0,31	40	1450	325	78	404
<i>ГрК 400/40</i>	400	0,40	132	980	515	75	965
<i>ГрК 1600/50</i>	1600	0,50	500	835	840	60	3250

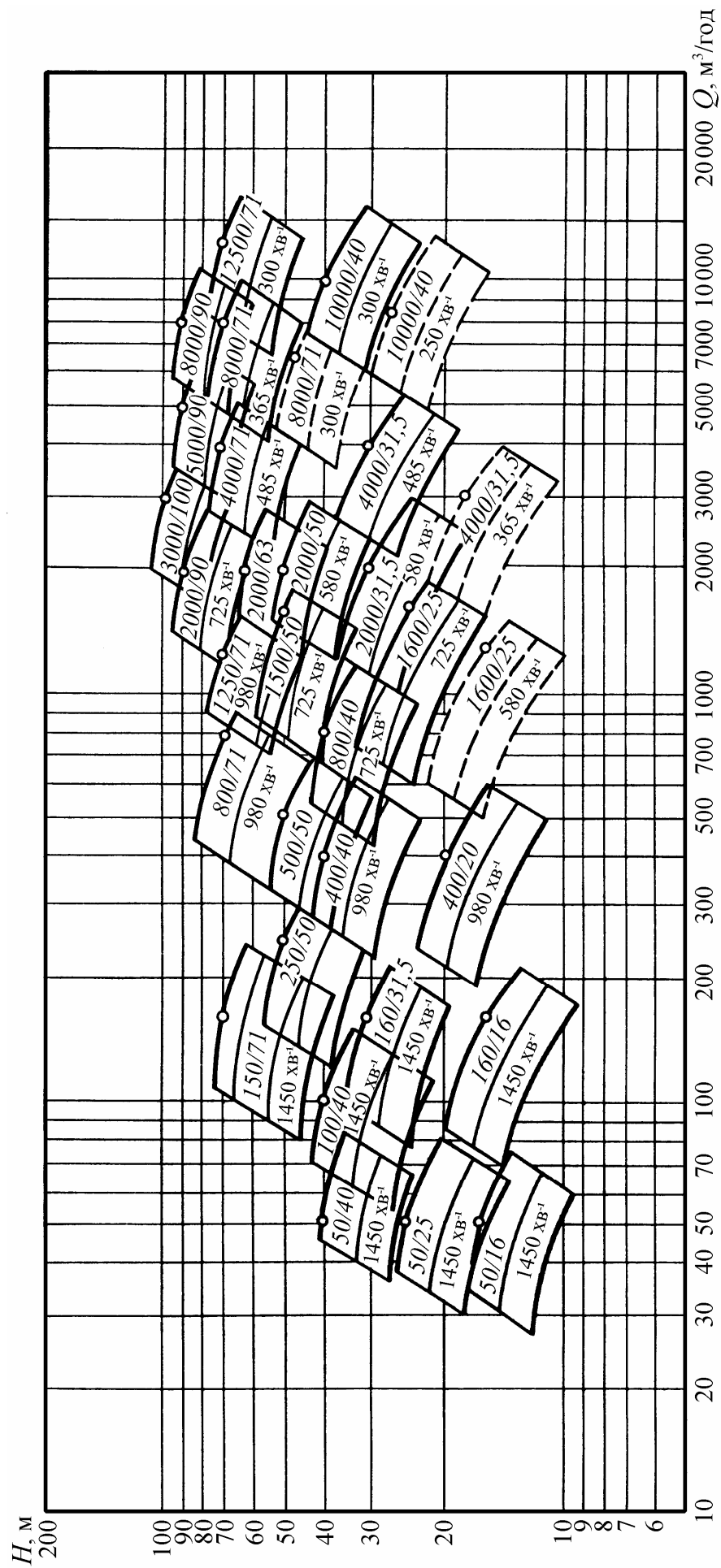


Рисунок 4.38 – Робочі поля ґрунтових насосів типу Gr

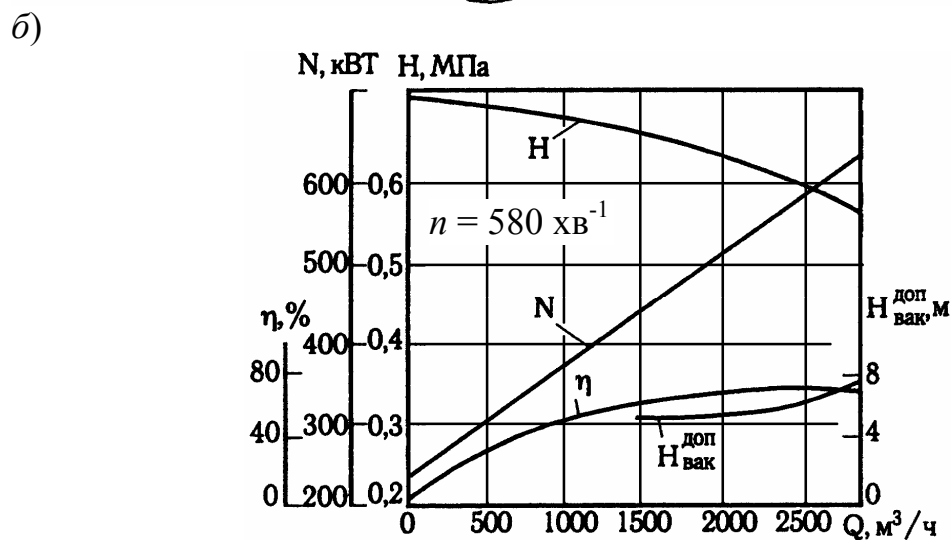
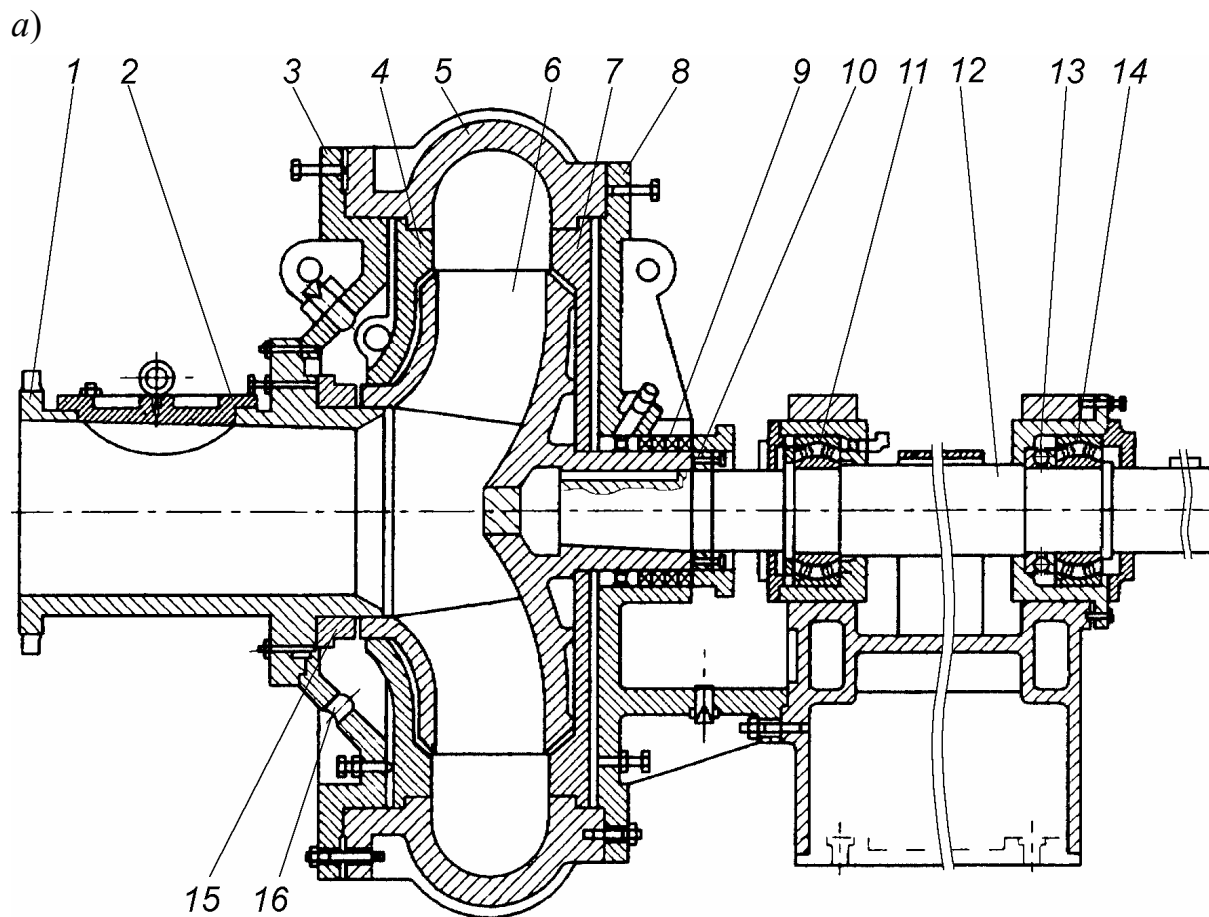


Рисунок 4.39 – Ґрунтовий насос $ГрУ\ 2000/63$, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 – усмоктувальний патрубок; 2 – оглядовий люк; 3 – передня кришка; 4 – передній бронедиск; 5 – корпус; 6 – робоче колесо; 7 – задній бронедиск; 8 – задня кришка; 9 – сальник; 10 – упорне кільце; 11 – передній сферичний підшипник; 12 – вал; 13 – упорний підшипник; 14 – задній сферичний підшипник; 15 – ущілювальне кільце; 16 – штуцер подачі віджимної води

Сальник 9 насоса складається з притискного кільця, сальникового набивання і водорозподільного кільця. Для ущільнення в корпус сальника подається чиста вода під тиском. Робоче колесо кріпиться на валу 12 упорним кільцем 10. Вал насоса спирається на два радіально-сферичних роликopідшипники 11 і 14, та один упорний шарикopідшипник 13. Змащення підшипників робиться солідолом через прес-масельнички. Для охолодження підшипників у процесі роботи в порожнину консольної опори подається вода. Витрата води на віджим і охолодження складає близько $200 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску близько 0,7 МПа.

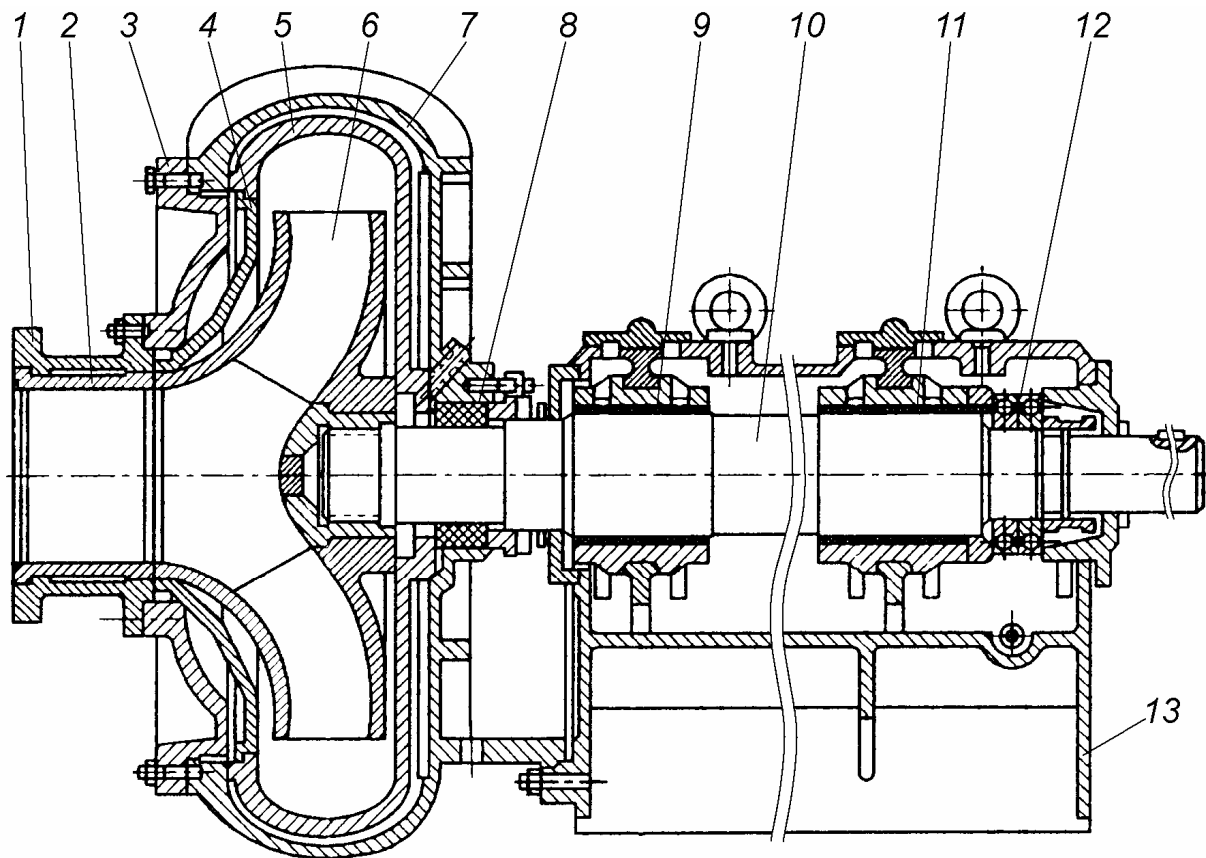
На рис. 4.39 б представлена робоча характеристика насоса по воді при частоті обертання робочого колеса 580 хв^{-1} і його діаметрі 1050 мм. Продуктивність насоса складає 1600...2050 $\text{м}^3/\text{год}$, а тиск 0,56...0,63 МПа.

ГрТ 4000/71. Насос виробляється у «важкому» двокорпусному виконанні з закритим чотирилопатеvim колесом. Зовнішній корпус 7 складається з двох половин — нижньої і верхньої, рис. 4.40 а. Задня кришка відсутня, тому що її роль виконує напірна частина зовнішнього корпусу.

Внутрішній корпус 5, передній захисний броне диск 4, захисна втулка 2 усмоктувального патрубку 1 і робоче колесо 6 виготовлені зі спеціального зносостійкого сплаву. Усмоктувальний патрубок 1 приєднаний до передньої кришки 3, до якої він кріпиться шпильками. Робоче колесо 6 кріпиться на валу 10 на різьбленні. Сальникове ущільнення 8 колеса складається з водорозподільного кільця, сальникового набивання і притискного кільця. У порожнину сальника подається вода. Опорною частиною насоса є станина 13, до якої на шпильках кріпиться зовнішній корпус. Вал насоса спирається на два підшипники ковзання 9 і 11, осьові зусилля сприймаються одним здвоєним радіально-упорним шарикopідшипником 12. Змащення підшипників рідким мастилом. Для їхнього охолодження в герметичну порожнину станини подається вода. Загальна витрата води на віджим і охолодження $100 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску 0,8 МПа.

На рис. 4.40 б представлена робоча характеристика насоса **ГрТ 4000/71** при роботі на воді при частоті обертання робочого колеса 500 хв^{-1} і діаметрах робочого колеса 1390 і 1250 мм. Подача насоса при діаметрі робочого колеса 1390 мм складає 2800...5100 $\text{м}^3/\text{год}$ при тиску 0,65...0,73 МПа.

а)



б)

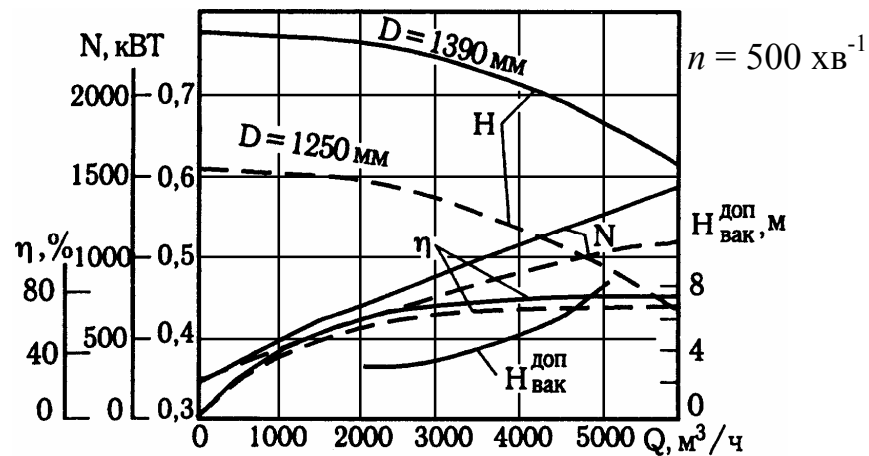


Рисунок 4.40 – Грунтовий насос ГрТ 4000/71, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 – усмоктувальний патрубок; 2 – захисна втулка; 3 – передня кришка; 4 – передній бронедиск; 5 – внутрішній корпус; 6 – робоче колесо; 7 – зовнішній корпус; 8 – сальник; 9 – передній підшипник; 10 – вал; 11 – задній підшипник; 12 – здвоєний радіально-упорний шарикопідшипник; 13 – станина

ГрК 1600/50. Корпус насоса має вертикальне рознімання, передня 1 і задня 4 половини корпуса з'єднані болтами, передня і задня кришки відсутні, рис. 4.41 а. Також відсутні захисні диски (бронедиски) і внутрішній корпус (броневкладиш). Їх заміняє корундова футерівка 2, якою покриті обидві частини корпуса й усмоктувальний патрубок. Робоче колесо 3 виготовлене зі спеціального сплаву, воно кріпиться на валу 8 гайкою і контргайкою. Зазор між робочим колесом і передньою внутрішньою частиною корпуса регулюється переміщенням вала за допомогою регулювальних болтів. Напірний патрубок спрямований вертикально нагору.

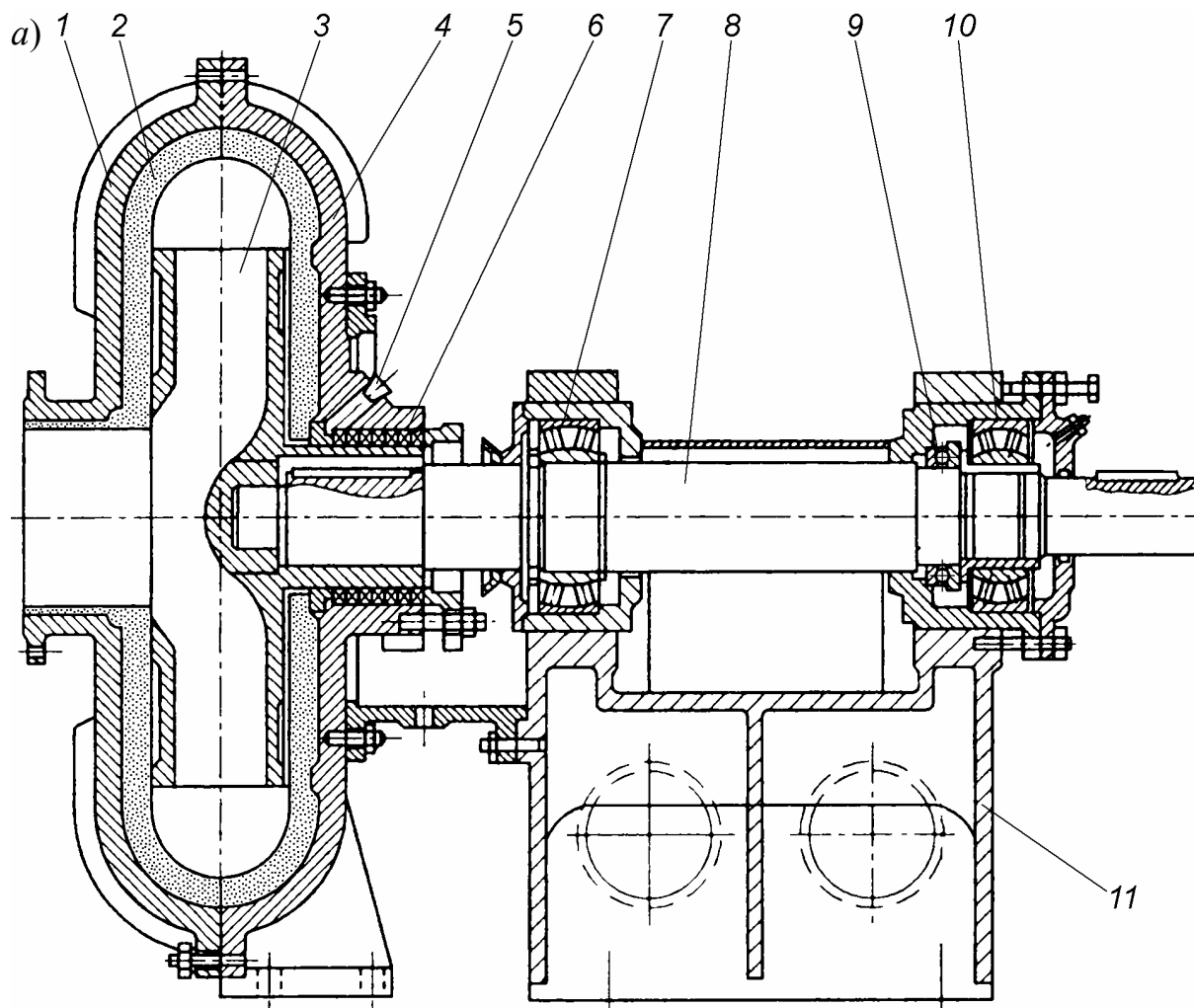
Сальникове ущільнення 6 розташоване в порожнині корпуса 4 і складається з водорозподільного кільця, сальникового набивання і притискного кільця, складеного з двох половин. Через канал 5 у корпус сальника подається чиста вода під тиском 0,7 МПа з витратою $25 \text{ м}^3/\text{год}$. Опорною частиною насоса є консоль станини 11, до якої на шпильках кріпиться корпус. Вал обертається в опорах, розташованих у станині. Одна опора складається зі сферичного радіального роликопідшипника 7, інша — з роликопідшипника 10 і упорного шарикопідшипника 9. Змащення підшипників консистентне, здійснюється через прес-масельничку.

Насос *ГрК 1600/50*, як і всі корундовані насоси, може застосовуватися при гідротранспортуванні дрібних абразивних матеріалів (піску, шлаку, золи), але *при відсутності гравію і великоуламкових включень*, тому що крихке корундове покриття при ударах може сколюватися.

На рис. 4.41 б представлена робоча характеристика насоса при роботі на воді при частоті обертання 725 хв^{-1} . Подача насоса складає $800 \dots 1800 \text{ м}^3/\text{год}$, а тиск $0,49 \dots 0,57 \text{ МПа}$.

Бобруйським машинобудівним заводом паралельно серії насосів *Гр* налагоджений випуск ґрунтових корундованих (*К*) і важких (*Т*) **насосів серії ГрА**, призначених для перекачування більш пластичних гідросумішей щільністю 1600, 2200 і 3200 кг/м^3 , що є актуальним при гідротранспортуванні шламів на гірничо-збагачувальних комбінатах, табл. 4.18.

ГрА — серія насосних установок, які складаються з відцентрового горизонтального консольного одноступінчастого насоса і електродвигуна, розташованого поряд або над насосом і з'єднаного з ним за допомогою клиноремінної передачі або муфти.



б)

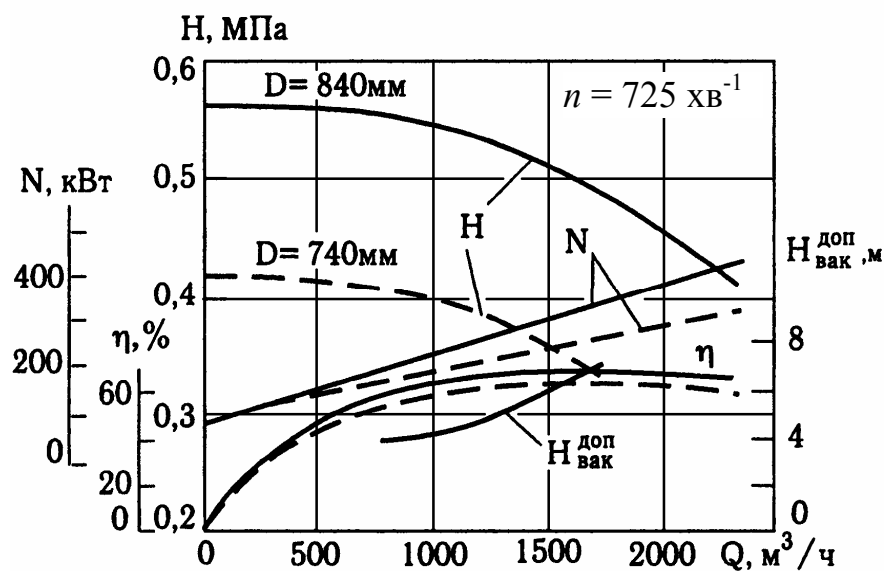
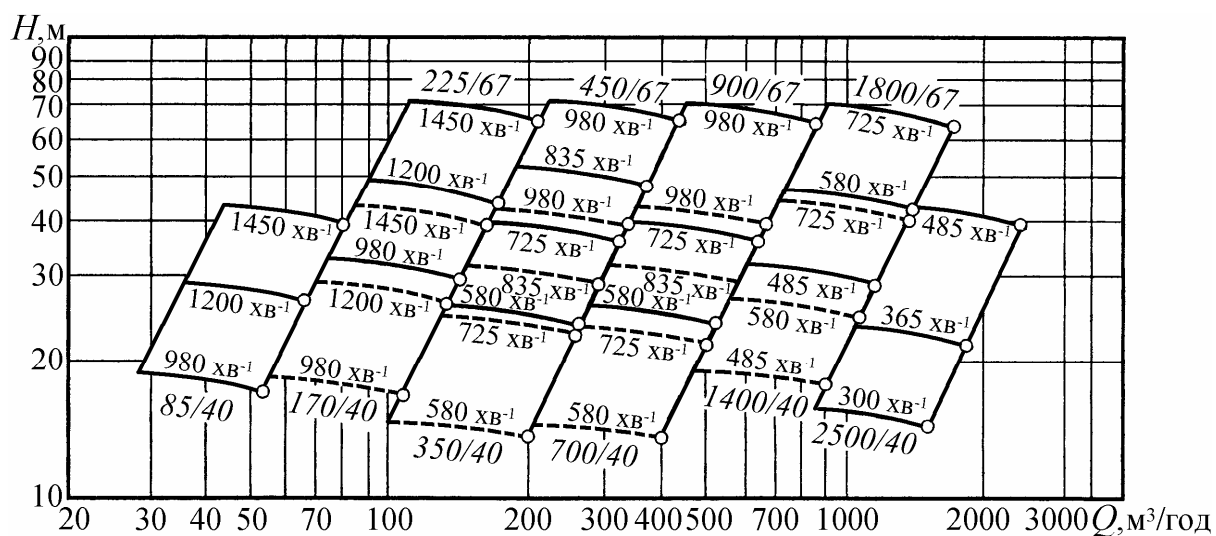
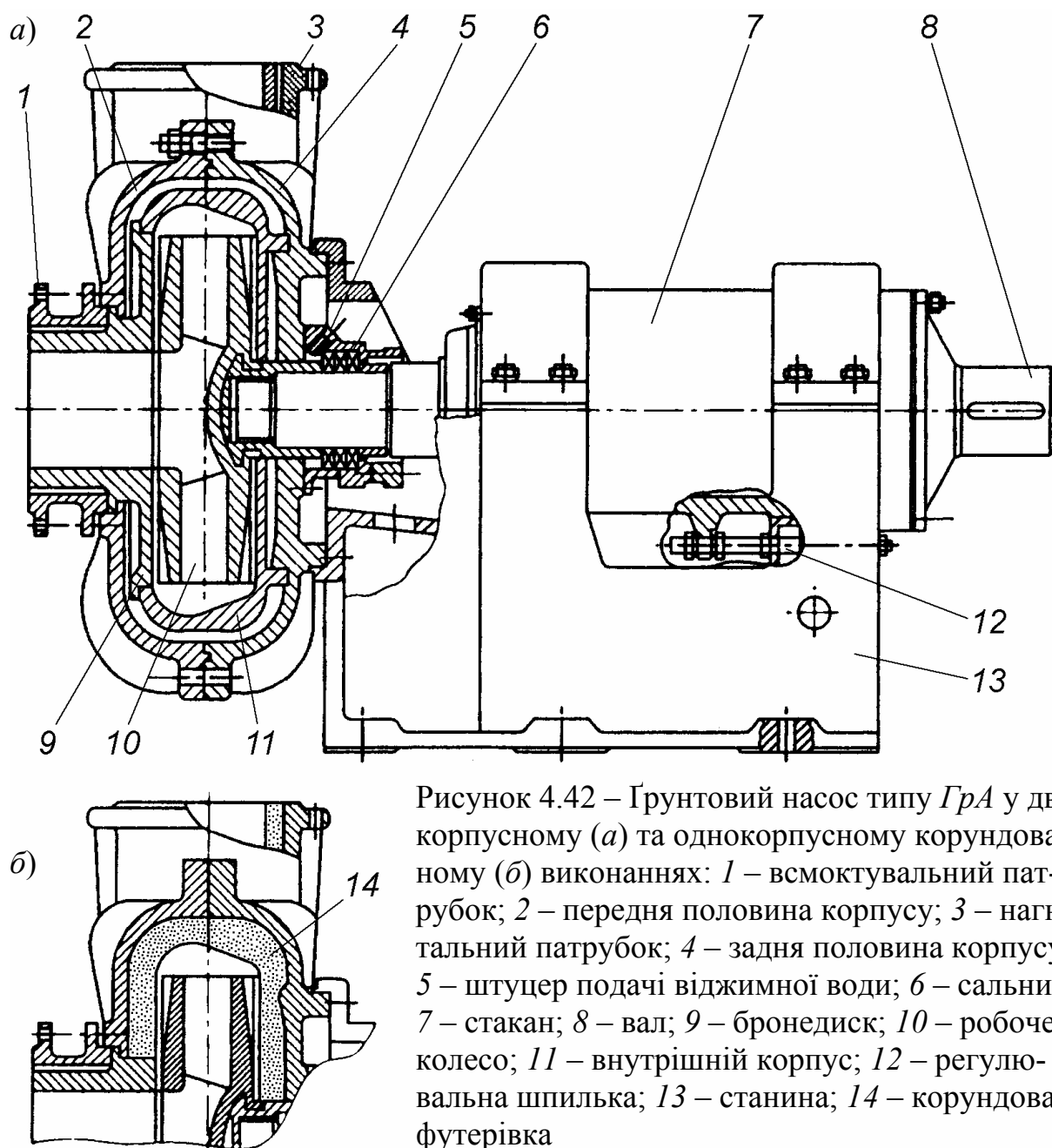


Рисунок 4.41 – Ґрунтовий корундований насос *ГрК 1600/50*, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 – передня половина корпусу; 2 – корундова футерівка; 3 – робоче колесо; 4 – задня половина корпусу; 5 – штуцер подачі віджимної води; 6 – сальник; 7 – передній підшипник; 8 – вал; 9 – упорний шарикопідшипник; 10 – задній підшипник; 11 – станина

Таблиця 4.18 – Технічні характеристики ґрунтових насосів серії *ГрА*

Марка насоса	Найменування показників						
	Номінальна подача м ³ /год.	Номінальний тиск, МПа	Потужність приводу насоса, кВт	Частота обертання колеса, об/хв.	Діаметр робочого колеса, мм	Припустиме розрідження, кПа	Маса насоса, кг
<i>ГрА 85/40</i>	56	0,17	4,7	980	340	22	1261
—	70	0,27	9,2	1200	—	32	—
—	85	0,40	16,3	1450	—	46	—
<i>ГрА 170/40</i>	112	0,17	8,8	980	355	22	1450
—	140	0,27	17,5	1200	—	31	—
—	170	0,40	30,9	1450	—	45	—
<i>ГрА 225/67</i>	150	0,30	20,4	980	425	28	2615
—	185	0,45	37,2	1200	—	43	—
—	225	0,67	66,3	1450	—	63	—
<i>ГрА 350/40</i>	265	0,22	25,8	725	510	30	2710
—	300	0,30	38,3	835	—	32	—
—	350	0,40	59,6	980	—	43	—
<i>ГрА 450/67</i>	335	0,37	57,1	725	620	32	5085
—	390	0,50	87,1	835	—	37	—
—	450	0,67	132,5	980	—	47	—
<i>ГрА 700/40</i>	520	0,22	49,1	725	535	34	4600
—	600	0,30	74,3	835	—	42	—
—	700	0,40	113,9	980	—	55	—
<i>ГрА 900/67</i>	540	0,24	52,7	580	685	35	8960
—	670	0,37	100	725	—	46	—
—	900	0,67	234	980	—	75	—
<i>ГрА 1400/40</i>	935	0,18	64,6	485	760	33	7250
—	1100	0,25	104	580	—	37	—
—	1400	0,40	209	725	—	55	—
<i>ГрА 1800/67</i>	1200	0,30	136	485	905	39	13000
—	1450	0,42	227	580	—	53	—
—	1800	0,67	444	725	—	80	—

Насоси призначені для перекачування високоабразивних гідро-сумішей з водневим показником рН 6...12, температурою від 5 до 70 °С, з мікротвердістю матеріалу, що перекачується, до 11 000 МПа. Максимально припустимий розмір твердих включень при гідро-транспорті насосами *ГрАТ* — 6 мм, *ГрАК* — до 1 мм.



Насоси марки *ГрАТ* — двокорпусні, рис. 4.42 а. Зовнішній корпус з вертикальним розніманням складений з передньої 2 та задньої 4 половин, що з'єднані шпильками. Зовнішній корпус, всмоктувальний 1 та нагнітальний 3 патрубки захищені від зносу бронедиском 9 та внутрішнім корпусом (броневкладишем) 11 зі зносостійкого металу. Робоче колесо 10 також виготовлене зі зносостійкого металу. У порожнину сальникового ущільнення 6 через штуцер 5 подається чиста вода.

Задня половина зовнішнього корпусу 4 кріпиться болтами до станини 13. Вал 8 насосу спирається на дві роликотідишпнікові опори, що розміщені у стакані 7. Для регулювання зазору між бронедиском 9 та робочим колесом 10 стакан 7 можна переміщувати у осьовому напрямку за допомогою регулювальної шпильки 12.

У насосів *ГрАК* замість внутрішнього корпуса (броневкладиша) і переднього диска (бронедиска) внутрішня поверхня футерована захисним покриттям 14 з корундових зерен на органічному зв'язуванні, рис. 4.42 б. Робочі поля ґрунтових насосів типу *ГрА* показані на рис. 4.43.

Ґрунтові насоси типу Р встановлюють на земснарядах типів 100-40К, 200-50Р, 300-40, 350-50Л, 350-50Т і 350-50ТМ. Вони мають параметри, близькі до параметрів насосів типу *Гр*, табл. 4.19.

Ґрунтові насоси типу МП застосовуються на річкових земснарядах і забезпечують велику продуктивність при відносно низькому тиску, табл. 4.20.

Заглибні ґрунтові насоси використовують для поліпшення процесу породозабору земснарядів і зменшення втрат напору насосів. Розташування насосу на поворотній рамі безпосередньо біля ґрунтозабірного пристрою дозволяє зменшити вакуум в усмоктувальному патрубці, що дає змогу уникнути кавітації, вести розробку на значних глибинах та підвищити концентрацію пульпи. Крім того, заглибний насос не потребує спеціальних пристроїв для його заливання перед пуском. Заглибні насоси набули поширення на земснарядах великої продуктивності зарубіжного виробництва.

Існує дві схеми виконання заглибних насосів: з розташуванням електродвигуна вище ватерлінії та з застосуванням *моноблочного агрегату*, що цілком знаходиться під водою. Перша схема дозволяє уникнути проблем з герметизацією двигуна, але потребує наявності

Таблиця 4.19 – Технічні характеристики ґрунтових насосів типу *P*

Найменування показників	Марка насоса					
	<i>12P-7</i>	<i>16P-9</i>	<i>20P-11</i>			<i>20P-11M</i>
Діаметр робочого колеса, мм	1000	960	1360	1260	1160	1100 1250
Частота обертання, хв ⁻¹	580	725	485			485
Подача по воді, м ³ /год	1600	2500	4500	4000	3600	3100 3800
Тиск насоса, МПа	0,58	0,45	0,66	0,54	0,45	0,47 0,62
Кількість лопатей	3	3	3			4
Найменший прохідний перетин, мм	200	220	220			220
Коефіцієнт швидкохідності	70	90	95	100	105	95 85
Потужність привода, кВт	480	630	1250	860	750	750 1250
Діаметр патрубків, мм:						
усмоктувального	300	400	500			500
напірного	300	350	500			500
Маса насоса, т	4,5	—	9,25			10,53

Таблиця 4.20 – Характеристика ґрунтових насосів типу *МП*

Тип ґрунтового насоса	Номер проекту земснаряда	Подача води, м ³ /год	Тиск, МПа	Потужність привода, кВт	Частота обертання, хв ⁻¹
<i>220 МП-180</i>	<i>1-51701</i>	14000	0,21	1230	180
<i>160 МП-220</i>	<i>592</i>	2300	0,21	184	220
<i>140 МП-325</i>	<i>23-112</i>	7500	0,25	590	325
<i>120 МП-325</i>	<i>23-110</i>	3800	0,15	280	325
<i>115 МП-350</i>	<i>12</i>	3500	0,21	258	350
<i>100 МП-350</i>	<i>324</i>	2200	0,17	166	350
<i>115 МП-350</i>	<i>P-109</i>	4500	0,16	368	350
<i>80 МП-500</i>	<i>246</i>	1400	0,20	110	500

довгої та малонадійної трансмісії. Для реалізації другої схеми необхідно забезпечити надійну герметизацію електродвигуна, який знаходиться на значній глибині і підданий досить великому тиску води (до 200 кПа).

До вітчизняних заглибних насосів відносяться ґрунтові насоси *1200/27*, *700/49* та моноблочні агрегати типу *ПГМ* (насос заглибний ґрунтовий моноблочний) і *МБ* (насос моноблочний), табл 4.21.

Таблиця 4.21 – Технічні характеристики заглибних ґрунтових насосів

Найменування показників	Тип заглибного ґрунтового насоса (агрегату)				
	1200/27	700/49	ПГМ-2500/60	МБ-20Р-11М	ПГМ-4000/57
Подача, м ³ /год	1200	700	2500	3500	4000
Тиск, МПа	0,27	0,49	0,60	0,50	0,57
Потужність привода, кВт	300	300	800	1000	1250
Коефіцієнт швидкодії	250	120	95	90	85
Найменший прохідний перетин, мм	170	120	200	220	220
Частота обертання, хв ⁻¹	1450	1450	580	485	485
Діаметр патрубків, мм:					
усмоктувального	250	250	500	500	600
напірного	250	250	400	500	500
Маса насоса (агрегату), т	3,40	3,40	16,7	15,65	20,35

ПГМ-4000/57 — заглибний моноблочний агрегат із двигуном АПС-16-80-12, що має номінальну подачу 4000 м³/год і напір 57 м, рис. 4.44. Передня кришка 1 з усмоктувальним патрубком та задня кришка 6 закріплені на зовнішньому корпусі 3. Для захисту зовнішнього корпусу та задньої кришки встановлено броневкладиш 4 та бронециліндр 10. Задня кришка 6 консоллю 12 кріпиться до корпусу електродвигуна 13.

Робоче колесо 2 закріплене на валу 8 двигуна на конусній посадці. При цьому на торці вала встановлений поршень 7, що полегшує демонтаж робочого колеса при виконанні ремонтних робіт. Для цього вал має осьовий і радіальний канали, по яких робоче середовище (олія) надходить від ручного насоса в поршень. Імпелер 5 робочого колеса дозволяє значно зменшити витрати (до 20 м³/год) і тиск (до 0,15 МПа) промивної води, що подається в сальниковий вузол 11. Осьовий зазор регулюється ущільнювальним кільцем 9.

Герметичний електродвигун типу АПС має передній радіальний і задній радіально-упорний підшипники, які дозволяють двигуну працювати з нахилами і під дією значних осьових навантажень. Двигун обладнано системою підтримки надлишкового, до 0,2 МПа, тиску в корпусі двигуна (від компресора) і автоматичним контролем за протіками води в двигуні. Завдяки цьому компресор працює періодично в межах заданих параметрів тиску 98...159 кПа.

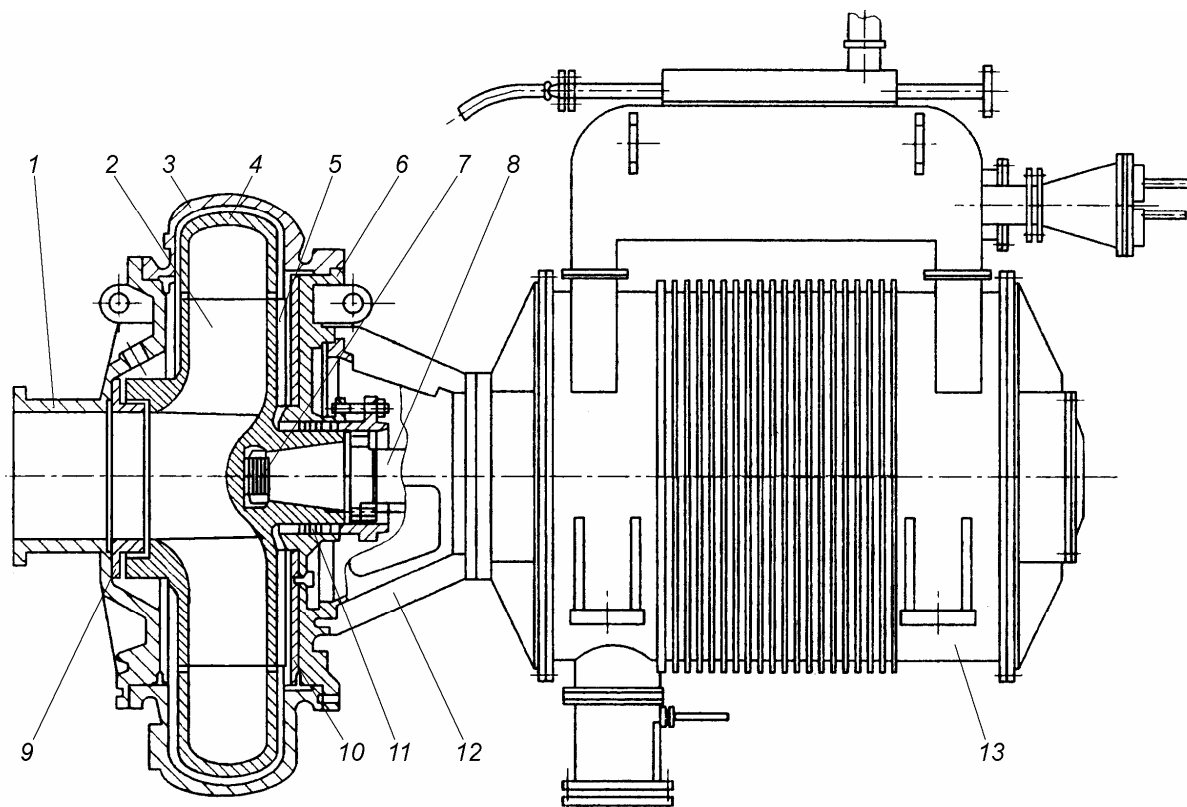


Рисунок 4.44 – Моноблочний заглибний агрегат ЛГМ-4000/57: 1 – передня кришка з усмоктувальним патрубком; 2 – робоче колесо; 3 – зовнішній корпус; 4 – внутрішній корпус (броневкладиш); 5 – імпелер; 6 – задня кришка; 7 – поршень; 8 – вал; 9 – ущільнювальне кільце; 10 – бронедиск; 11 – сальник; 12 – консоль; 13 – електродвигун

Моноблочні агрегати, з метою одержання додаткового тиску, іноді встановлюють за послідовною схемою: заглибний моноблочний агрегат — палубний або трюмний ґрунтовий насос — пульпопровід. Для стійкості роботи такої системи слід приймати заглибний насос з тиском не менш 0,3 МПа, який надасть підпір другому ґрунтового насоса 0,1...0,12 МПа.

Для гідропідйому корисних копалин з глибин до 200 м Московським гірничим інститутом розроблені заглибні насосні агрегати “Молюск-5” та “Молюск-8”, табл. 4.22. Особливістю цих насосів є герметичний маслозаповнений електродвигун, оснащений пристроєм, який компенсує теплове розширення масла та автоматично підтримує його тиск в двигуні таким, що перевищує тиск навколишнього середовища, а також лабіринтні ущільнення вала замість звичайного м’якого сальника. Насосні агрегати використовуються при проведенні підводно-технічних робіт, для створення колодязів та ін.

Таблиця 4.22 – Технічні характеристики насосів типу “Молюск”

Найменування показників	Марка насосного агрегату		
	“Молюск-5”	“Молюск-8”	“Молюск-9”
Подача, м ³ /год	700	400	300
Напір, м	49	22	480
Кількість робочих коліс	1	1	4
Частота обертання, хв ⁻¹	1490	990	1490
Потужність привода, кВт	300	100	1250
Розмір прохідного перетину, мм	120	120	80
Максимальна глибина занурення, м	200	200	6000

На базі насосів вказаних моделей лабораторією для вирішення проблеми підйому корисних копалин зі дна Світового океану при Донецькому політехнічному інституті (зараз Донецький національний технічний університет) розроблено експериментальний заглибний насосний агрегат “Молюск-9”, призначений для підйому гідросуміші з глибини до 6000 м при видобуванні залізо-марганцевих конкрецій зі дна океану. Насос, рис. 4.45, складається з маслозаповненого асинхронного електродвигуна 13 та чотирьох насосних секцій, кожна з яких має підвід 1, робоче колесо 4 діаметром 590 мм, бронедиски 2 та відвід 3. Чотири ступені нагнітання потрібні для забезпечення напору 480 м, необхідного для підйому гідросуміші зі вказаної глибини. Робоче положення насоса — вертикальне (як на малюнку).

Насос має оригінальне компонування: робочі колеса 4 розташовані на подовженому валі 12 електродвигуна консольно по два з кожної сторони, з усмоктувальними отворами, спрямованими у протилежні сторони. Таке компонування дозволяє зменшити кількість підшипникових опор до двох, та забезпечити теоретичне розвантаження ротора від гідравлічної осьової сили. Перетік гідросуміші зі ступіні у ступінь здійснюється по трубах 9. Відведення секцій орієнтовані таким чином, щоб забезпечити врівноваження радіальних сил, які діють на ротор.

Заглибний герметичний маслозаповнений електродвигун 13 виготовляється на базі асинхронного електродвигуна ВАО 710-М4 потужністю 1250 кВт. Вал двигуна замінюється на подовжений та більш міцний. На корпусі двигуна встановлюється компенсатор 8 сільфонного типу, призначений для підтримування постійного пере-

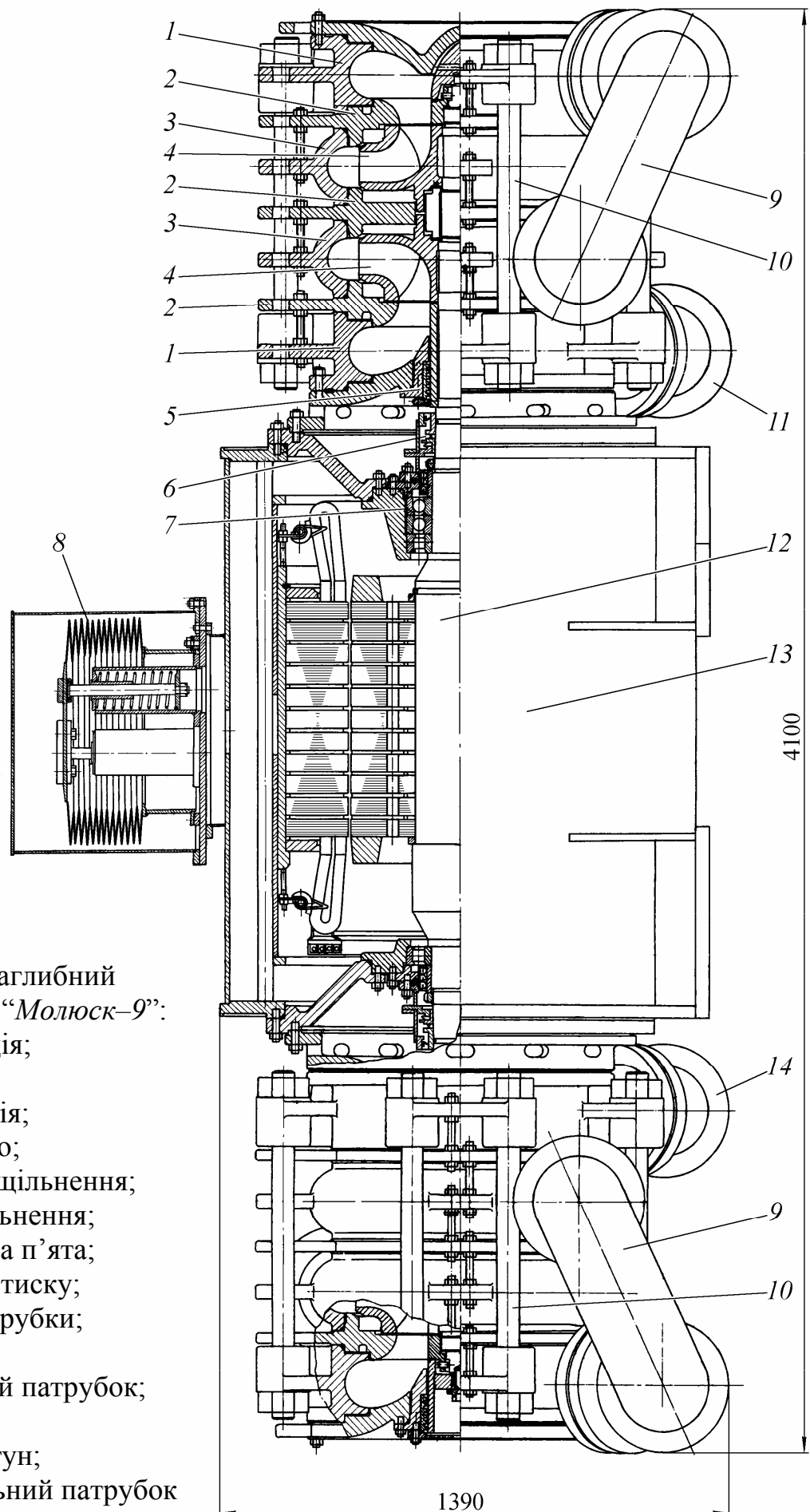


Рисунок 4.45 – Заглибний
грунтовий насос “Молюск-9”:
1 – підвідна секція;
2 – бронеципи;
3 – відвідна секція;
4 – робоче колесо;
5 – лабіринтне ущільнення;
6 – торцеве ущільнення;
7 – підшипникова п’ята;
8 – компенсатор тиску;
9 – перевідні патрубки;
10 – шпильки;
11 – нагнітальний патрубок;
12 – вал;
13 – електродвигун;
14 – усмоктувальний патрубок

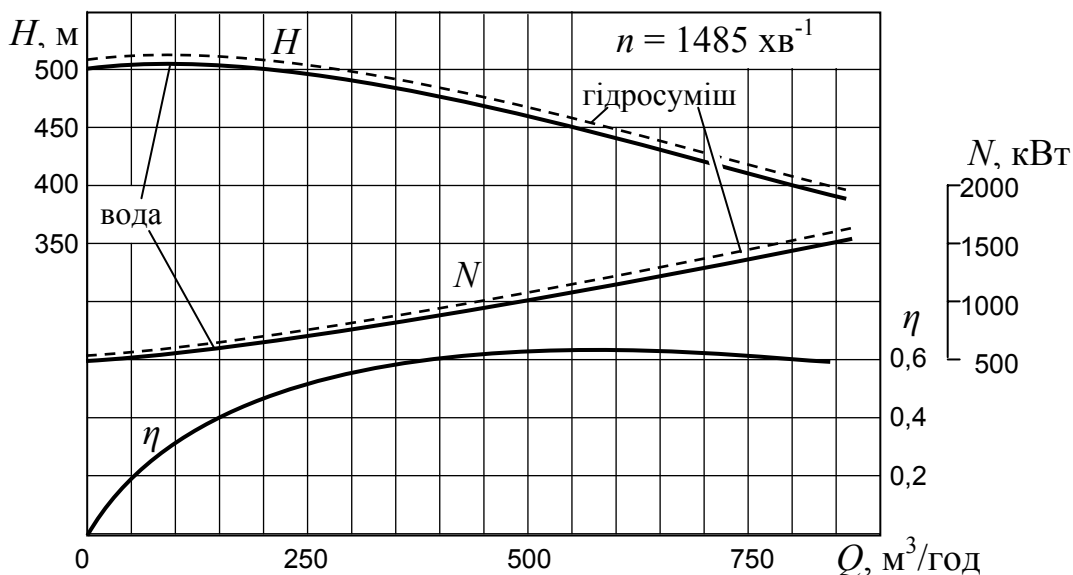


Рисунок 4.46 – Робоча характеристика заглибного насоса “Молюск-9”

вищення на 30 кПа тиску масла усередині двигуна над тиском навколишнього середовища. Для запобігання витіканню масла в кришках встановлені торцеві ущільнення 6 спеціальної конструкції. Насосні секції кріпляться до кришок двигуна та стягуються шпильками 10.

Оскільки насосний агрегат працює у підводному стані і підсмоктування повітря неможливе, немає необхідності повної герметизації місць проходження вала крізь підводи першого та третього ступеня. Тому, замість звичайних сальникових ущільнень встановлені лабіринтні ущільнення 5, які промиваються за рахунок підсмоктування морської води.

Деталі насоса, які контактують з гідросумішшю — робочі колеса, підводи, відводи, бронеципи, — виготовляються зі спеціального зносостійкого чавуна. Характеристику насоса наведено на рис. 4.46.

Вуглесоси призначені для гідротранспорту здрібненого вугілля та інших матеріалів з малою абразивністю. Їх використовують на шахтах для гідротранспортування і гідропідйому вугілля, та на вуглезбагачувальних фабриках для перекачування пульпи і гідротранспорту відходів зі збагачувальних фабрик у хвостосховища. Завдяки великій частоті обертання робочого колеса (1450 хв^{-1}) напір, що розвивається вуглесосами, вище, ніж у ґрунтових насосів. Крім того, конструкція ущільнень дозволяє послідовне включення двох вуглесосів. Це дає змогу використовувати вуглесоси для гідропідйому вугілля на значну висоту, або для гідротранспортування на значні відстані. Технічні характеристики вуглесосів наведені у табл. 4.23, а їхні робочі поля — на рис. 4.47.

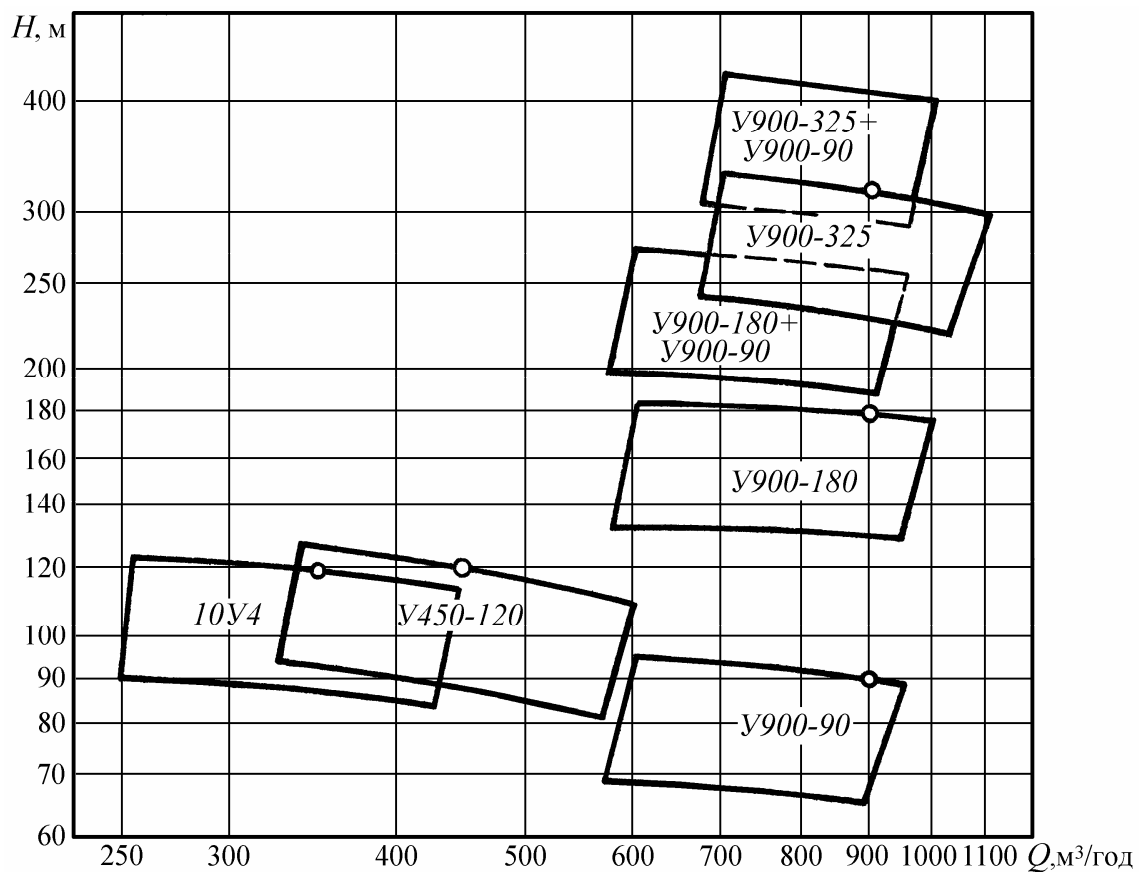


Рисунок 4.47 – Робочі поля вуглесосів

Таблиця 4.23 – Технічні характеристики вуглесосів

Найменування показників	Марка вуглесосів *				
	10У4	У450-120	У900-180 (12У6)	У900-90 (12У10)	У900-325 (14УВ6)
Число ступіней	1	1	1	1	2
Подача, м ³ /год	350	450	900	900	900
Тиск, МПа	1,2	1,2	1,8 (1,75)	0,9 (0,85)	3,25 (3,2)
Частота обертання, хв ⁻¹	1485	1485	1485	1485	1485
Потужність привода, кВт	320	400	1000	400	1600
Діаметр робочого колеса, мм	620	530	710	510	660,700
Розмір прохідного перетину колеса, мм	100	100	100	100	100
К.к.д. насоса	0,53	0,60	0,60	0,68	0,60
Кавітаційний запас, м	7,3	7,3	5,9	5,5	6,4
Припустимий підпір, МПа	—	0,10	0,9	0,9	0,9
Маса, т	1,6	1,6	3,5	1,6	5,7

* у дужках наведені позначення та параметри серійних (старих) моделей.

Вуглесоси старих моделей мають таке маркірування: *10У4*, *12У10*, *12У6*, *14УВ6*. Тут літера *У* означає вуглесос, *В* — високонапірний, перше число — діаметр всмоктувального патрубку в дюймах, друге — коефіцієнт швидкохідності, зменшений у 10 разів і округлений. Вуглесоси модернізованих моделей, випуск яких розпочато з середини 80-х років, маркуються: *У450-120*, *У900-90*, *У900-180*, *У900-325*, де літерне позначення таке ж саме, перше число означає номінальну подачу, м³/год, друге — номінальний напір, м, при роботі на чистій воді.

Вуглесоси мають осьове підведення і горизонтальне рознімання корпусів (крім вуглесоса *У900-90*). На рис. 4.48 представлений схематичний розріз вуглесоса *У900-90*. Він складається зі спірального корпуса 6, передньої кришки (з усмоктувальної сторони) 4, робочого колеса 7, насадженого на вал 13, бронедиска 5, станини 8, сальникової порожнини 9 із притискним кільцем 10, втулки 11, сферичного роликового 12 і радіально-упорного 14 підшипників. Для зменшення впливу зносу застосоване робоче колесо зі збільшеними дисками. Зовнішній діаметр дисків 570 мм, робочого колеса 510 мм. Для боротьби зі зносом усмоктувального патрубку перед робочим колесом установлений патрубок 3. Замість сальникового ущільнення в деяких вуглесосах застосоване еластичне. Воно складається з гумової манжети, закріпленої на валу хомутом. Під час роботи вуглесоса внаслідок дії тиску внутрішнього середовища (гідросуміші) манжета притискається до внутрішнього циліндричного каналу вуглесоса, перешкоджаючи протіканню гідросуміші назовні.

Вуглесос *У900-325* являє собою горизонтальний двоступінчастий відцентровий насос з боковим підведенням рідини, рис. 4.49. Корпус вуглесоса 19 являє собою зварювано-литу конструкцію, що складається з корпусів підведення першого 20 і другого 13 ступенів, які разом із кришками першого 3 і другого 10 ступенів утворюють усмоктувальні порожнини для підведення пульпи до робочих коліс 8 і 18. Спіральні корпуси (напірні камери) першого 17 і другої 14 ступенів виконані окремими знімними деталями, які кріплять напівхомутами 6 і 16, а також кришками 3 і 10 до корпусу вуглесоса. Перевідна труба 5, що з'єднує перший і другий ступені, виконана з двох колін і розташована над вуглесосом. Ротор складається з вала 9, робочих коліс 18 і 8, підшипникових і сальникових вузлів, бронедисків 15, розвантажувального пристрою і набору гладких і різьбових втулок. Проміжне ущільнення включає набір коротких плаваючих втулок 4,

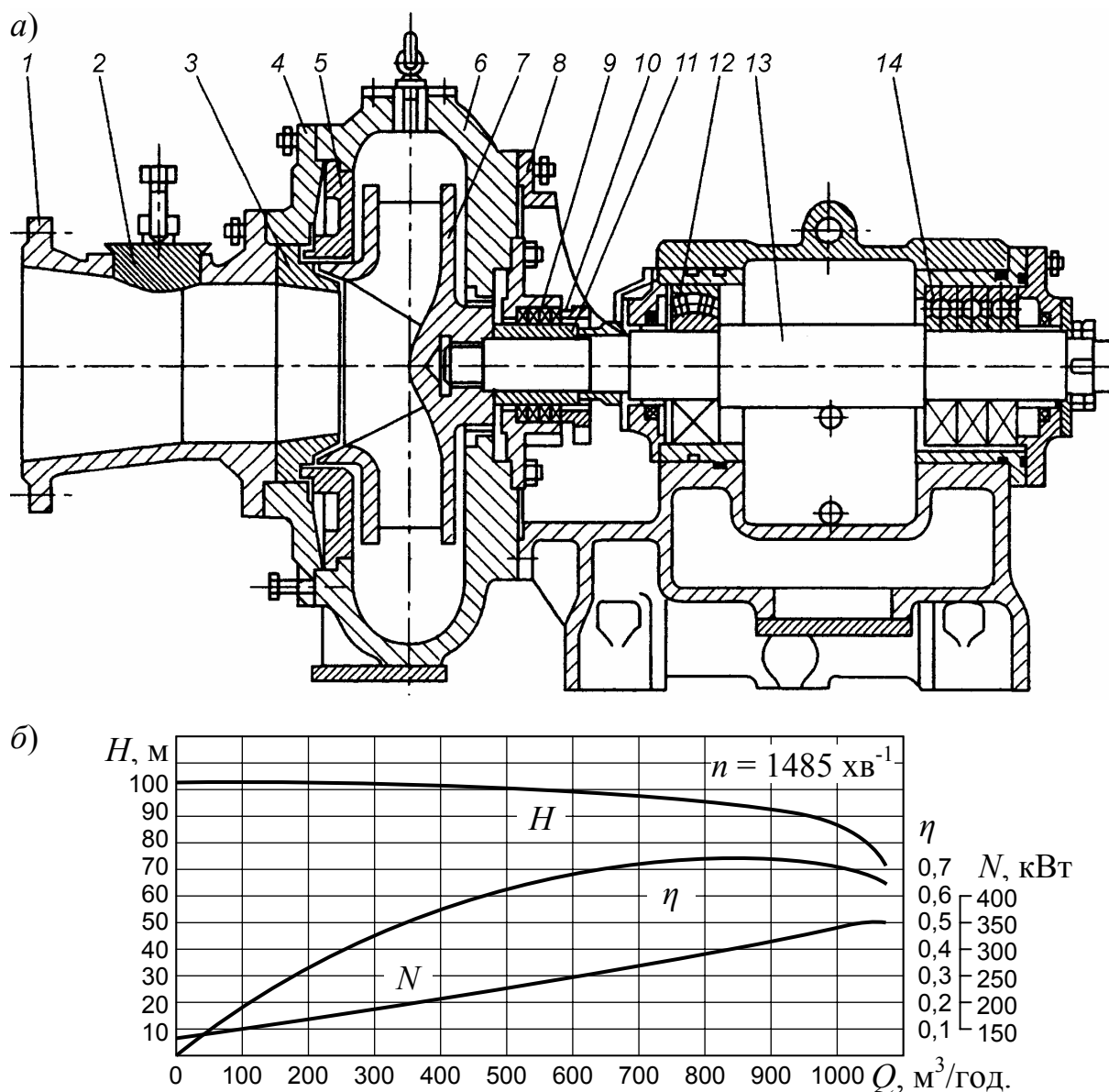


Рисунок 4.48 – Вуглесос У900-90, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 – усмоктувальний патрубок; 2 – люк; 3 – вхідний патрубок; 4 – передня кришка; 5 – бронецилиндр; 6 – корпус; 7 – робоче колесо; 8 – станина; 9 – сальник; 10 – притискне кільце; 11 – втулка сальника; 12 – роликовий сферичний підшипник; 13 – вал; 14 – радіально-упорний підшипник

що притискаються при роботі до упорного буртику втулки 7. Для сприйняття осової сили служить розвантажувальний пристрій, який складається з диска п'яти 1 і двох нерухомих дисків 21 (підп'ятників) з гумовими сегментами, на які спирається диск п'яти. Радіальні навантаження сприймають роликові підшипники 2 і 11. Для нормальної роботи розвантажувального пристрою й охолодження підшипників повинна підводитися чиста вода у кількості 6...8 м³/год.

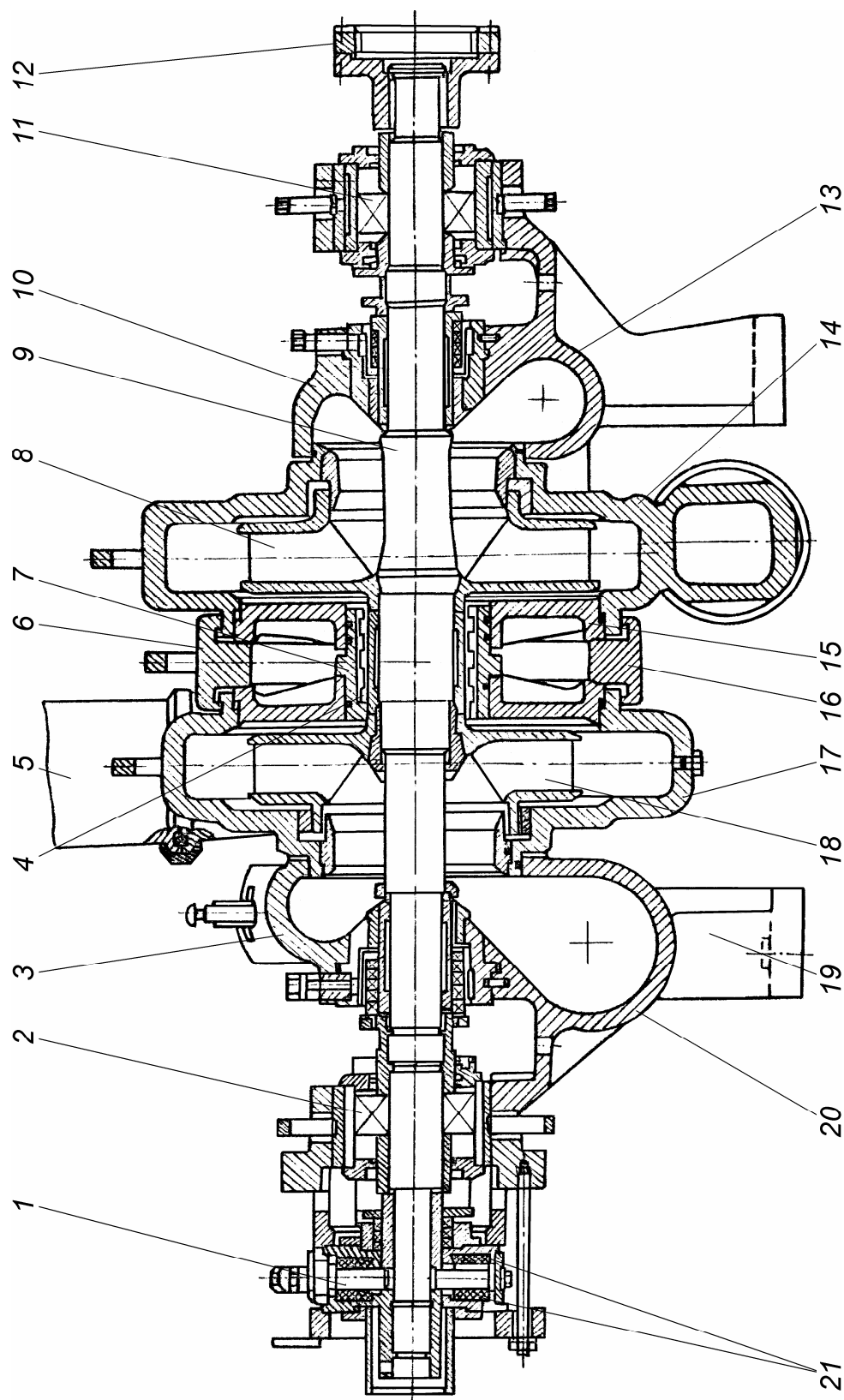


Рисунок 4.49 – Вуглесос У900-325: 1 – п’ята; 2 – роликів підшипник; 3 – кришка першого ступеня; 4 – плаваючі втулки; 5 – перевідна труба; 6 – напівхомут; 7 – ущільнювальна втулка; 8 – робоче колесо другого ступеня; 9 – вал; 10 – кришка другого ступеня; 11 – роликів підшипник; 12 – напівмуфта; 13 – підвід другого ступеня; 14 – спіральний корпус другого ступеня; 15 – бронедекки; 16 – напівхомут; 17 – спіральний корпус першого ступеня; 18 – робоче колесо першого ступеня; 19 – корпус; 20 – підвід першого ступеня; 21 – підп’ятники

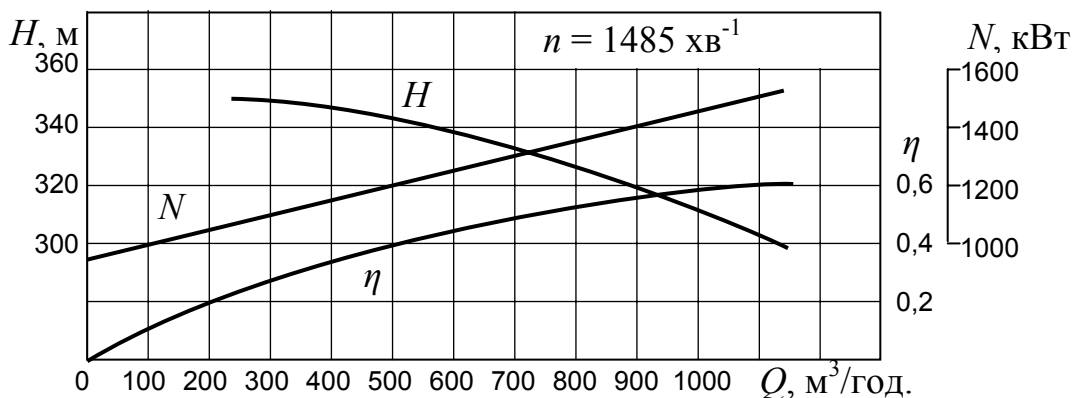


Рисунок 4.50 – Робоча характеристика вуглесосу У900-325

Шламові насоси призначені для відкачки неосаджених шахтних та шламових вод, які містять невеликі за розмірами частки вугілля та породи. Шламові насоси використовуються для відкачки шламів із зумпфів, відстійників, а також як насоси дільничного та місцевого водовідливу (при відсутності засобів освітлення шахтних вод).

Насос **ШН2-200** (шламовий насос, 2 — модифікація, 200 — номінальна подача, м³/год) призначений для відкачки нейтральних шламових вод з температурою не більш 40° С. Допускається вміст твердих часток у шламі до 50% при найбільшій величині твердих часток до 20 мм. Насос при частоті обертання робочого колеса 1450 хв⁻¹ має продуктивність 200 м³/год та напір 40 м (при роботі на чистій воді). Діаметр усмоктувального та нагнітального патрубків 125 мм.

Насос консольний одноступінчастий відцентрового типу з горизонтальним розніманням кронштейна і кришки ущільнення, що дає можливість при розбиранні насоса залишати закріпленими на плиті електродвигун і кронштейн насоса, рис. 4.51. З метою запобігання від зносу кришки 1 і кронштейна 8 встановлюються передній 2 і задній 5 бронебуси зі сталі 40ХЛ. Спиральний корпус 4 виконаний заодно з напірним патрубком (вісь якого може займати вертикальне або горизонтальне положення), має підвищену товщину і також виготовляється зі сталі 40ХЛ. Робоче колесо 3 дволопатеве, відкритого типу, виготовлене зі сталі 40ХЛ. Ущільнення вала складається з гумової манжети 6, що обертається разом з валом, і сталевий втулки 7, прикріпленої до кришки ущільнення. Насос не потребує подачі чистої віджимної води. Підшипники 9 і 11 змонтовані в корпусі 10. Задні підшипники 11 закріплені на валі гайкою і сприймають, крім радіального, осьове навантаження. Швидкозношуваними деталями насоса є робоче колесо, бронебуси, задня манжета і втулка.

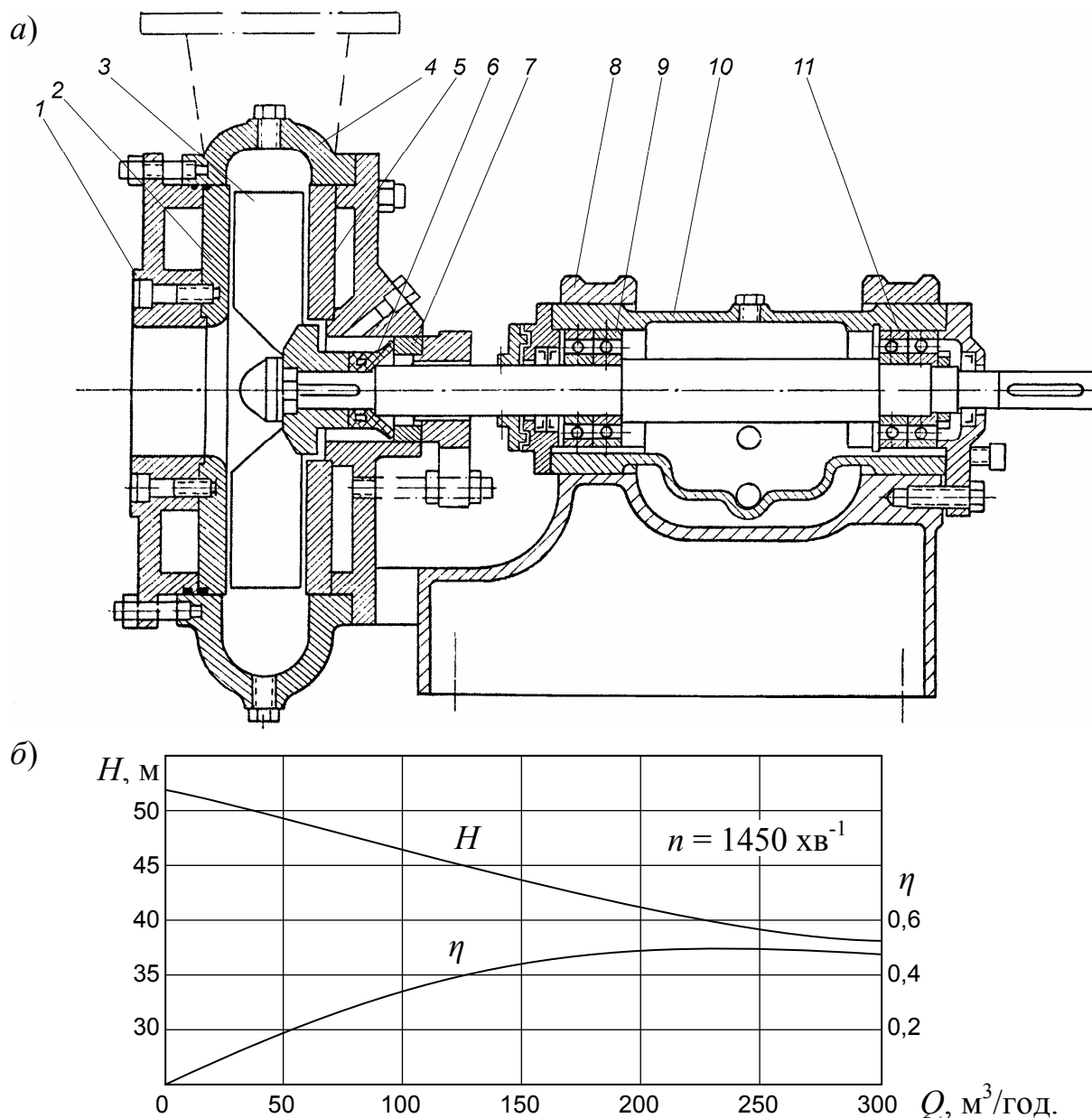


Рисунок 4.51 – Шламовий насос ШН2-200, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 – передня кришка; 2 – передній бронедиск; 3 – робоче колесо; 4 – корпус; 5 – задній бронедиск; 6 – гумова манжета; 7 – втулка; 8 – станина; 9, 11 – роликові підшипники; 10 – стакан

Як приклад сучасних зарубіжних насосів для гідросумішей розглянемо насоси для шламу типу **LP** фірми *Ahlström* (Альстрем), Фінляндія, які призначені для перекачування абразивних шламів, зокрема: шламів збагачувальних фабрик гірничої промисловості, піщаного, пінобетонного, каолінового і вапняного шламів, а також шламів, що містять прокатну окалину, тальк, польовий шпат, паперову масу та ін.

Серія насосів має два виконання: **LPK** — насос з гумовою футерівкою для перекачування надзвичайно абразивних, але порів-

няно дрібнозернистих шламів, та *LPN*, деталі проточної частини якого відлито зі спеціального зносостійкого сплаву. Останні застосовуються, коли шлам, що перекачується, містить великі тверді частки або має занадто високу температуру для гумованого насосу. У серії сім типорозмірів. Продуктивність шламових насосів варіюється в діапазоні 20 ... 2000 м³/год., а напір — 5 ... 58 м.

Корпус *футерованого гумою* насоса складається з двох половин: передньої 4 і задньої 5, які з внутрішньої сторони футеровані гумовими накладками 3 та 6, рис. 4.52 а. Накладки прикріплено до корпусу болтами, що угвинчуються у завулканізовані в гуму сталеві деталі. Завдяки цьому футерівка стійко прилягає до корпусу насоса, та при необхідності її можна швидко замінити. На стороні всмоктування, де знос завжди найбільш швидкий, є окрема гумова деталь 1, завдяки чому уникають заміни всієї футерівки при зносі.

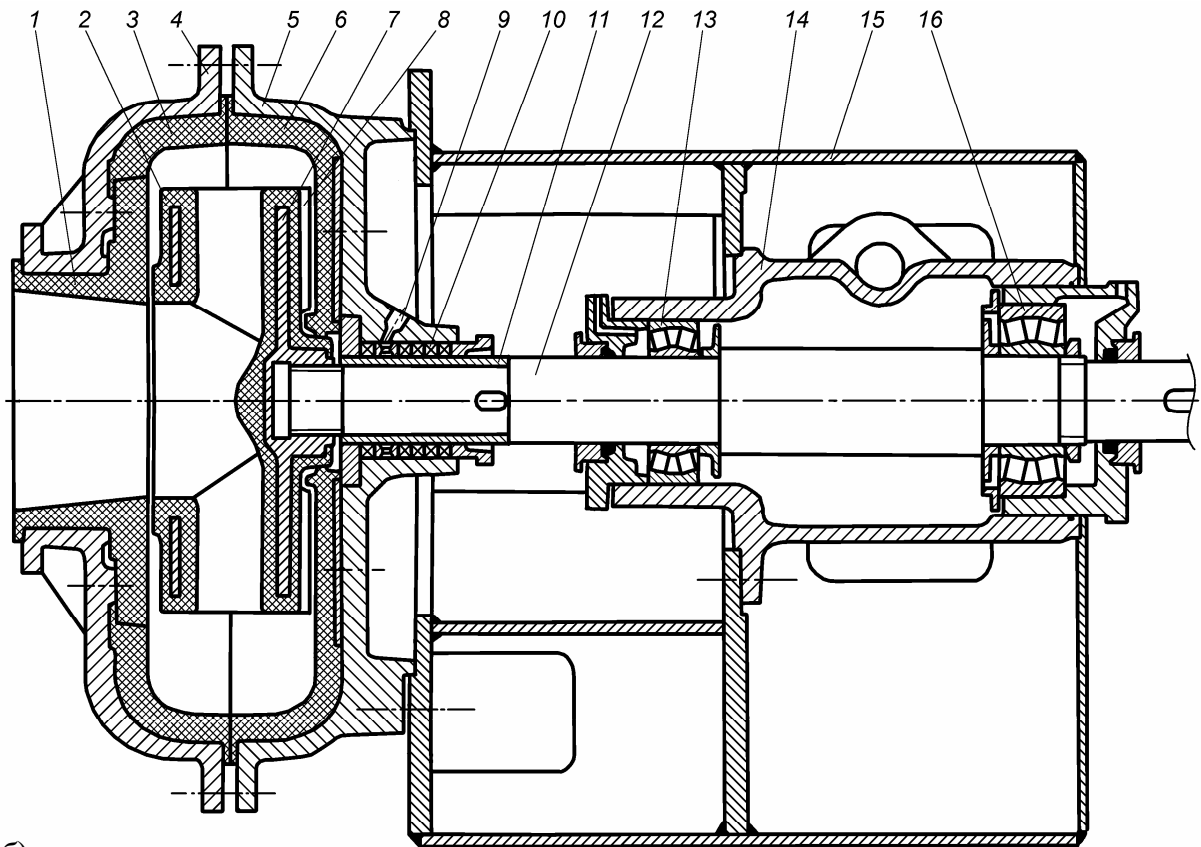
Робоче колесо являє собою металеву деталь 7, яку завулканізовано в гумову футерівку 2. На задній стороні корінного диску робочого колеса знаходяться лопатки 8 (*імпелер*), які значно зменшують напір на сальник 10, захищають його від влучання твердих часток та знижують осьове зусилля підшипників. Окрім того, для захисту сальника в нього через отвір 9 подається чиста вода.

Вал 12, захищений від зносу і корозії втулкою 11, спирається на роликпідшипники 13 та 16, розташовані в гнізді 14. Останнє, а також корпус 5, закріплені болтами на звареній з листового металу рамі 15. Величину зазору між деталлю 1 і робочим колесом 2 можна регулювати за допомогою регулювального гнізда, у якому знаходиться підшипник 16.

У *металевому* виконанні корпус 19, задня кришка 24, робоче колесо 20, передній 17 та задній 23 захисні бронедиски виконані зі спеціального зносостійкого металу, рис. 4.52 б. Зазори між корпусом та бронедисками ущільнені гумовими кільцями 18 і 22. Робоче колесо має імпелер 21. Конструкції сальникового ущільнення, підшипникової опори та рами в обох виконаннях однакові.

Двигун звичайно розташований на підставці зверху над рамою насоса, привод здійснюється за допомогою ремінної передачі. Змінюючи належним образом ремінні шків, одержують бажану швидкість обертання і продуктивність. За допомогою піднімального важеля, що закріплюється на рамі насоса, змінні деталі можна швидко перемінити на місці експлуатації.

а)



б)

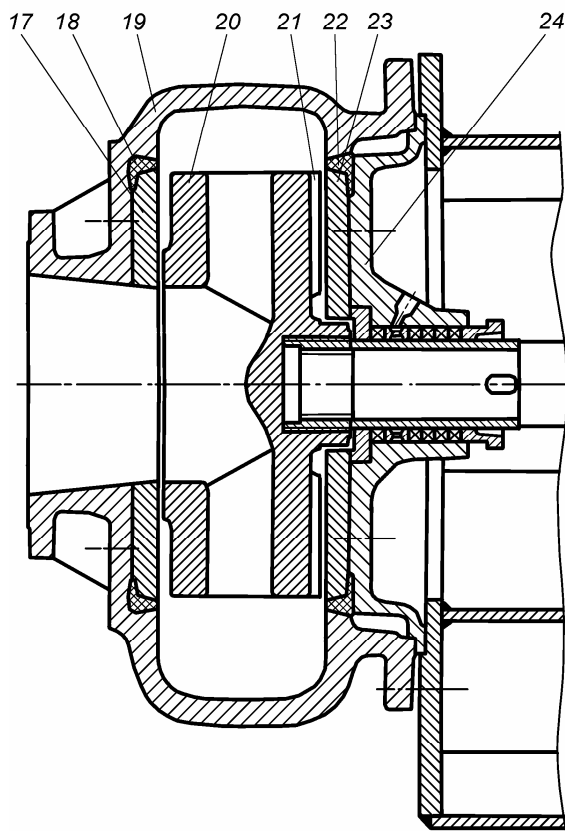


Рисунок 4.52 – Шламовий насос типу *LP* фірми *Ahlström* (Фінляндія), виконання *LPK* (а) та *LPN* (б): 1, 3, 6 – деталі гумової футерівки корпусу; 2 – гумова футерівка робочого колеса; 4, 5 – передня та задня половини корпусу; 7 – робоче колесо; 8 – імпелер; 9 – штуцер подачі промивної води; 10 – сальник; 11 – захисна втулка; 12 – вал; 13, 16 – передній та задній роликопідшипники; 14 – стакан; 15 – рама; 17, 23 – передній та задній бронедиски; 18, 22 – гумові ущільнення; 19 – корпус; 20 – робоче колесо; 21 – імпелер; 24 – задня кришка

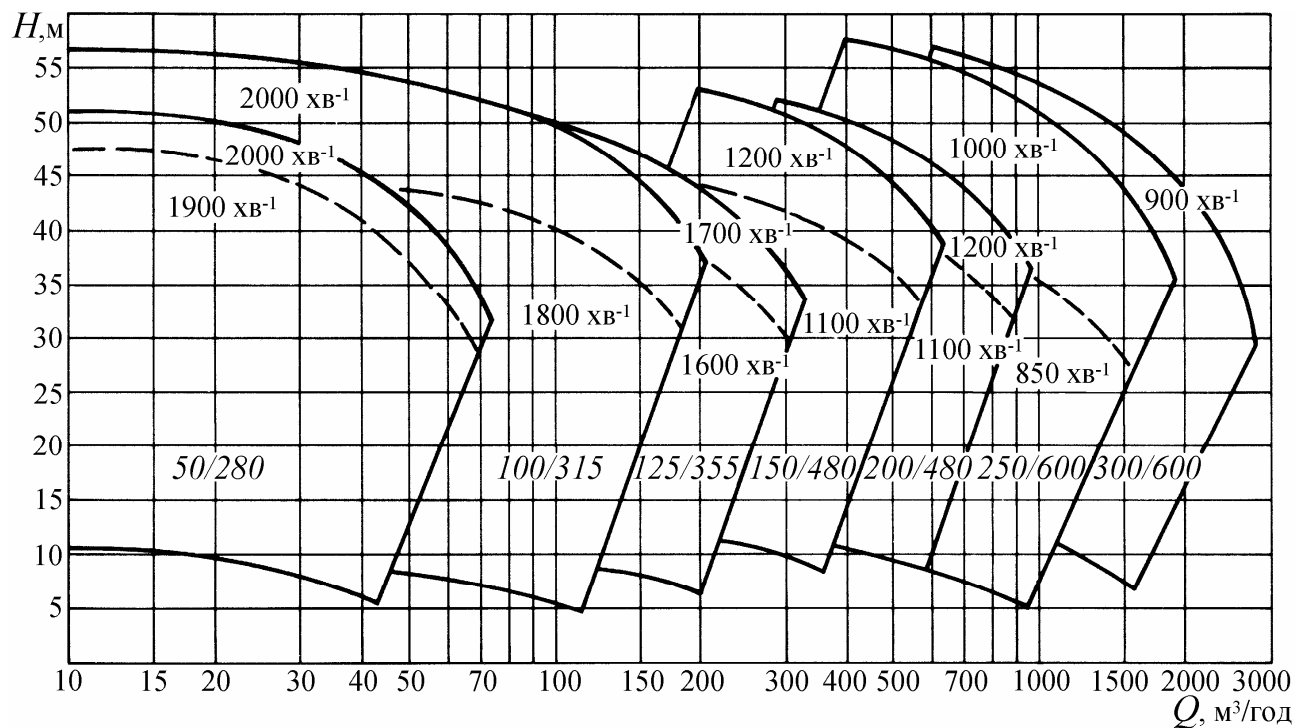


Рисунок 4.53 – Робочі поля шламових насосів типу *LP* фірми *Ahlström* (Фінляндія). Частоти обертання, вказані на діаграмі, є максимальними для насосів даного типорозміру: на пунктирній лінії — для насосів з гумовими деталями (виконання *LPK*), на суцільній лінії — для насосів з деталями зі зносостійкої сталі (виконання *LPN*)

Таблиця 4.24 – Технічні характеристики насосів типу *LP* фірми *Ahlström* (Фінляндія)

Найменування показників	Типорозмір насоса *						
	50/280	100/315	125/355	150/480	200/480	250/600	300/600**
Подача, м³/год.	10...70	30...200	80...300	150...600	200...900	300...1500	500...2500
Максимальний тиск, МПа ***	<u>0,51</u> 0,47	<u>0,57</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,53</u> 0,44	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,55</u> 0,40	<u>0,55</u> —
Максимальна частота обертання валу, хв⁻¹***	<u>2000</u> 1900	<u>2000</u> 1800	<u>1700</u> 1600	<u>1200</u> 1100	<u>1200</u> 1100	<u>1000</u> 850	<u>900</u> —
Діаметр робочого колеса, мм	280	315	355	480	480	600	600
Діаметри патрубків:							
всмоктувального	65	125	150	200	250	300	350
нагнітального	50	100	125	150	200	250	300
Маса насоса, кг	220	520	565	960	1080	2500	2800

* Позначення типорозміру насосу включає діаметр нагнітального патрубка (у чисельнику) та діаметр робочого колеса (у знаменнику).

** Насос типорозміру 300/600 має лише виконання *LPN*.

*** У чисельнику — параметри насосів металевих виконання (*LPN*), у знаменнику — параметри гумованих насосів (*LPK*), які мають обмежену частоту обертання робочого колеса.

Суспензійні, або **магнетито-шламові** насоси призначені для перекачування води з великим вмістом зважених часток, що мають значні абразивні властивості. До цієї групи відносяться насоси типу **С** (суспензійні): **8С-8** та **10С-8**, та типу **МШ** (магнетито-шламові): **5МШ-1** та **8МШ-8**. Числове позначення: перше число — діаметр всмоктувального патрубку в дюймах, друге — коефіцієнт швидкості, зменшений у 10 разів і округлений. Насоси мають відносно невелику продуктивність і перекачують високоабразивні суспензії зі щільністю до 2200 кг/м^3 та з розміром твердих часток не більше, ніж 20 мм — здрібнену руду на збагачувальних фабриках.

Насоси мають закрите робоче колесо та проточну частину, що виконані з матеріалу, особливо стійкого до абразивного зносу — сплаву **І4Х28Н2**. За компонованням це горизонтальні одноступінчасті насоси з консольним розташуванням робочого колеса і з осью підведенням рідини. Технічна характеристика насосів наведена у табл. 4.25.

Піскові насоси призначені для перекачування гідросумішей з великою абразивністю, що складені з невеликих за розмірами часток (піску, шлаку, золи та ін.). Ці насоси мають менші прохідні перетини робочих коліс, у порівнянні з іншими насосами для гідросумішей. Для боротьби зі зносом використовуються: завищення товщини лопаток та дисків робочого колеса та стінок корпусів, використання бронецилиндрів, а на великих насосах — внутрішніх корпусів. Конструкція насосів забезпечує легкий доступ до деталей, що зношуються, та можливість їх швидкої заміни.

Таблиця 4.25 – Технічні характеристики суспензійних насосів

Найменування показників	Марка насоса			
	8С-8	10С-8	5МШ-1	8МШ-8
Подача, $\text{м}^3/\text{год}$:				
номінальна	360	610	150	360
робочий діапазон	300...400	460...700	100...200	300...400
Тиск, МПа	0,42	0,66	0,33	0,36
Частота обертання, хв^{-1}	985	985	1450	985
К. к. д. насоса	0,7	0,65	0,64	0,73
Потужність привода, кВт	65	170	22	50
Кавітаційний запас, м	—	5,8	6,9	—
Маса, кг	1357	1824	355	1192

Відцентрові *піскові* насоси типу **НП** — одноступінчасті, з робочим колесом однобічного входу, призначені для перекачування піску, зваженого у воді. Насоси мають подачу від 23 до 500 м³/год при напорі від 6 до 30 м. Випускаються чотири розміри насосів **НП**: **2НП**, **4НП**, **6НП** і **8НП**. Букви і цифри, що складають марку насосів типу **НП**, наприклад **6НП** означають: 6 — діаметр напірного патрубку в мм, зменшений у 25 разів, **Н** — насос, **П** — пісковий.

Робоче колесо насосів **НП** — закрите нерозвантажене, рис. 4.54. Відмінність насосів цього типу — зворотне розташування робочого

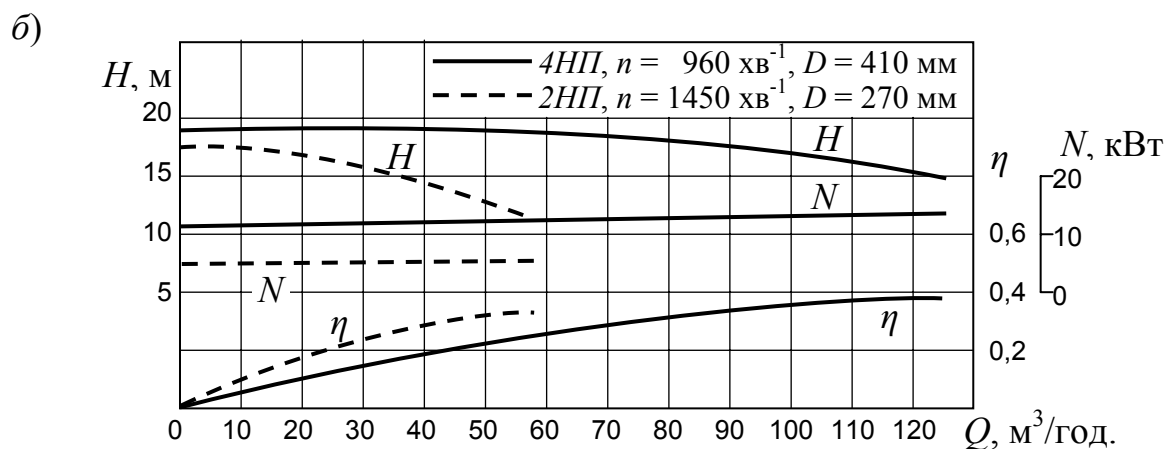
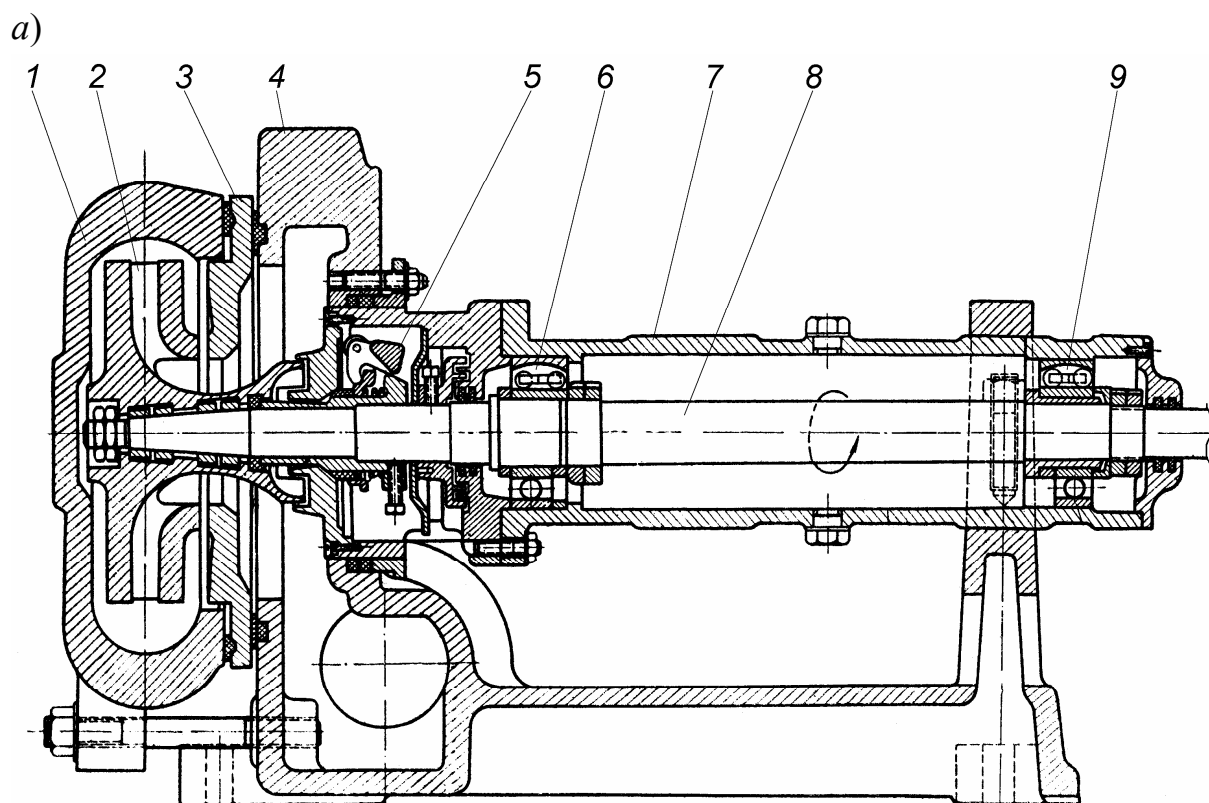


Рисунок 4.54 — Пісковий насос типу **НП**, схематичний розріз (а) та робоча характеристика (б): 1 — спіральний корпус; 2 — робоче колесо; 3 — проміжний диск; 4 — станина; 5 — кулачковий механізм ущільнення; 6, 9 — передній та задній шарикопідшипники; 7 — стакан; 8 — вал

колеса, вхідний отвір якого знаходиться з боку опори. Вхідний патрубок розташований горизонтально в нижній частині опорної станини 4, напірний патрубок відлитий за одне ціле з корпусом насоса 1 і спрямований вертикально нагору. Така конструкція полегшує доступ до швидкозношуваних деталей насоса — робочого колеса та проміжного диска.

В насосів *НП* лабіринтне ущільнення вала, і тому вони мають працювати з підпором. При обертанні вала кулачковий механізм 5 ущільнення, віджимаючи під дією відцентрової сили пружину, відводить замикаючу конічну гумову втулку, і приймальна порожнина через щілину, що утворюється, сполучається з атмосферою.

Багерні насоси призначені для гідрозоловидалення на теплових електростанціях, а також для подачі рідин з абразивними домішками, шлаком і т. п. За конструкцією та способами захисту від абразивного зносу ці насоси подібні до піскових або суспензійних.

Були розроблені і випущені насоси спеціальної конструкції, що охороняють робоче колесо від стирання — **вільновихрові** або **«смерчові»** насоси, рис. 4.55. У цього насоса відкрите робоче колесо 2 має радіальні лопаті. Таке колесо закручує потік, що надходить до

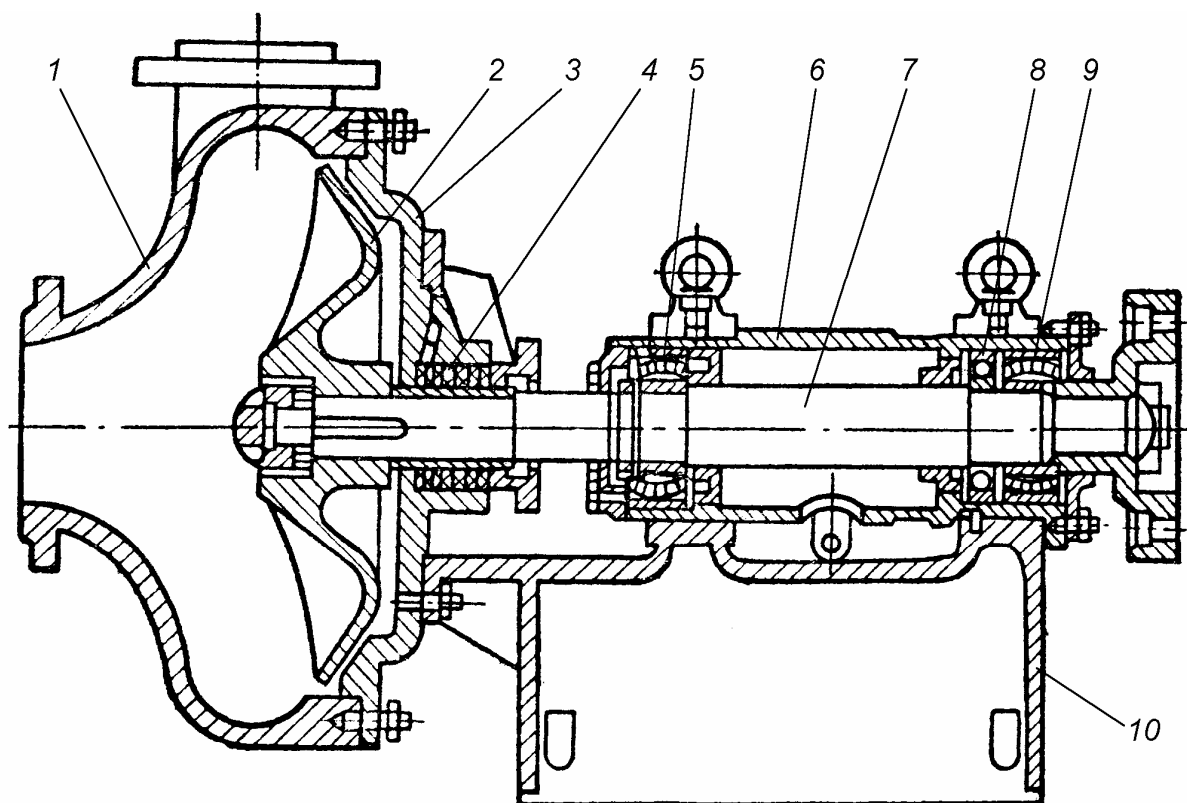


Рисунок 4.55 – Вільновихровий («Смерчовий») насос: 1 – корпус; 2 – робоче колесо; 3 – задня кришка; 4 – сальник; 5, 9 – радіальні роликopідшипники; 6 – стакан; 7 – вал; 8 – радіально-упорний шарикopідшипник; 10 – станина

внутрішньої порожнини корпусу *I* з осьового патрубка. Це призводить до виникнення відцентрової сили і підвищення напору при русі рідини від центра до стінок порожнини, звідки рідина поступає у напірний патрубок, при цьому через міжлопатевий простір робочого колеса проходить менше 40% повної витрати. В результаті дії відцентрової сили частки шлаку віддаляються від лопатей робочого колеса і тому знос його зменшується.

Експлуатація насосів *НС-5Гр8* з подачею 150 м³/год та напором 30 м і *НС-8ГрТ* з подачею 400 м³/год і напором 40 м показала, що знос робочого колеса і корпусу цих насосів значно менший, ніж у звичайного ґрунтового насоса. Крім того, насос не закупорюється, оскільки рідина вільно рухається у корпусі; при використанні спеціального екрана перед робочим колесом виключається можливість ушкодження тіл, що транспортуються; протягом усього терміну служби насоса не потрібно регулювання зазорів між корпусом і робочим колесом. Але унаслідок низького к. к. д., який не перевищував 30 ... 40 %, «смерчові» насоси не отримали широкого застосування.

4.3.4 Експлуатація насосів для гідросумішей

Техніко-економічні показники гідромеханізованих технологічних процесів, і зокрема гідротранспорту, значною мірою визначаються *надійністю* устаткування. В першу чергу — надійністю насосів.

Надійність — властивість устаткування виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники у визначених межах протягом необхідного проміжку часу. Надійність зумовлюється *безвідмовністю, ремонтпридатністю, зберігаємістю і довговічністю* частин устаткування.

Довговічність характеризує властивість зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонтів. Граничний стан визначається неприпустимим зниженням ефективності або неможливістю подальшого використання виробу. Показником довговічності є **термін служби до граничного стану**. Розрізняють термін служби *між ремонтами, до першого капітального або середнього ремонту, до списання* й ін. При цьому загальний термін служби включає всі міжремонтні періоди роботи. Устаткування комплексів гідромеханізації зазвичай мають низьку довговічність через інтенсивний знос гідросумішню, яка містить тверді абразивні частки.

Основну частину експлуатаційних витрат насосів для гідросумішей складають витрати на заміну деталей, які швидко зношуються. Ці витрати складаються з вартості запасних деталей і частоти заміни їх, а також із простоїв устаткування, пов'язаних із заміною.

Інтенсивність зносу деталей насосів, призначених для гідросумішей, залежить від факторів, пов'язаних з фізико-механічними властивостями *твердого* гідросуміші (крупність, твердість, окатаність), факторів, пов'язаних з характеристикою *матеріалу швидкозношуваних деталей* (твердість, пружність), *параметрів потоку гідросуміші* (концентрація, швидкість руху, кут натікання). *Абразивність гідросуміші* може змінюватися в десятки разів як за рахунок фізико-механічних властивостей твердого, так і за рахунок концентрації гідросуміші. У табл. 1.6 п. 1.2 наведені дані, що характеризують абразивність деяких гірських порід.

Термін служби швидкозношуваних деталей ґрунтових насосів складає

$$T_d = \frac{V_d}{Q_t}, \quad (4.96)$$

де V_d – об'єм твердого, пропущений насосом за час безвідмовної роботи даної деталі; Q_t – продуктивність насоса по твердому.

Об'єм ґрунту, що перекачується до повного зносу змінних деталей ґрунтового насоса, у залежності від його абразивності, наведено в табл. 4.26.

Таблиця 4.26 – Об'єм ґрунту, м³, який перекачується до повного зносу деталей ґрунтового насоса

Абразивність ґрунту	Внутрішній корпус	Колесо робоче	Ущільнювальне кільце	Бронедиски	
				передній	задній
0,25	300 000	120 000	120 000	180 000	300 000
0,50	150 000	60 000	60 000	90 000	150 000
0,75	100 000	40 000	40 000	60 000	100 000
1,00	75 000	30 000	30 000	45 000	75 000
1,25	60 000	25 000	25 000	36 000	60 000
1,50	50 000	20 000	20 000	30 000	50 000
2,00	38 000	15 000	15 000	23 000	38 000
3,00	26 000	11 000	11 000	15 000	26 000
5,00	15 000	6 000	6 000	9 000	15 000

З усіх деталей ґрунтових насосів найбільшому зносу піддані ущільнення і робоче колесо (вхідні крайки лопатей при перекачуванні гідросумішей з крупною твердою фракцією, а також робоча поверхня лопатей на вихідних ділянках при перекачуванні гідросуміші з дрібною твердою фракцією). Відводи ґрунтових насосів зношуються менш інтенсивно, і їхній термін служби перевищує термін служби колеса в 1,5—2,5 рази.

Довговічність швидкозношуваних деталей ґрунтових насосів значно змінюється в залежності від конкретних умов експлуатації. Встановлено, що гідроабразивний знос деталей приблизно залежить від квадрата швидкості руху гідросуміші. Тому одним зі шляхів зменшення зносу є зниження швидкості руху (відносної в каналах робочого колеса й абсолютної у відводі). Ефективним засобом зменшення зносу робочого колеса є зменшення числа оборотів насоса, тому що при цьому знижуються як відносна швидкість у колесі, так і прискорення в міжлопатевому каналі, що характеризують концентрацію гідросуміші з робочої сторони лопаті.

При транспортуванні піщано-гравійної гідросуміші знос вхідних крайок лопатей залежить від числа оборотів робочого колеса відповідно до відношення

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^{1,7 \dots 1,9}, \quad (4.97)$$

де Δ_1 і Δ_2 — знос робочого колеса при числі оборотів n_1 і n_2 відповідно.

Порівняння напору і числа оборотів ґрунтових насосів і вуглесосів показує, що в останніх напір і число оборотів набагато вище. Тому при використанні вуглесосів для гідротранспорту абразивної гірської маси довговічність їхніх деталей у багато разів уступає довговічності деталей ґрунтових насосів.

Унаслідок зносу деталей проточної частини змінюються характеристики насоса — напір, к. к. д. і припустима висота усмоктування. При транспортуванні гідросуміші з дрібною твердою фракцією найбільш впливає на продуктивність насоса *знос ущільнення робочого колеса*. Збільшення течі з напірної порожнини в усмоктувальну внаслідок збільшення зазору в ущільненні зменшує подачу. У результаті *зносу вихідних ділянок лопатей* зменшується вихідний діаметр робочого колеса, що приводить до зниження напору насоса. *Знос вхідних ділянок лопатей* приводить до зменшення усмоктувальної

здатності насоса (припустимої висоти усмоктування). Зниження напору і к. к. д. може досягти 15 % і більше, що при незмінній характеристиці мережі приводить до зниження подачі насоса, тобто продуктивності гідротранспортної системи.

Найбільш ефективним засобом збільшення терміну служби швидкозношуваних деталей є застосування спеціальних зносостійких матеріалів. Для деталей насоса застосовуються наступні зносостійкі матеріали: сплави чавуна і сталі, гума і мінералополімерні композиції (абразивні покриття на органічному зв'язуванні або корундові покриття), табл. 4.27.

Таблиця 4.27 – Застосування зносостійких матеріалів

Зносостійкий матеріал	Область застосування
Легований чавун твердістю HB не менш 5000 МПа	Гідросуміш з вмістом твердої фракції крупністю до 20 мм
Легована сталь з межею міцності при розриві не менш 1200 ... 1500 МПа	Гідросуміші зі вмістом абразивних включень крупністю більш 10 мм
Гума з динамічним модулем пружності не більш 5 МПа і еластичністю по відскоку не менш 40% при опорі розриву не менш 9 МПа	Гідросуміш зі вмістом абразивних часток крупністю до 5 мм
Мінералополімерні композиції твердістю по піскоструменю не більш 2,5 і з межею міцності на розрив не менш 13 МПа	Гідросуміш зі вмістом твердих включень крупністю до 1 мм

Для виготовлення швидкозношуваних деталей насосів при перекачуванні гідросуміші з дрібними включеннями найбільше застосування одержав зносостійкий чавун ИЧХ28Н2 зі вмістом хрому 28%, зносостійкість якого у 5...7 разів більше, ніж сталі 20. Застосовуються також зносостійкі чавуни ИЧХ12ГЗМ, ИЧ210Х30ГЧ та ін. При перекачуванні абразивної гідросуміші з великими включеннями (більше 10 ... 20 мм) для виготовлення швидкозношуваних деталей насоса використовують спеціальні зносостійкі сталі з відносною зносостійкістю 2,5 ... 3,5 (у порівнянні зі сталлю 20).

Швидкозношувані деталі насосів для абразивних гідросумішей, виготовлені зі звичайного сталевого лиття, піддаються *реставрації*. Зношені поверхні наплавляються твердими сплавами. Найбільше застосування одержало наплавлення електродами Т-590, Т-620, і ін. Використовуються й інші наплавочні матеріали, що забезпечують високі зносостійкі якості реставрованих поверхонь деталей насосів:

для деталей насосів, що перекачують піщану гідросуміш, застосовується порошковий дріт ПП-70Х20РЗ-0 (ПП-АН170), а для деталей насосів, що перекачують піщано-гравійну гідросуміш з підвищеним вмістом гравію, використовують дріт 200Х10Ф2М2Т та 200Х10М8.

Правила експлуатації насосів, що перекачують пульпу, зумовлені важкими умовами роботи цих насосів та властивостями рідини, що перекачується. Ефективна робота насосів можлива лише за умови ретельного виконання цих правил.

Перед *пуском* насосу потрібно насамперед відкрити *воду на ущільнення і залити* насос. Потім при закритій засувці на нагнітальному трубопроводі пустити насос, відкрити засувку і пропускати по пульпопроводу *чисту воду* протягом 5...15 хв. Після цього починають подавати пульпу.

При роботі насоса потрібно стежити за тиском і кількістю чистої води, що надходить на ущільнення, а також за подачею насоса, концентрацією пульпи, що всмоктується, та вакуумом в усмоктувальному патрубці. При перерві, навіть короточасній, подачі чистої води на ущільнення, або зниженні тиску нижче норми, насос треба зупинити й набивання сальників замінити новим, щоб запобігти пошкодженню шийки вала.

При значному зниженні подачі пульпи швидкість потоку в пульпопроводі буде мала, що може привести до забивання пульпопроводу. Занадто велика концентрація пульпи (наприклад, при забучуванні забірною резервуару) призводить до підвищених вібрацій та аварійного виходу підшипників та електродвигуна. Надмірний вакуум у всмоктувальному патрубці спричиняє кавітацію.

Перед **зупинкою** насоса потрібно *промийти* проточну частину насоса та пульпопровід, задля чого треба прокачати *чисту воду* на протязі 10 ... 20 хв. Потім закривається *засувка*, насос *зупиняється*. Після цього можна зупинити подачу *промивної води*.

Дослідження, виконані Е. К. Нікуліним (ДонНТУ), показали, що можливою є зупинка насоса з частковою промивкою системи (лише ділянки безпосередньо біля насоса), якщо трубопровід не має ухилів більш, як 20°. При цьому тверде осаджується у трубопроводі. При подальшому пуску насоса воно розмивається та транспортується. Робота за такою схемою дозволяє зменшити час, потрібний на зупинку роботи насоса, до 1 ... 2 хвилин.

Не допускається робота насоса, якщо *знос* робочого колеса і броні стає більше визначеної величини. При великому зносі робочого колеса напір пульпи за насосом значно знижується. При великому зносі броні виникає небезпека пошкодження корпусу насоса.

4.4 Спеціальні засоби напірного гідротранспорту

4.4.1 Об'ємні насоси

На відміну від відцентрових насосів, які є гідродинамічними машинами, у **насосах об'ємного типу** перекачування рідини відбувається за рахунок примусової зміни об'єму порожнини, яка заповнюється рідиною. Об'ємний насос, незалежно від конструкції, має три основні елементи:

— **робоча камера** — порожнина у проточній частині насосу, яка заповнюється рідиною, і об'єм якої змінюється;

— **витискувач** — елемент, рух якого змінює об'єм робочої камери;

— **розподільник** — пристрій, що служить для направлення потоку рідини з усмоктувального патрубку до робочої камери, або з робочої камери до нагнітального патрубка.

Основною характеристикою об'ємного насоса є його **робочій об'єм** — сума змін об'ємів робочих камер за один оборот приводного вала.

Теоретична подача визначається як додаток робочого об'єму q та числа оборотів приводного вала за одиницю часу n :

$$Q_T = q n. \quad (4.98)$$

Дійсна подача насоса буде меншою за теоретичну через наявність витоків рідини між порожнинами насоса:

$$Q = Q_T \eta_o = q n \eta_o, \quad (4.99)$$

де η_o — об'ємний коефіцієнт корисної дії насоса.

На відміну від гідродинамічних насосів, в об'ємних тиск у рідині утворюється безпосереднім механічним впливом витискувача, і напряду пов'язаний з моментом на валу насоса. **Теоретичний момент** на приводному валі насоса складає

$$M_T = \frac{p q}{2\pi}, \quad (4.100)$$

де p — тиск, який створюється насосом, тобто різниця абсолютних тисків в усмоктувальному і нагнітальному патрубках.

Дійсний момент на валу приводного двигуна можна визначити, якщо врахувати утрати енергії на механічне та гідравлічне тертя:

$$M = \frac{M_T}{\eta_\Gamma \eta_M} = \frac{p q}{2\pi \eta_\Gamma \eta_M}, \quad (4.101)$$

де η_Γ , η_M — гідравлічний і механічний коефіцієнти корисної дії насоса.

Споживана потужність насоса (потужність на валу)

$$N = 2\pi n M = \frac{p Q}{\eta}, \quad (4.102)$$

де $\eta = \eta_o \eta_r \eta_m$ – повний коефіцієнт корисної дії насоса.

Як видно з (4.98), теоретична подача об'ємного насоса не залежить від тиску. Дійсна подача зі збільшенням тиску зменшується через те, що збільшуються витоки рідини ΔQ . Таким чином, **характеристика** об'ємного насоса являє собою криву, яка зі збільшенням тиску віддаляється від прямої $Q = Q_T$, рис. 4.56. У порівнянні з характеристикою відцентрових насосів така характеристика є **жорсткою** — при коливаннях тиску в мережі подача об'ємних насосів змінюється незначно. Це — одна з переваг об'ємних насосів.

За конструкцією об'ємні насоси бувають поршневими, роторно-поршневими, гвинтовими, пластинчастими, шестеренними та ін. Для перекачування гідросумішей або рідин, забруднених твердими частками найчастіше застосовують поршневі насоси.

Поршневий насос односторонньої дії має наступні основні елементи: циліндр 4, поршень 8, шток поршня 9, робочу камеру 5, всмоктувальний патрубок 7, нагнітальний патрубок 2, всмоктувальний клапан 6, нагнітальний клапан 1, пневмокомпенсатор 3 та кривошипно-шатунний механізм 10, з'єднаний з двигуном, рис. 4.57 а.

При русі поршня 8 насоса зліва направо у робочій камері 5 утвориться розрядження, завдяки якому рідина піднімається по усмоктувальному патрубку 7, відкриває всмоктувальний клапан 6 і надходить у робочу камеру, заповнюючи простір, звільнений поршнем. При зворотному русі поршня тиск у робочій камері зростає, унаслідок чого всмоктувальний клапан закривається, а нагнітальний клапан 1 відкривається, і рідина витискується в нагнітальний патрубок 2. Таким чином, за один оборот вала двигуна, що відповідає подвійному ходу поршня, у насосі відбувається один раз усмоктування й один раз нагнітання.

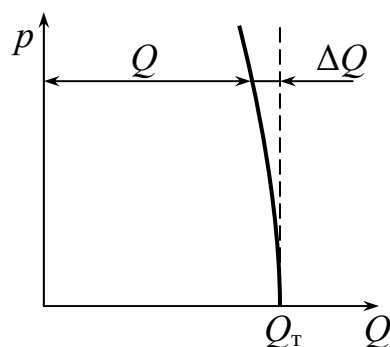


Рисунок 4.56 – Характеристика об'ємного насоса

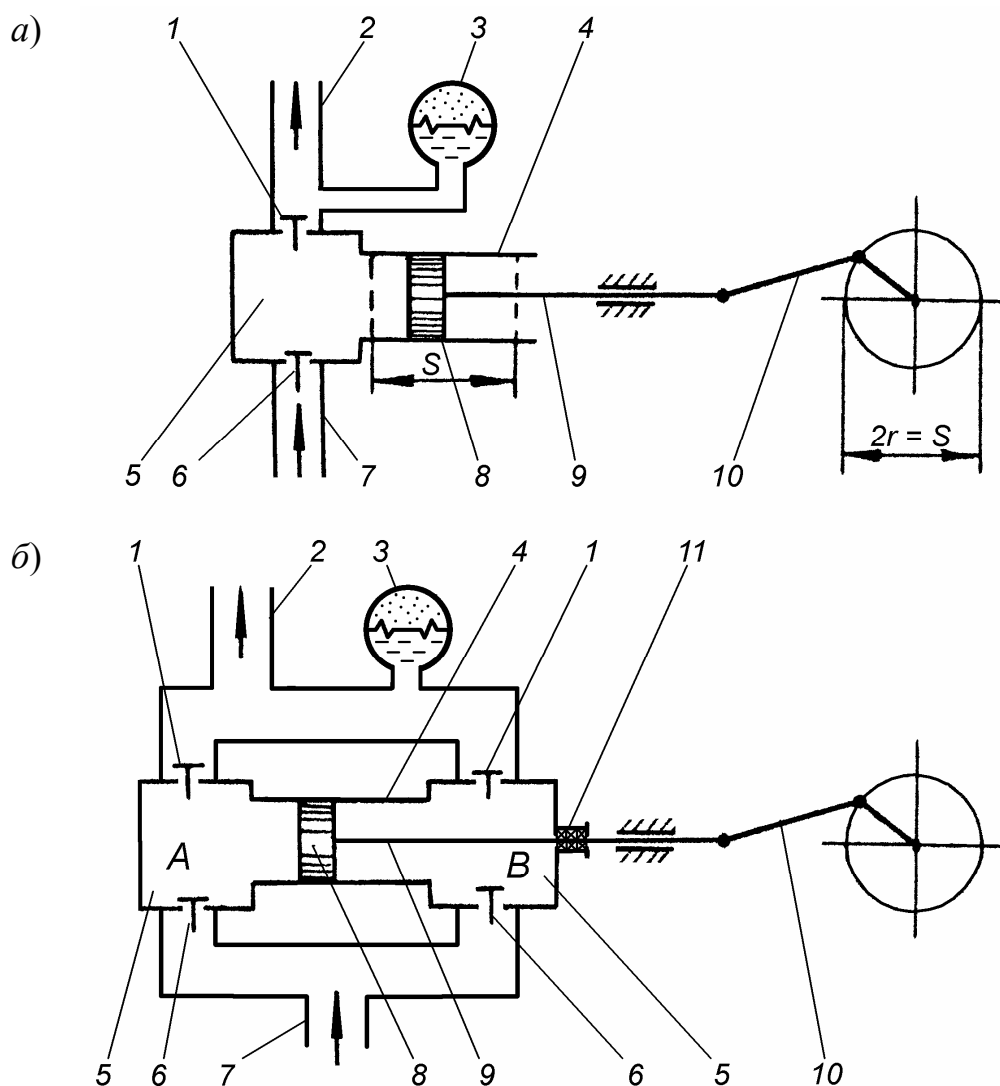


Рисунок 4.57 – Схема поршневого насоса односторонньої (а) та двосторонньої (б) дії: 1 – нагнітальний клапан; 2 – нагнітальний патрубок; 3 – пневмокомпенсатор; 4 – циліндр; 5 – робоча камера; 6 – усмоктувальний клапан; 7 – усмоктувальний патрубок; 8 – поршень; 9 – шток; 10 – кривошипно-шатунний механізм; 11 – сальник

Недолік однопоршневого насоса односторонньої дії — його нерівномірна робота, рис.4.58 а, — максимальна подача у 3,14 рази перевищує середню. При усмоктуванні рідина в мережу не надходить і двигун працює майже без навантаження. На початку циклу нагнітання відбувається різке зростання швидкості потоку рідини у нагнітальному трубопроводі, що через низьку стискальність рідини призводить до явища гідравлічного удару — тиск за насосом стає значно вищим за середній. Для зменшення коливань тиску та подачі поршневих насосів використовується пневматичний компенсатор 3 — камера, розділена гнучкою мембраною на дві порожнини. Нижню з'єдну з напірним патрубком, а верхню заповнено стисненим газом, який амортизує коливання тиску та подачі.

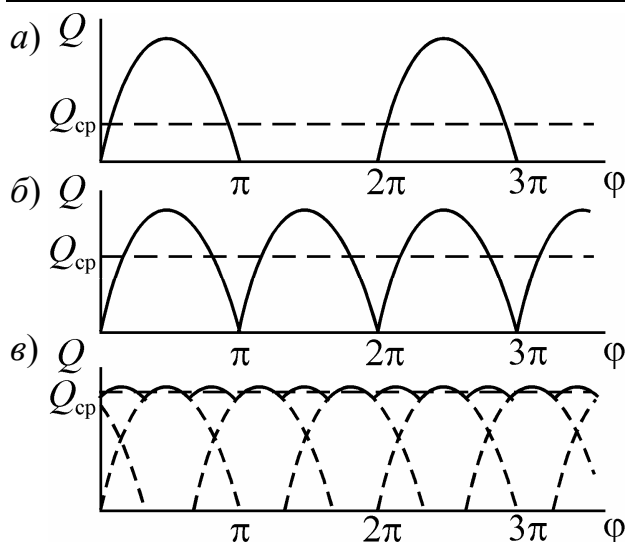


Рисунок 4.58 – Графіки подачі одноциліндрових насосів односторонньої (а) і двосторонньої (б) дії, та трициліндрового насоса (в) у залежності від кута обертання валу φ

Поршневий насос **двосторонньої дії** має дві робочі камери A і B , два усмоктувальних і два нагнітальних клапани, рис. 4.57 б. При русі поршня δ зліва направо рідина під дією розрядження надходить з усмоктувального патрубку 7 у камеру A , одночасно з камери B рідина витискується у нагнітальний патрубок 2. При зворотному ході поршня в камері B буде відбуватися усмоктування, а в камері A нагнітання. Оскільки шток насоса двосторонньої дії проходить крізь робочу камеру, для його ущільнення необхідний сальник 11.

У насосі двосторонньої дії за один оборот вала двигуна відбувається 2 рази усмоктування і 2 рази нагнітання. Це в значній мірі підвищує рівномірність роботи насоса і двигуна, рис. 4.58 б, — максимальна подача перевищує середню у 1,57 рази.

Трициліндровий (триплексний) насос являє собою поєднання трьох насосів односторонньої дії, що приводяться в рух від загального колінчатого вала, кривошипи якого зміщені один від одного на 120° . Такі насоси мають значно більшу рівномірність роботи, ніж насоси однопоршневі одно- та двосторонньої дії — максимальна подача перевищує середню лише у 1,047 рази, рис. 4.58 в. Потужність двигуна в таких насосах використовується більш ефективно, а подача рідини здійснюється майже безупинним потоком. Недолік трициліндрових насосів — їхня громіздкість і мала надійність при роботі на абразивних гідросумішах.

Робочий об'єм поршневих насосів визначається діаметром поршня D , ходом поршня S , який дорівнює двом радіусам кривошипа, та кількістю циліндрів (робочих камер) z :

$$q = \frac{\pi D^2}{4} S z. \quad (4.103)$$

У порівнянні з відцентровими, поршневі насоси мають такі *переваги*:

- можливість створення значного тиску при невеликій подачі;
- жорстка характеристика — з ростом тиску подача насоса залишається практично незмінною;
- здатність самосвмоктування — об'ємні насоси не потребують заливання перед пуском;
- високий к. к. д. у всьому робочому діапазоні.

Недоліки поршневих насосів: значна складність конструкції, особливо багатопоршневих насосів, наявність понижуючої передачі та кривошипно-шатунного механізму, клапанів, що зумовлює нижчу надійність насосів, великі габарити і масу, вібрацію при роботі, ускладнює обслуговування та захист від абразивного зносу при транспортуванні гідросумішей. Крім того, недоліком є нерівномірність подачі та її обмеження — найпотужніші поршневі насоси мають подачу 200...250 м³/год при масі в 25 ... 45 тонн.

У табл. 4.28 надано параметри деяких поршневих насосів для забруднених рідин та гідросумішей: бурових насосів УНБ-600 та УНТБ-950 виробництва ВО “Уралмаш”, ТРК 10½×20" фірми “Вірт” та 355 HSS-3 фірми “Інгерсолл-Ренд”.

Таблиця 4.28 – Технічні характеристики поршневих насосів

Найменування показників	Марка насоса			
	УНБ-600	УНТБ-950	ТРК10½×20"	355 HSS-3
Потужність, кВт	600	950	744	700
Подача, м ³ /год	150	165	250	250
Тиск, МПа	8	19	10	10
Кількість поршнів	2	3	3	3
Тип поршня	двосторонньої дії	односторонньої дії		
Діаметр поршня, мм	180	180	258	270
Хід поршня, мм	400	600	508	355
Частота подвійних ходів поршня, хв ⁻¹	65	62,5	53	80
Маса насоса, кг	25 450	25 500	45 000	—

Елементи проточної частини поршневих насосів, які призначені для перекачування рідин зі значним вмістом твердих часток, мають наступні особливості виконання.

Основним матеріалом для виготовлення **циліндрів** і **корпусів** служить чавун для низько- та середньонапірних насосів, лита або кована сталь — для високонапірних. Циліндри можуть бути виконані як окремо, так і в загальному блоці. Робоча камера повинна мати форму, яка б не допускала утворення повітряних порожнин, тому нагнітальні клапани встановлюються зверху, щоб повітря, яке потрапило в насос, завжди уходило через нагнітальний клапан при циклі нагнітання.

Поршні на великих насосах виготовляються збірними з декількох деталей. Поршні насаджують на поршневі **штоки**, які роблять звичайно з нержавіючих або конструкційних сталей. Для забезпечення щільності посадки і полегшення зйомки поршня при розбиранні насоса застосовується конусне з'єднання поршня зі штоком. Для створення герметичності між стінкою циліндра і поршнем використовують **ущільнення**, яке встановлюють на поршні. Як ущільнювальний елемент застосовують кільця з чавуну, ебоніту, текстоліту, гуми та гумотканини; використовують також манжетні ущільнення зі шкіри, гуми, гумотканини.

Для запобігання витоку рідини з насоса і влучення в нього повітря у місті проходу штоків через корпус насоса застосовують **сальники**. На відміну від сальників відцентрових насосів, які ущільнюють вал, що обертається, шток робить зворотньо-поступові рухи. Крім того, сальники поршневих насосів мають витримувати значно більший тиск, який у деяких насосів становить кілька десятків мегапаскалів.

У залежності від тиску і температури середовища, що перекачується, використовують сальникові набивання з бавовняних тканин, шкіряних манжет, м'якого металу. На рис. 4.59 *a* зображений сальник з м'яким набиванням 5, що складається в нього кільцями. Затягуючи сальник натискним стаканом 3, одержують необхідне ущільнення. У насосах, що перекачують абразивні суміші, застосовують сальники з гідравлічними затворами, що не дозволяють гідросуміші проникати в сальник. Через отвір 6 та водорозподільне кільце 7 з радіальними отворами в сальник підводиться чиста вода з тиском більш високим, ніж максимальний тиск в робочій камері. Вода, рухаючись крізь сальник до робочої камери, запобігає влучанню в

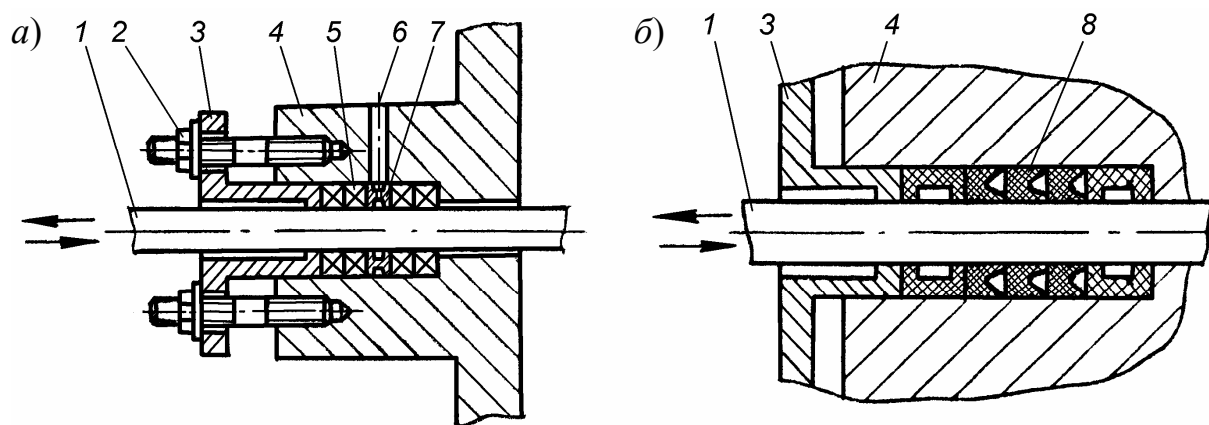


Рисунок 4.59 – Конструкція сальників з м'яким набиванням (а) та з манжетним ущільненням (б): 1 – шток поршня; 2 – шпилька з гайкою; 3 – натискний стакан; 4 – сальникова коробка; 5 – сальникове набивання; 6 – отвір гідравлічного затвору; 7 – водорозподільне кільце; 8 – гумова манжета

нього твердих часток. У високонапірних поршневих насосах застосовують сальники з П-образними гумовими манжетними ущільненнями, які витримують дуже високий тиск, рис. 4.59 б.

Клапани служать для з'єднання робочої камери насоса з усмоктувальною або нагнітальною магістралями, в залежності від тиску в камері. Найбільше поширення в поршневих насосах одержали піднімальні клапани з пружинним навантаженням. Клапан відкривається під дією різниці тисків рідини, а закривається — під дією пружини і ваги запірного елемента.

У великих поршневих насосах найчастіше застосовуються *тарілчасті клапани*, рис. 4.60 а. Основними деталями такого клапана є сідло 1, запірний елемент — клапанна тарілка 2, напрямний стрижень 3, який часто виконується заодно з тарілкою, і пружина 5. Іноді застосовують неметалічні клапани. Для виготовлення тарілок неметалічних клапанів використовують пластичні матеріали — гуму, пластмаси, в залежності від умов роботи, створюваного насосом тиску і рідини, що перекачується. Неметалічний клапан простий у виготовленні й експлуатації.

Для перекачування абразивних гідросумішей у ряді конструкцій використовують *кульові клапани*, рис. 4.60 б, які простіші за конструкцією, дешевші та надійніші у експлуатації. Однак, ці клапани мають значно більші габарити, ніж тарілчасті, й використовуються лише у насосах з невеликою подачею.

Кожен поршневий насос крім робочих клапанів забезпечується *запобіжним клапаном*. Поршневий насос характеризується жорсткою

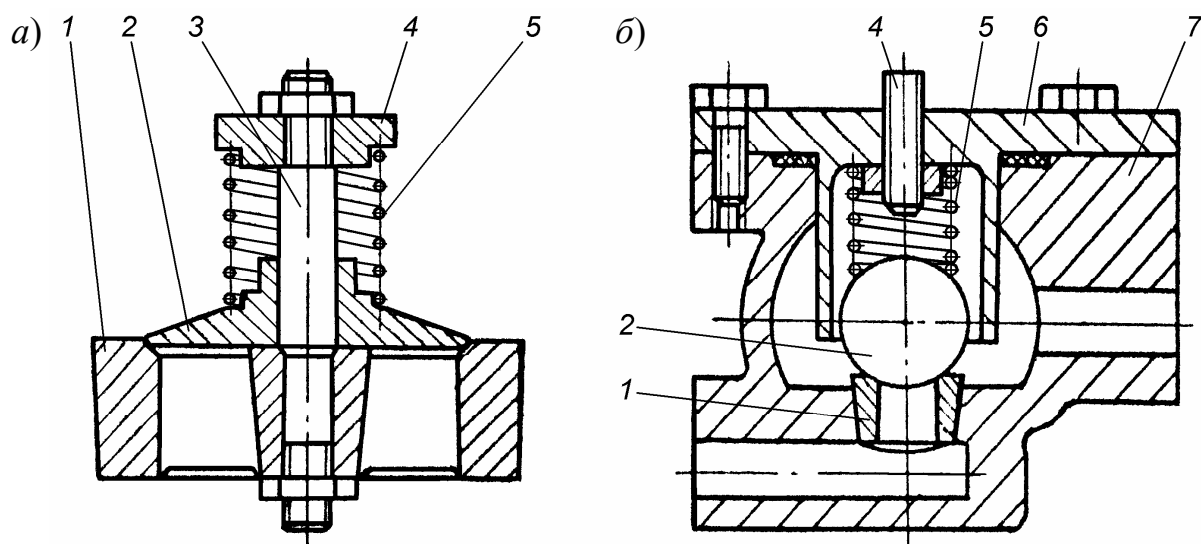


Рисунок 4.60 – Конструкція тарілчастого (а) та кульового (б) клапанів: 1 – сідло; 2 – запірний елемент (тарілка або куля); 3 – напрямний стрижень; 4 – обмежник ходу; 5 – пружина; 6 – кришка; 7 – корпус

напірною характеристикою, тому у випадку перекриття напірного трубопроводу тиск різко зростає і можливий розрив трубопроводу або корпуса насоса. Запобіжний клапан при перевищенні тиску понад граничний автоматично відкривається і перепускає рідину з нагнітальної порожнини насоса в усмоктувальну. Запобіжні клапани в насосних установках мають конструкцію, східну з описаними вище, але пружина у таких клапанах має значно більшу жорсткість і утримує клапан у закритому положенні при нормальному тиску.

У циліндрі поршневого насоса в період усмоктування і нагнітання може сильно коливатися тиск. Головна причина цих коливань — сили інерції рідкого стовпа в усмоктувальному і нагнітальному трубопроводах, які виникають через нерівномірну подачу насоса. Щоб зменшити вплив таких сил, практично усі високопродуктивні насоси забезпечуються гасителями коливань — **пневмокомпенсаторами**.

У залежності від потреби пневмокомпенсатори встановлюють у безпосередній близькості від насоса як на нагнітальному, так і на усмоктувальному трубопроводах. Пневмокомпенсатор, рис. 4.61, складається з корпуса 4 і кришки 3, між якими затискується гумова діафрагма 6. Пневмокомпенсатор кріпиться до фланця 8 через змінне сідло 7 за допомогою шпильок 9. Фланець через трійник з'єднується з нагнітальним або всмоктувальним патрубком насоса. У діафрагмі завулканізований металевий сердечник, на якому встановлюється стабілізатор 5, призначений для центрування діафрагми в момент

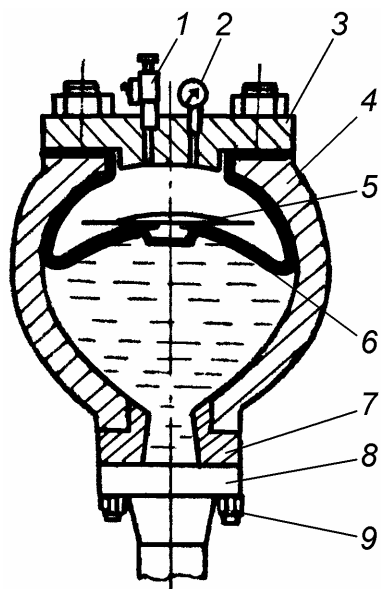


Рисунок 4.61 – Пневмокомпенсатор:
 1 – вентиль; 2 – манометр; 3 – кришка;
 4 – корпус; 5 – стабілізатор; 6 – гумова
 діафрагма; 7 – сидло; 8 – фланець;
 9 – шпильки

опускання її на сидло при зупинці насоса і перед його запуском. На кришці пневмокомпенсатора встановлюється вентиль 1, який служить для накачування газу в пневмокомпенсатор, і манометр 2 — для контролю тиску.

При роботі насоса рідина, проходячи через трійник під тиском, більшим, ніж тиск газу в пневмокомпенсаторі, віджимає гумову діафрагму від сидла і попадає в нижню частину корпуса, стискаючи газ доти, доки його тиск не буде дорівнювати тиску рідини. Якщо ж тиск у трубопроводі зменшиться, газ розшириться і виштовхне частину рідини у трубопровід. У моменти, коли миттєва подача насоса стає менше середньої, рідина з пневмокомпенсатора подається в нагнітальний трубопровід за рахунок розширення газу, а при збільшенні подачі насоса понад середню відбувається поглинання рідини. У такий спосіб вирівнюється нерівномірність подачі насоса.

Розглянемо конструкцію насоса УНБ-600. Поршневий двоциліндровий буровий насос горизонтального типу УНБ-600 призначений для подачі в свердловину суміші води з глиною у максимальній кількості 150 м³/год та з максимальним тиском 10 МПа, див. табл. 4.28. Позначення насоса означає: У — виробництва ВО “Уралмаш”; Н — насос; Б — буровий; зі споживаною потужністю 600 кВт.

За своїм функціональним призначенням насос поділяється на наступні складові частини: гідравлічну (циліндри, поршні, робочі камери, всмоктувальні та нагнітальні клапани, колектори), приводну (станина, кривошипно-шатунний механізм, трансмісійний вал), систему змащення й охолодження штоків, раму 1, пневмокомпенсатор 8 і шків 12, рис. 4.62.

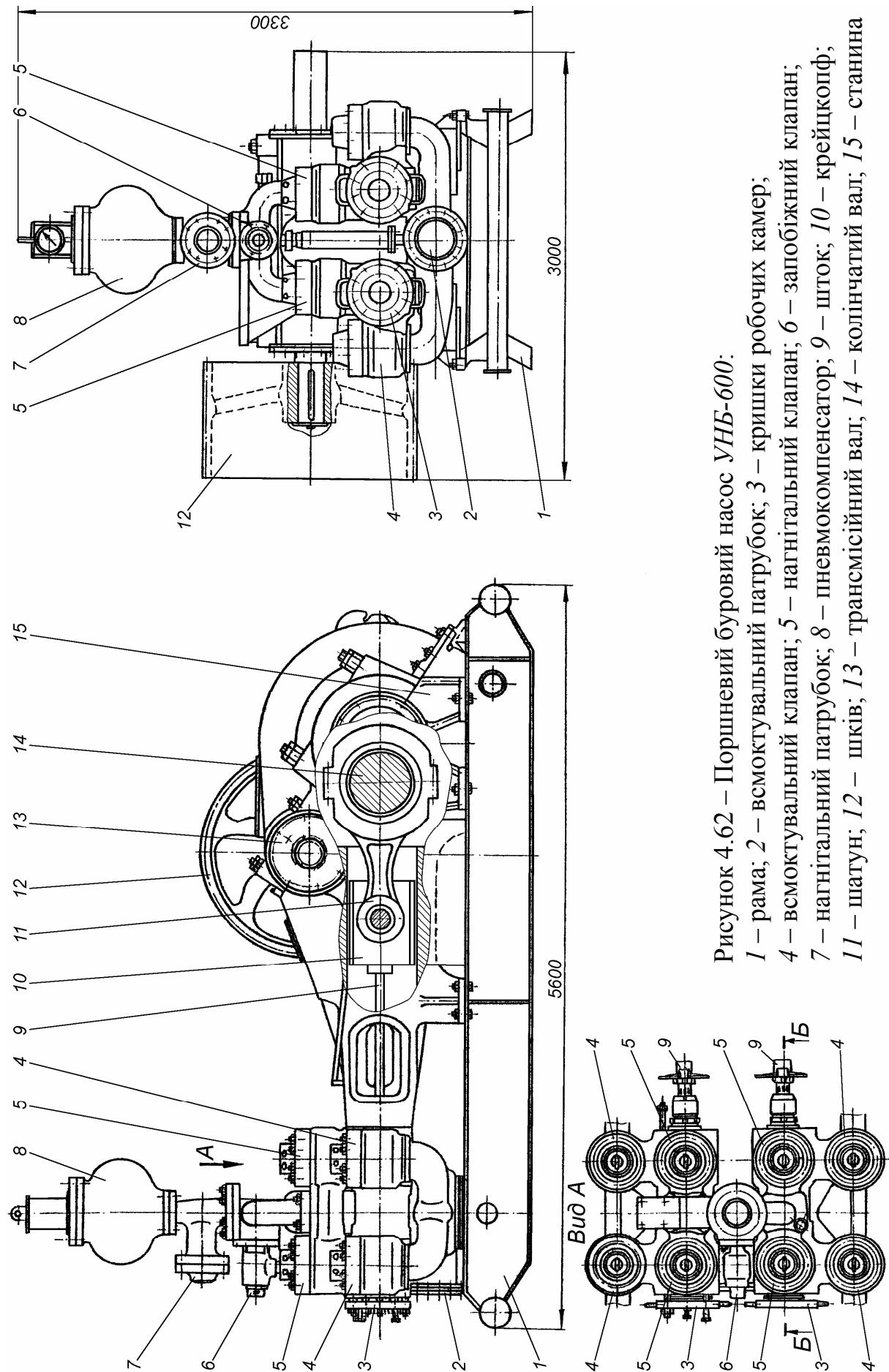
Приводна частина насоса призначена для перетворення обертового руху вала в зворотно-поступальний рух поршнів і складається з литої чавунної станини 15, трансмісійного 13 і колінчатого 14 валів, шатунів 11 і крейцкопфів 10. На трансмісійному валі 13 закріплений шків 12, який приводиться у обертання електродвигуном через клино-ремінну передачу. Колінчатий вал 14 з'єднаний з трансмісійним через пару зубчастих коліс, яка понижує частоту обертання до 65 об/хв.

Колінчатий вал 14 має два ексцентричні коліна, розвернуті одне від одного на кут 90° , що забезпечує більш-менш рівномірну подачу насосу завдяки почерговій роботі поршнів. Шатуни 11, що своїми голівками з'єднані з колінами колінчатого вала, приводять у зворотно-поступовий рух крейцкопфи 10 — деталі, що ковзають у напрямних, і до яких приєднано штоки 9. Ексцентриситет колін колінчатого вала складає 200 мм, що забезпечує хід поршнів, який дорівнює 400 мм. Змащення пар тертя шатунів по шийках колінчатого вала та крейцкопфів по напрямним — примусове, від спеціального насосу.

Гідравлічна частина насосу, рис. 4.63, складається з двох литих гідрокоробок, кожна з яких має дві порожнини — робочу і порожнину нагнітання. У робочій порожнині встановлена гільза 14, в якій рухається поршень 4. Поршень розділяє порожнину на дві робочі камери: передню 3 та задню 13, які відокремлено від порожнини нагнітання тарілчастими клапанами 5 та 10. Швидкоз'ємні кришки 6 та 9 дозволяють легко замінити зношені клапани.

Ущільнення поршнів здійснюється гумовими манжетами, які самоущільнюються під дією тиску рідини. У насосі передбачено можливість встановлення гільз і поршнів різного діаметру для регулювання подачі насосу. Максимальний діаметр дорівнює 200 мм. Передня робоча камера закрита кришкою 2. Задня робоча камера має сальник 11 з бавовняним набиванням для ущільнення місця виходу штока 12. Понизу гідрокоробок знаходиться усмоктувальний патрубок 1, з'єднаний з прийомною коробкою, у якій встановлено чотири всмоктувальні клапани, за конструкцією аналогічні нагнітальним. Вхідні отвори у робочих камерах знаходяться збоку і на рис. 4.62 не показані.

Нагнітальні порожнини обох гідрокоробок з'єднані між собою зверху колектором 8, на якому встановлюється запобіжний клапан 7 і сферичний пневмокомпенсатор. Усередині корпусу запобіжного клапана встановлена латунна мембрана товщиною 0,6...0,1 мм (залежно



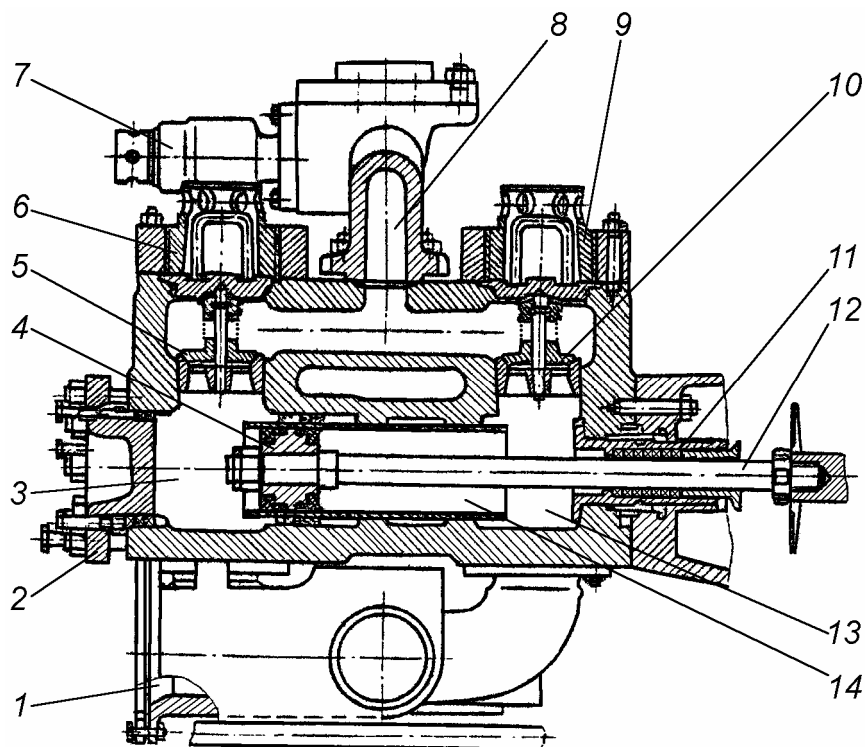


Рисунок 4.63 – Гідравлічна частина насосу УНБ-600 (перетин Б-Б, рис. 4.60):
 1 – всмоктувальний патрубок; 2 – кришка робочої камери; 3, 13 – передня та задня робочі камери; 4 – поршень; 5, 10 – нагнітальні клапани передньої та задньої камер; 6, 9 – кришки нагнітальних клапанів; 7 – запобіжний клапан; 8 – нагнітальний колектор; 11 – сальник; 12 – шток; 14 – гільза циліндра

від робочого тиску в системі), яка зрізується при перевищенні робочого тиску, і вода з нагнітального колектора скидається до прийомної коробки. Пневмокомпенсатор ПК-70-25, призначений для зменшення коливань тиску, має конструкцію, яку показано на рис. 4.61. З колектору вода поступає у нагнітальний патрубок і далі — в трубопровід.

Поршневі насоси, подібні до описаного вище, здатні перекачувати суміш води з *низькоабразивними* матеріалами, наприклад, глиною. У першу чергу, це пов'язано зі складнощами захисту від абразивного зносу таких елементів гідравлічної частини насоса, як ущільнення поршнів та клапани. Для гідротранспорту більш абразивних матеріалів застосовуються спеціальні об'ємні насоси — плунжерні з промиванням або поршневі з розділювальним пристроєм. Критерієм для раціонального використання насоса головним чином є абразивність середовища, що перекачується, робочий тиск і величина твердих часток.

Найбільш розповсюджені і добре зарекомендували себе при перекачуванні абразивних матеріалів **мембранно-поршневі насоси**. Вони застосовуються для гідротранспорту залізної руди, бокситів, глиняних розчинів, піску. При цьому середовище, що транспортується, відокремлюється механічною мембраною і проміжним середовищем від зіткнення з поршнями й ущільненнями, тобто поршні, поршневі штоки і циліндрові втулки захищені від швидкого зносу, а в потоці пульпи залишаються тільки клапани.

Звичайно ці насоси бувають *двопоршневі двосторонньої дії* і *трипоршневі односторонньої дії*. Конструктивно схеми гідроблоків насосів однакові, рис. 4.64 *а* і *б*. Зворотно-поступальний рух, чинений поршнем 11, передається на розділювальне середовище (звичайно це машинна олія), яке у свою чергу змушує рухатися мембрану 6. Еластична мембрана 6 надає руху гідросуміші, яка знаходиться в робочій порожнині 7 між усмоктувальним 8 та нагнітальним 1 клапанами. У такий спосіб пульпа переміщається з усмоктувальної магістралі 9 в нагнітальну 1. Контроль кількості розділювального середовища в порожнині 4 здійснюється за допомогою датчиків положення мембрани 5.

Недоліки поршневих насосів з розділювальними мембранами — ускладнення конструкції й обслуговування насоса, поява нового елемента, що зношується — мембрани, збільшення маси і габаритних розмірів насоса.

Найбільш поширеними нині є мембранно-поршневі насоси фірм “Гехо” (Голландія) і “Вірт” (Германія). Фірма “Гехо” випускає мембранні двопоршневі насоси двосторонньої дії серії *ZPM*, табл. 4.29.

Таблиця 4.29 – Параметри насосів серії *ZPM* фірми “Гехо”

Найменування показників	Марка насоса									
	<i>ZPM-250</i>	<i>ZPM-300</i>	<i>ZPM-400</i>	<i>ZPM-500</i>	<i>ZPM-600</i>	<i>ZPM-700</i>	<i>ZPM-800</i>	<i>ZPM-1000</i>	<i>ZPM-1500</i>	<i>ZPM-1800</i>
Потужність, кВт	18,5	18,5	30	75	100	200	400	740	900	1100
Подача, м ³ /год	25	35	50	70	115	115	115	180	200	350
Тиск, МПа	1,6	1,1	1,6	2,5	2,0	4,0	8,0	10,0	12,0	7,5

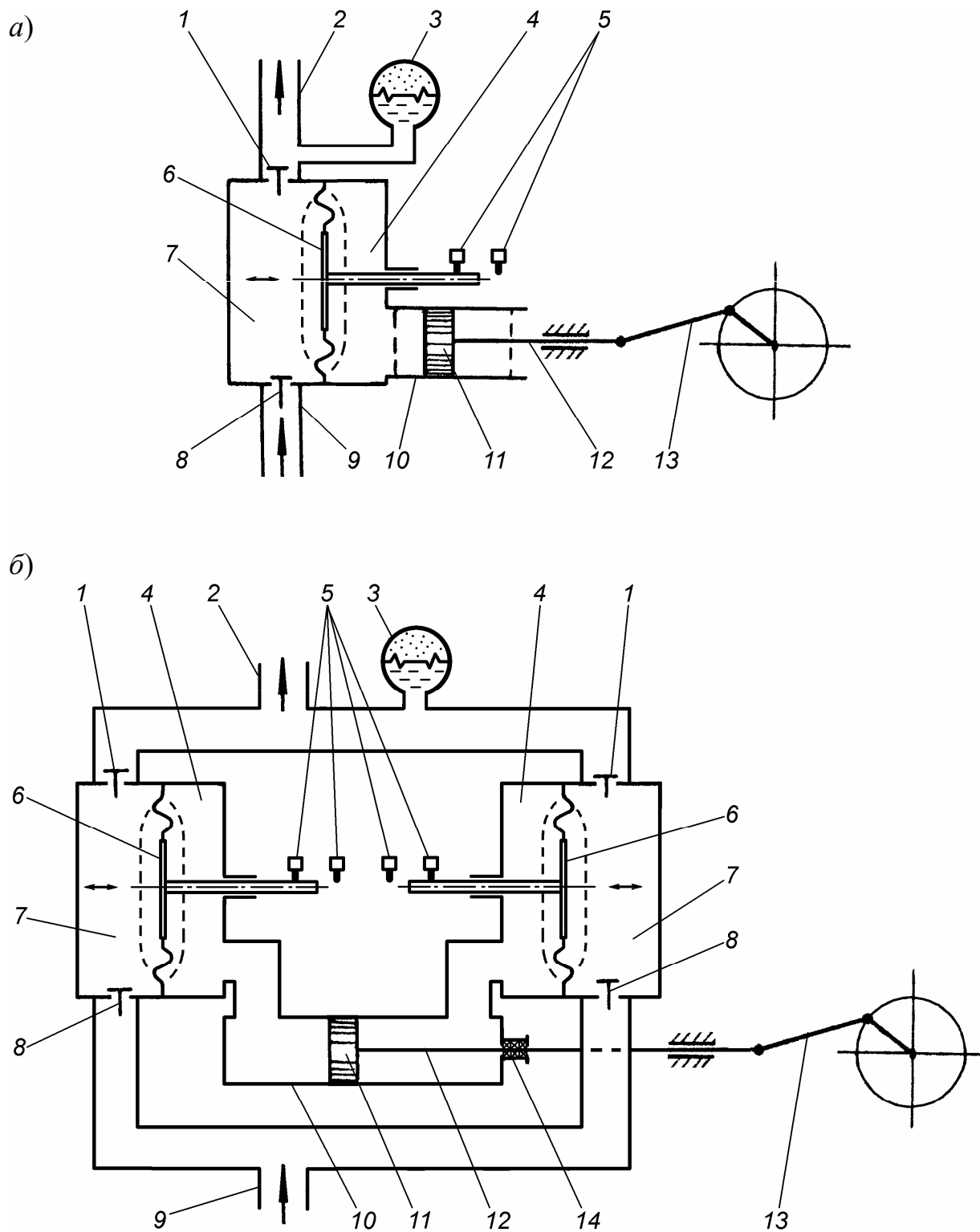


Рисунок 4.64 – Схема мембранно-поршневого насоса односторонньої (а) та двосторонньої (б) дії: 1 – нагнітальний клапан; 2 – нагнітальний патрубок; 3 – пневмокомпенсатор; 4 – камера з розділювальною середою; 5 – датчики положення мембрани; 6 – мембрана; 7 – робоча камера; 8 – всмоктувальний клапан; 9 – всмоктувальний патрубок; 10 – циліндр; 11 – поршень; 12 – шток; 13 – кривошипно-шатунний механізм; 14 – сальник

Плунжерні насоси відносяться до об'ємних машин односторонньої дії. Схема їхньої роботи така ж, як у трициліндрових поршневих насосів одnobічної дії. Основні переваги плунжерних насосів — можливість роботи на високих тисках (10 МПа і більше), простота конструкції, відносно низька вартість, зручність експлуатації, а також простота захисту від абразивного зносу. Конструктивно плунжерні насоси виконуються з приводом від кривошипно-шатунного механізму.

Плунжерний насос, рис. 4.65, на відміну від поршневого, у якості рухомого елемента має плунжер *1* — гладкий металічний стрижень. Він, рухаючись вперед та назад, змінює об'єм робочої камери *9*. Завдяки цьому рідина поступає у робочу камеру зі всмоктувального патрубку *11* через клапан *10* або витискується у напірний патрубок *6* через клапан *8*. Головна перевага плунжера перед поршнем — простота ущільнення, яке здійснюється аналогічно ущільненню штоків поршневих насосів — за допомогою сальника *3*. Для захисту ущільнення та плунжера від абразивних часток у порожнину *4* через отвір *12* подається чиста вода під тиском, що перевищує тиск рідини у робочій камері. Чиста вода через зазор між втулкою та плунжером у невеликій кількості поступає у робочу камеру і промиває цей зазор, запобігаючи влучанню в нього твердих часток.

Плунжерні насоси для транспортування твердих матеріалів працюють у залежності від середовища, що транспортується, з частотою ходів 80 ... 120 хв⁻¹. Для підвищення подачі плунжерних насосів збільшують кількість плунжерів в одному агрегаті (до семи). Однак через багатоциліндрове виконання збільшується кількість швидкозношуваних деталей.

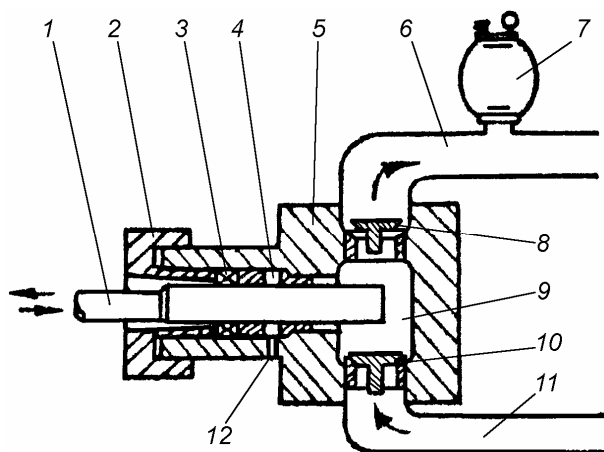


Рисунок 4.65 – Схема плунжерного насоса: *1* – плунжер; *2* – кришка сальника; *3* – ущільнення; *4* – гідрозатвор; *5* – корпус; *6* – напірний патрубок; *7* – пневмокомпенсатор; *8* – нагнітальний клапан; *9* – робоча камера; *10* – всмоктувальний клапан; *11* – всмоктувальний патрубок; *12* – отвір подачі промивної води

Гідротранспортування твердих матеріалів не є основною областю застосування плунжерних насосів, але, з огляду на низьку вартість (у порівнянні з мембранно-поршневыми), вони застосовуються при гідротранспортуванні високоабразивних матеріалів, наприклад поліметалевих шламів. У плунжерному насосі інтенсивному зносу піддається ущільнення й у меншому ступені — корпус плунжера. Окрім того, у плунжерних насосах, які використовуються для гідротранспорту, передбачено систему промивання плунжера, що запобігає зіткненню поверхні плунжера з середовищем, що транспортується. Усе це підвищує їхню конкурентоспроможність стосовно інших типів насосів.

Плунжерні насоси загальнопромислового застосування випускають різні фірми. Для гідротранспорту найбільш відомі насоси фірм “Вірт” (Германія) і “Інгерсолл-Ренд” (США). Фірма “Вірт” випускає плунжерні насоси, в основу конструкції яких закладені розробки тріплексних поршневих насосів серії *ТРК*.

Фірма “Інгерсолл-Ренд” випускає плунжерні насоси “*Олдріч*” потужністю 37 ... 3700 кВт. Серія насосів з довжиною ходу 178 мм випускається в різних модифікаціях: триплунжерні потужністю до 447 кВт, п’ятиплунжерні — до 746 кВт, семиплунжерні — до 1044 кВт, і більш потужні — дев’ятиплунжерні. Конструктивно насоси виконують з вертикальним розташуванням плунжерів, що дозволяє забезпечити більш рівномірний знос ущільнень плунжера. Для зниження зносу ущільнення промиваються водою.

Гвинтові насоси призначені для перекачування води, забрудненої піском, мулом, частками вугілля і породи, й використовуються на місцевому водовідливі при проходженні горизонтальних виробок і ухилів, а також для очищення водозбірників та відстійників від шламу. На шахтах застосовуються гвинтові насоси трьох типорозмірів: ***1В6/5***, ***1В20/5*** та ***1В20/10*** (*1В* — одногвинтовий, чисельник — подача в л за 100 обертів вала, знаменник — тиск у МПа.), табл. 4.30.

Основними частинами гвинтового насоса типу *1В*, рис. 4.66, є сталева обойма 3, гумовий статор 4, порожній сталевий ротор 5 і карданний вал 6. У статорі, що представляє собою гумовий циліндр з порожниною у вигляді двозаходної спіралі, планетарно обертається ротор — однозаходний гвинт з кроком, удвічі меншим кроку спіралі статора. Між ротором і статором виникають замкнені порожнини, які рухаються від одного кінця статора до іншого і переносять порції рідини. Завдяки цьому з однієї сторони статора утворюється розрід-

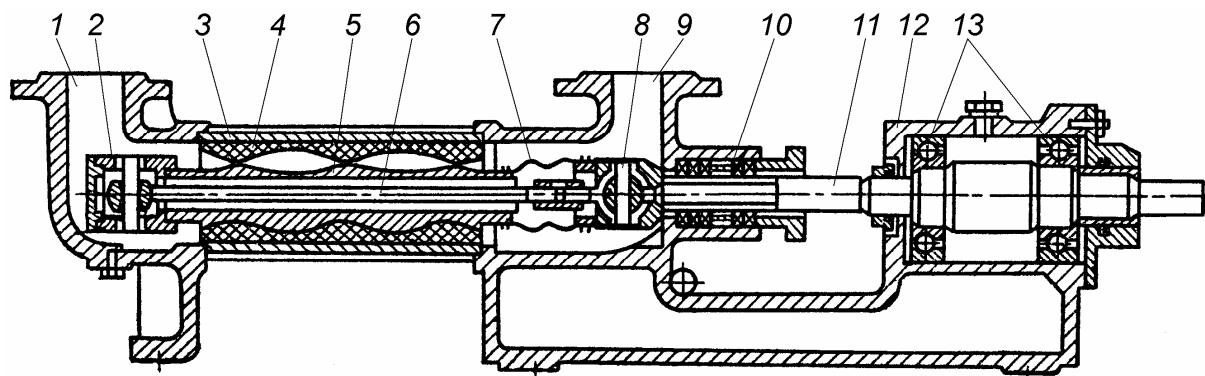


Рисунок 4.66 – Гвинтовий насос типу 1В: 1 – усмоктувальний патрубок; 2, 8 – кульові шарніри; 3 – обойма; 4 – гумовий статор; 5 – гвинтовий ротор; 6 – карданний вал; 7 – гумовий сільфон; 9 – нагнітальний патрубок; 10 – сальник; 11 – приводний вал; 12 – станина; 13 – радіально-упорні шарикопідшипники

ження і відбувається усмоктування води з патрубку 1, а через патрубок 9 вода нагнітається в трубопровід.

Карданний вал 6 з'єднується за допомогою приводного вала 11 і пружної муфти з валом двигуна. Вал 6, оснащений кульовими шарнірами 2 та 8, дозволяє ротору 5 виконувати планетарне обертання в статорі. Шарнір 8 захищений від піску і бруду гумовим сільфоном 7. Ущільнення вала забезпечується сальником 10. Вал 7 розташований в двох радіально-упорних шарикопідшипниках 13, що знаходяться в гніздах станини 12.

Завдяки гумовому статору насос може перекачувати забруднену воду. Вода в просторі, що переміщується, служить змащенням між ротором і статором. *Не можна* пускати насос, не заповнений водою, оскільки статор вийде з ладу.

Таблиця 4.30 – Технічні характеристики гвинтових насосів

Найменування показників	Тип насоса		
	1В6/5	1В20/5	1В20/10
Подача, м ³ /год	6	17	17
Тиск, МПа	0,5	0,5	1,0
Частота обертання вала, хв ⁻¹	1420	1440	1470
К. к. д	0,48	0,64	0,60
Припустима вакууметрична висота всмоктування, м	6,0	6,0	6,0
Потужність привода, кВт	1,8	3,5	7,2
Маса насоса, кг	130	206	240

4.4.2 Струминні насоси (гідроелеватори)

У деяких випадках для гідротранспорту гірської маси використовують **струминні насоси (гідроелеватори)**, у яких перекачування гідросуміші здійснюється за рахунок енергії струменя води.

Гідроелеватор є найпростішим і найдешевшим пристроєм для здійснення напірного гідротранспорту. Він може бути виготовлений в умовах майстерні безпосередньо на шахті або кар'єрі. Гідроелеватор не має ніяких механізмів і частин, що рухаються, тому є вельми надійним пристроєм. Знос гідроелеватора абразивною гідросумішшю менший, ніж відцентрового насоса. Гідроелеватор не потребує заливання, однаково ефективно усмоктує і рідину, і повітря, може відкачувати насухо. Недоліками гідроелеватора є низький к. к. д., який не перевищує 30 %, велика витрата води і малий напір.

Гідроелеватор може застосовуватися як самостійний засіб гідротранспорту, а може використовуватися як бустерний насос у сполученні з відцентровим. В останньому випадку гідроелеватор створює надлишковий тиск на вході в насос, що покращує умови всмоктування рідини насосом, дозволяє забезпечити більшу продуктивність насоса, підвищити концентрацію гідросуміші, усмоктувати гідросуміш з більшої глибини або відстані.

Принцип дії гідроелеватора наступний. Робоча вода надходить у гідроелеватор, рис. 4.67, через патрубок 2 до насадки 4. З насадки вода виходить у камеру змішування 6 струменем великої швидкості, унаслідок чого в камері змішування і приймальній камері 3 утворюється низький тиск. Через різницю тисків рідина з усмоктувального патрубку 1 рухається в приймальну камеру. Обидва потоки рідини: робочої і тієї, що транспортується, надходять у камеру змішування 6, де відбувається передача частини кінетичної енергії від робочого потоку до потоку, що транспортується. Пройшовши через камеру змішування, сумарний потік через дифузор 7 надходить у нагнітальний трубопровід. У дифузорі швидкість потоку зменшується, і швидкісний напір перетворюється на статичний. Тиск рідини зростає.

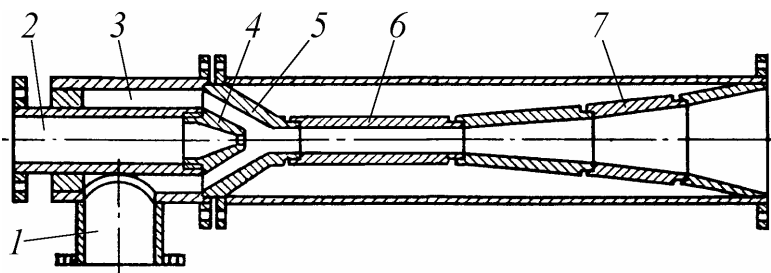


Рисунок 4.67 – Гідроелеватор:
1 – усмоктувальний патрубок;
2 – патрубок подачі робочої води; 3 – приймальна камера;
4 – насадка; 5 – конфузор;
6 – камера змішування;
7 – дифузор

Геометричні розміри гідроелеватора та його робочій режим характеризуються наступними параметрами: діаметрами насадки d_n і камери змішування d_k , напором H_1 і витратою Q_1 робочої води, **подачею гідроелеватора** (витратою рідини, яка перекачується) Q_2 і **напором гідроелеватора** H_2 (різницею повних напорів на виході з дифузора й в усмоктувальному патрубку).

Напірною характеристикою гідроелеватора називають залежність $H_2 = f(Q_2)$. Графічно напірна характеристика гідроелеватора представляє пряму лінію, рис. 4.68 а, положення і кут нахилу якої визначаються вказаними вище параметрами, а також досконалістю проточної частини гідроелеватора. Найбільше значення має напір робочої води H_1 , оскільки дроселюванням потоку робочої води здійснюється регулювання робочого режиму гідроелеватора. Лінійна залежність зберігається, доки при деякому значенні $Q_{2\max}$ тиск в усмоктувальному патрубку не знижується настільки, що виникає **кавітація**. Напір гідроелеватора при цьому різко спадає.

Параметри і характеристики гідроелеваторів можна представити в *безрозмірному* виді. Тоді вони будуть однаковими для подібних пристроїв.

Геометрична подоба характеризується **модулем**:

$$m = \frac{F_k}{F_n} = \left(\frac{d_k}{d_n} \right)^2, \quad (4.104)$$

де F_k і F_n – площі перетину камери змішування і отвору насадки.

Режим роботи гідроелеватора характеризують параметри: **коефіцієнт подачі** β та **коефіцієнт напору** k :

$$\beta = \frac{Q_2}{Q_1}, \quad k = \frac{H_2}{H_1}. \quad (4.105)$$

Коефіцієнт корисної дії гідроелеватора у випадку, коли робоча рідина і рідина, що транспортується, мають однакову щільність, складає

$$\eta = \frac{Q_2 H_2}{Q_1 H_1} = \beta k. \quad (4.106)$$

Вигляд **безрозмірних характеристик** $k = f(\beta)$ і $\eta = f(\beta)$ гідроелеватора залежить від модуля m і досконалості геометрії проточної частини, рис. 4.68 б. Характеристика $k = f(\beta)$, як і $H_2 = f(Q_2)$ є прямою лінією (до моменту виникнення кавітації).

Експериментами встановлена залежність між модулем і оптимальним коефіцієнтом напору, тобто таким, що забезпечує роботу гідроелеватора у режимах з максимальним значенням коефіцієнта корисної дії:

$$k_{\text{опт}} = \frac{0,855}{m} + 0,017. \quad (4.107)$$

Графічно цю залежність представлено на рис. 4.69, де також приведено експериментальний графік залежності оптимальної відносної довжини камери змішування від модуля:

$$\bar{l}_{\text{к опт}} = 7,95 - 0,075m. \quad (4.108)$$

Відносна довжина камери змішування є безрозмірним параметром — відношенням довжини камери змішування $l_{\text{к}}$ до її діаметру:

$$\bar{l}_{\text{к}} = \frac{l_{\text{к}}}{d_{\text{к}}}. \quad (4.109)$$

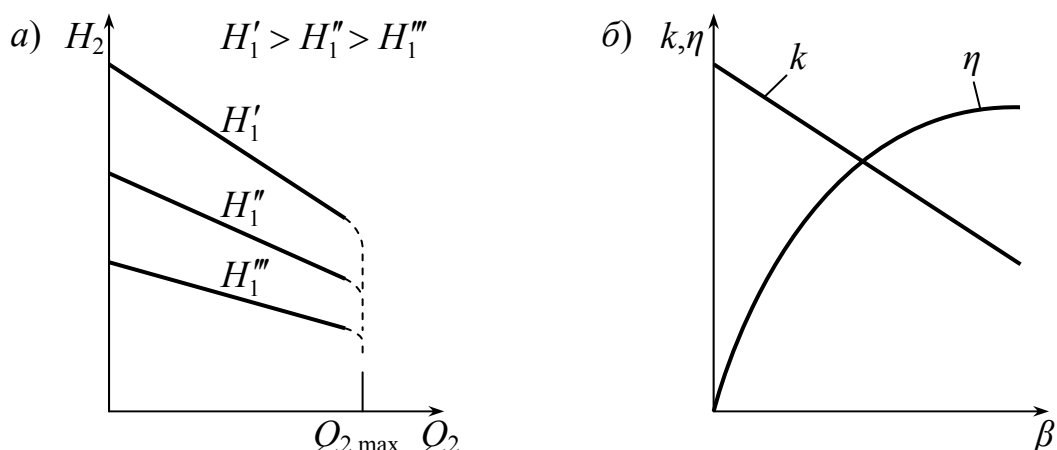


Рисунок 4.68 – Напірні (а) та безрозмірні (б) характеристики гідроелеватора

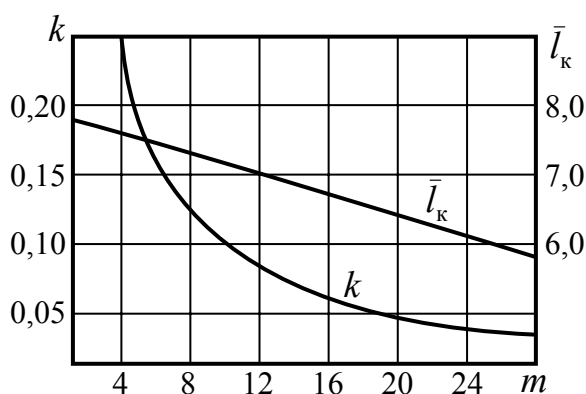


Рисунок 4.69 – Експериментальні залежності оптимальних значень коефіцієнта напору і відносної довжини камери змішування від модуля гідроелеватора

Вихідними даними для розрахунку гідроелеватора є: необхідні подача Q_2 та напір H_2 , напір робочої рідини H_1 , який зазвичай зумовлений напором насоса-живильника, геометрична висота усмоктування H_r і опір усмоктувальної труби a_y . Якщо гідроелеватор призначений для перекачування гідросуміші, то його подача повинна бути не менше критичної з умови транспортування твердого матеріалу, див. п. 4.2.

Порядок розрахунку гідроелеватора наступний.

Визначається значення коефіцієнта напору: $k = H_2 / H_1$.

Використовуючи експериментальну залежність, рис. 4.69, для знайденого коефіцієнта напору визначаємо модуль m і знаходимо діаметр камери змішування, при якому можливо забезпечити подачу Q_2 в докавітаційному режимі:

$$d_k > d_{k \min} = \sqrt{\frac{0,293 Q_2}{\left(1 - \frac{1}{m}\right) \sqrt{\frac{p_a - p_{н.п}}{\rho g} - H_r - a Q_2^2}}}, \quad (4.110)$$

де p_a і $p_{н.п}$ — відповідно атмосферний тиск і тиск насиченої пари рідини. Вираз під коренем у знаменнику становить різницю між максимально допустимою і дійсною вакуумметричними висотами усмоктування, і по суті є аналогом кавітаційного запасу.

Визначається діаметр насадки і витрата робочої води:

$$d_n = d_k \frac{1}{\sqrt{m}}; \quad (4.111)$$

$$Q_1 = \mu_n \frac{\pi d_n^2}{4} \sqrt{2gH_1}, \quad (4.112)$$

де $\mu_n = 0,90 \dots 0,93$ — коефіцієнт витрати насадка.

За відповідним графіком на рис. 4.69 визначається оптимальне значення відносної довжини камери змішування і розраховується дійсна довжина камери:

$$l_k = \bar{l}_k d_k. \quad (4.113)$$

Площі перетинів усмоктувального патрубку 1, патрубка 2 для підведення робочої води до насадку, прийомної камери 3, а також вихідного перетину дифузора 7 повинні бути такими, щоб швидкості руху потоків рідин були приблизно однаковими і дорівнювали 1,5 ... 1,8 м/с.

4.4.3 Ерліфти

У багатьох схемах гідротранспорту є вертикальні чи похилі ділянки, наприклад, підйом корисних копалин з підземних вироблень або зі дна водоймищ, морів і океанів, підйом шламу при очищенні підземних ємностей, створення необхідного гідравлічного ухилу для безнапірного транспорту гідросумішей у відвали та ін. Для підйому води і гідросумішей цілком ефективними є **ерліфти**, у яких використовується енергія стисненого повітря. Ерліфти являють собою систему трубопроводів без будь-яких деталей, що рухаються. Це забезпечує високу надійність, довговічність, простоту експлуатації, і, в сполученні з властивістю самонастроювання, дозволяє створити систему автоматичного керування ерліфтами.

У якості *головного шахтного гідропідйому* потужні ерліфтні установки застосовані на гідрошахтах “Червоноармійська №2” (м. Білозерськ Донецької обл.) та ім. 50-річчя СРСР (м. Краснодон Луганської обл.). На гідрошахті “Червоноармійська №2” одноступінчаста ерліфтна установка при висоті підйому 460 м мала подачу по пульпі 3200 м³/год, а по твердому — 700 т/год, див. рис. 1.21. П’ятиступінчастий ерліфтний підйом гідрошахти ім. 50-річчя СРСР забезпечував подачу по пульпі і по твердому відповідно 1800 м³/год і 400 т/год. при висоті підйому гідросуміші 725 м. Виконуючи одночасно функцію установки для підйому гірничої маси і водовідливної установки, ерліфти разом з іншими засобами гідротранспорту (самопливним та вуглесосним) забезпечили зниження на 25 ... 35 % вартості транспорту вугілля від вибою до збагачувальної фабрики та суттєве зменшення простоїв очисних вибоїв з вини транспорту. Останні склали близько 0,8 %, тоді як на шахтах зі звичайними засобами транспорту простої складають 12 ... 25 %. Це підтверджує високу надійність гідротранспорту взагалі і зокрема ерліфтного гідропідйому.

Також в гірничодобувній промисловості ерліфти використовуються на головній і допоміжній водовідливних установках, для чищення шахтних ємностей (зумпфів, колодязів). За допомогою ерліфтів добувають корисні копалини зі дна затоплених кар’єрів, озер, морів та океанів. Ерліфтно-земснарядні комплекси дозволяють вести видобуток з глибини до 100 м і більше. Застосовуються ерліфти на ряді підприємств будівельної промисловості — для підйому піску, гравію та ін.; металургійної — для підйому шлаку, окалини; хімічної — для транспортування агресивних рідин.

До недоліків ерліфтів слід віднести низький к. к. д. установки (зіичайно, не більше 30 %), неможливість транспортування рідини по горизонтальним ділянкам і потребу в значній глибині резервуару, з якого ведеться відкачування, для забезпечення необхідного занурення змішувача ерліфта. Потужні ерліфти потребують дуже великих обсягів стисненого повітря. Так, ерліфтна установка шахти “Червоно-армійська №2” живилась повітрям від компресорної станції з 10-ма турбокомпресорами *K-500-61-1*, кожний з яких мав подачу $500 \text{ м}^3/\text{хв}$ і приводився у рух електродвигуном потужністю 4000 кВт.

За принципом дії ерліфти відносяться до *динамічних насосів тертя*. У них гідросуміш піднімається під дією сил, що виникають при відносному русі газу (повітря) і гідросуміші. Переміщення суміші повітря і пульпи — *аерогідросуміші*, — відбувається за рахунок різниці потужностей потоку повітря, що вводиться в ерліфт, і суміші, що виходить з нього.

Гідродинамічні і термодинамічні процеси, що мають місце при ерліфтному гідропідйомі твердих матеріалів трифазним потоком, є вельми складними. Строгої теорії, яка б описувала ці процеси, дотепер не розроблено. Для практичного використання придатною є наближена теорія, яку розроблено у Донецькому політехнічному інституті (зараз Донецький національний технічний університет) під керівництвом професора В. Г. Гейєра.

Принцип дії й основні залежності будемо визначати для класичної гідравлічної схеми ерліфта, рис. 4.70, де: *1* — повітропровідна труба, по якій стиснене повітря подається в *змішувач* ерліфта *2*; за певних умов, коли тиск у змішувачі менше зовнішнього, по підвідній трубі *3* вода надходить у змішувач, потоком повітря переміщається по піднімальній трубі *4*, проходить через *повітровіддільник* *5*, у якому відбувається розділення повітря і пульпи.

На рис. 4.70 приведені чотири основних стана ерліфта у період пуску. Стан рис. 4.70 *a* — змішувач *2* занурений у рідину на визначену глибину *h*, повітропровідна труба *1* відкрита в атмосферу, статичний тиск у змішувачі

$$p_{\text{зм}} = \rho g h, \quad (4.114)$$

де ρ — щільність рідини (води або гідросуміші). Ерліфт не працює, подача дорівнює нулю.

Повітропровід підключається до компресора, що створює тиск у змішувачі, достатній для того, щоб витіснити рідину з труби повітро-

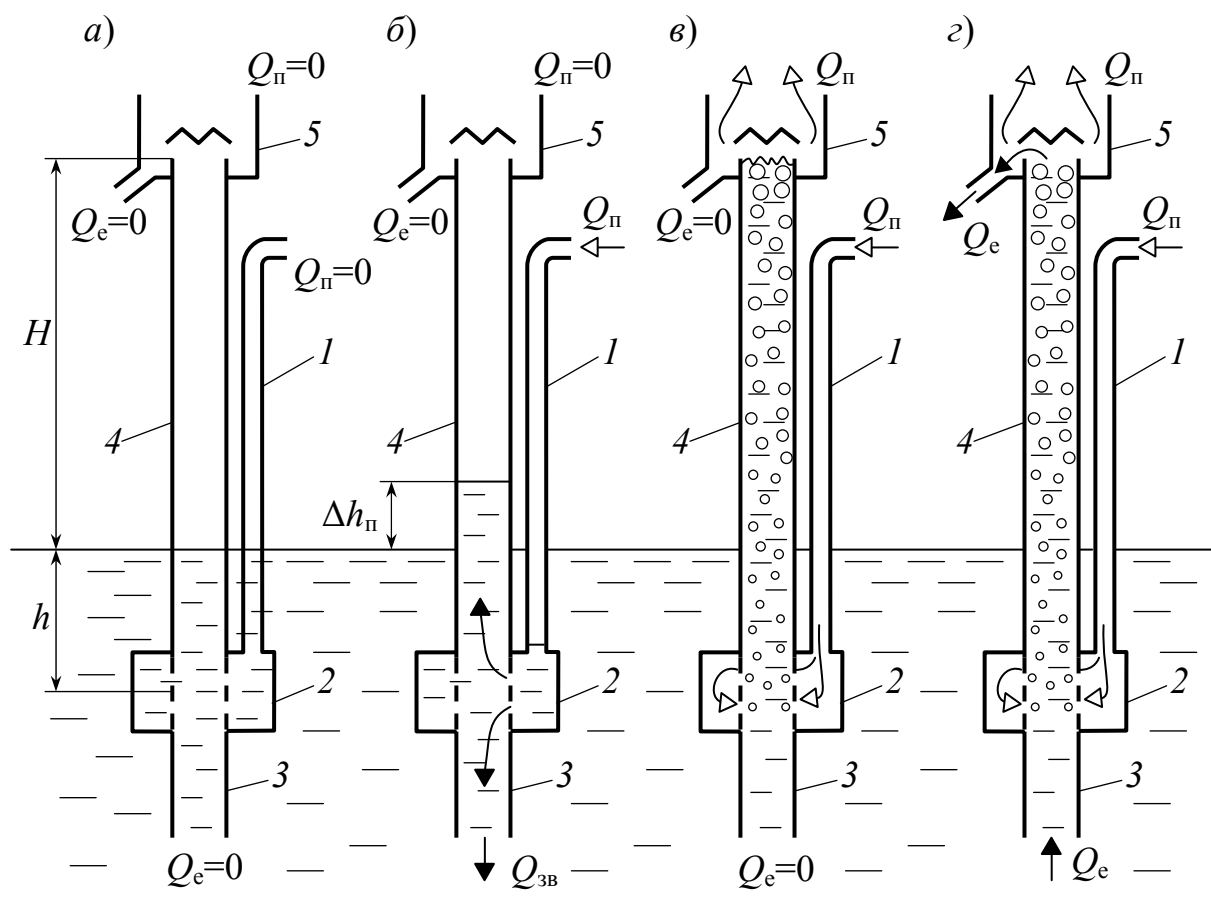


Рисунок 4.70 – Пускові режими ерліфта при відсутності подачі повітря (а), на початку подачі повітря (б), барботажний режим (в) і робочий режим (г): 1 – повітропровідна труба; 2 – змішувач; 3 – підвідна труба; 4 – підйомна труба; 5 – повітровіддільник

проводу 1 у піднімальну трубу ерліфта 4 і через підвідну трубу 3 у резервуар, рис. 4.70 б. Пусковий тиск у змішувачі

$$p_{\text{зм.п}} = \rho g (h + \Delta h_{\text{п}}), \quad (4.115)$$

де $\Delta h_{\text{п}}$ – перевищення стовпа рідини в піднімальній трубі в період пуску. Отже тиск, необхідний для того, щоб повітря надійшло в змішувач, повинен, як мінімум, дорівнювати пусковому, а тиск, що створюється компресором (нагнітачем), повинен бути

$$p_{\text{к.п}} = p_{\text{зм.п}} + \Delta p_{\text{пв}}, \quad (4.116)$$

де $\Delta p_{\text{пв}}$ – утрати тиску у повітропроводі.

При досягненні у повітропроводі тиску, що дорівнює пусковому, повітря надходить з нього у змішувач. Під впливом архімедових сил повітряні бульбашки піднімаються крізь рідину нагору по піднімальній трубі. Утворюється газорідинний стовп, середня щільність якого значно менша, ніж щільність рідини. Якщо відносна швидкість

повітря є такою, що гідродинамічні сили недостатні для виносу рідини з піднімальної труби, у ній утвориться стовп суміші, рис. 4.70 в, в якому потоком повітря рідина піднімається в зваженому стані, але не виливається з піднімальної труби — “*барботажний стовп*”. Тиск у змішувачі в *барботажному режимі* складає

$$p_{\text{зм.б}} = \rho_{\text{см}} g (H + h), \quad (4.117)$$

де H — висота підйому (різниця висот верхнього зрізу підйомної труби і рівня води в резервуарі). $(H + h)$ — повна довжина підйомної труби від змішувача до повітровіддільника.

Щільність газорідинної суміші у цьому режимі

$$\rho_{\text{см}} = \rho \frac{h}{H + h}. \quad (4.118)$$

З залежності (4.118) видно, що відношення абсолютного занурення до повної висоти підйому рідини є характерним безрозмірним параметром, що називають *відносним зануренням* і позначають

$$\alpha = \frac{h}{H + h}. \quad (4.119)$$

На основі проведених досліджень встановлено, що відносна швидкість повітря в барботажному режимі становить $v_{\text{п.б}} = 2 \dots 3$ м/с.

Об’ємна витрата вільного повітря, при якій подача ерліфта з діаметром піднімальної труби $D_{\text{п}}$ дорівнює нулю, визначиться за залежністю

$$Q_{\text{п}}^0 = (2 \dots 3) D_{\text{п}}^2 (1 - \alpha) \left(1 + \frac{\rho g h}{2 p_{\text{а}}} \right). \quad (4.120)$$

Збільшення витрати повітря приводить до зменшення щільності суміші в піднімальній трубі, унаслідок чого знижується тиск у змішувачі. З’являється різниця тиску, під впливом якої рідина надходить через підвідну трубу у піднімальну, а з піднімальної газорідинна суміш потрапляє до повітровіддільника 5, рис. 4.70 г. В останньому газорідинна суміш розділяється: повітря видаляється у атмосферу, а рідина або гідросуміш скидається трубопроводом — з’являється *подача* ерліфта $Q_{\text{е}}$.

Щільність газорідинної суміші, що рухається, віднесена до середнього тиску, залежить від витрат повітря і рідини. З достатньою точністю можна приймати рух у піднімальній трубі квазіусталеним, при якому масова витрата газорідинної суміші по довжині постійна і дорівнює сумі масової витрати пульпи і повітря.

Середня щільність газорідинної суміші в піднімальній трубі

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho Q_e + \rho_{\text{п}} Q_{\text{п}}}{Q_e + Q_{\text{п.ср}}}, \quad (4.121)$$

де $Q_{\text{п}}$ $\rho_{\text{п}}$ – витрата і щільність повітря, приведені до атмосферного тиску; $Q_{\text{п.ср}}$ – витрата повітря, віднесена до середнього тиску в піднімальній трубі:

$$Q_{\text{п.ср}} = Q_{\text{п}} \frac{p_a}{p_a + \frac{\rho g h}{2}}, \quad (4.122)$$

де p_a – атмосферний тиск.

Підставивши (4.122) у (4.121), одержимо

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho \left(1 + \frac{\rho_{\text{п}} Q_{\text{п}}}{\rho Q_e} \right)}{1 + \frac{Q_{\text{п}}}{Q_e} \cdot \frac{p_a}{p_a + \rho g h / 2}}. \quad (4.123)$$

Відношення витрати повітря до подачі ерліфта — **питома витрата повітря** — є другим важливим безрозмірним параметром ерліфта і позначається

$$q = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_e}. \quad (4.124)$$

Підставивши у вираз (4.123) значення (4.124), одержимо

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho \left(1 + q \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho} \right)}{1 + q \frac{p_a}{p_a + \rho g h / 2}}. \quad (4.125)$$

Щільність води або гідросуміші майже на три порядки більше щільності вільного повітря, а питома витрата повітря не більше 100, тому другим додатком у чисельнику можна зневажити. Тоді середня щільність суміші в піднімальній трубі буде

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho}{1 + q \frac{p_a}{p_a + \rho g h / 2}} \quad \text{або} \quad \rho_{\text{см}} = \frac{\rho}{1 + q_{\text{п}}}, \quad (4.126)$$

де $q_{\text{п}}$ – питома витрата повітря, приведена до середнього манометричного тиску по довжині піднімальної труби ерліфта:

$$q_{\pi} = q \frac{p_a}{p_a + \rho g h/2}. \quad (4.127)$$

Приймаючи рух гідросуміші в піднімальній трубі квазіусталеним, можна записати

$$\rho g h = \rho_{\text{см}} g (H + h + a_e Q_{\text{см}}^2). \quad (4.128)$$

Тут ліва частина — тиск на вході в змішувач, зумовлений геометричною глибиною його занурення, а права — тиск, який визначається висотою підйому газорідинної суміші (відраховуючи від змішувача) та утратами напору при її русі; a_e — гідравлічний опір піднімальної труби ерліфта; $Q_{\text{см}}$ — витрата аерогідросуміші, приведена до середнього тиску у піднімальній трубі:

$$Q_{\text{см}} = Q_e \left(1 + q \frac{p_a}{p_a + \rho g h/2} \right). \quad (4.129)$$

Підставивши (4.129) в рівняння (4.128), і вирішивши його щодо подачі ерліфта, одержимо **основне рівняння ерліфта**

$$Q_e = \frac{1}{1 + q \frac{p_a}{p_a + \rho g h/2}} \sqrt{\frac{h}{a_e} \left(1 + q \frac{p_a}{p_a + \rho g h/2} - \frac{1}{\alpha} \right)}, \quad (4.130)$$

або

$$Q_e = \frac{1}{1 + q_{\pi}} \sqrt{\frac{h}{a_e} \left(1 + q_{\pi} - \frac{1}{\alpha} \right)}. \quad (4.131)$$

Залежності (4.130) та (4.131) свідчать, що подача ерліфта при постійному відносному зануренні великою мірою залежить від подачі повітря. Залежність подачі ерліфта від витрати повітря визначає **витратну характеристику ерліфта**. Найбільш надійно її можна отримати шляхом експерименту. Графічно витратна характеристика для певного ерліфта, глибини і відносного занурення, представляє криву, вигляд якої показано на рис. 4.71.

Якщо витрата повітря менше або дорівнює барботажній, то подача ерліфта відсутня. Зі збільшенням подачі повітря понад Q_{π}^b подача ерліфта росте, доки не досягне максимуму при Q_{π}^{max} . При подальшому збільшенні витрати повітря подача ерліфта зменшується. Це пояснюється тим, що у ерліфті існує баланс між щільністю суміші і її витратою, який описується рівнянням (4.128). При $Q_{\pi}^b < Q_{\pi} < Q_{\pi}^{\text{max}}$ зменшення щільності призводить до суттєвого зростання подачі.

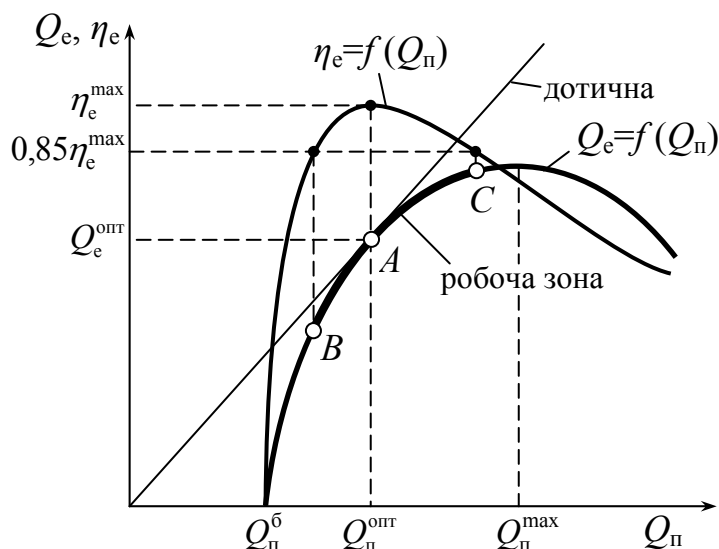


Рисунок 4.71 – Витратна та енергетична характеристики ерліфта

При $Q_{\text{п}} > Q_{\text{п}}^{\text{max}}$ зростання витрати газорідинної суміші уповільнюється через великі утрати тиску, але її щільність, тобто співвідношення рідкої і газової фаз, подалі зменшується. То ж, хоча витрата газорідинної суміші продовжує зростати, витрата рідини (подача ерліфта) зменшується.

Енергетична характеристика визначається **коефіцієнтом корисної дії** ерліфта, що є відношенням корисної потужності з підйому гідросуміші до потужності потоку повітря, що вводиться

$$\eta_e = \frac{N_{\text{к}}}{N_{\text{п}}}; \quad N_{\text{к}} = \rho g H Q_e; \quad N_{\text{п}} = Q_{\text{п}} p_a \ln \left(\frac{p_a + \rho g h}{p_a} \right), \quad (4.132)$$

де $N_{\text{к}}$ – корисна потужність; $N_{\text{п}}$ – потужність потоку повітря, що вводиться у змішувач (при ізотермічному процесі). Маємо

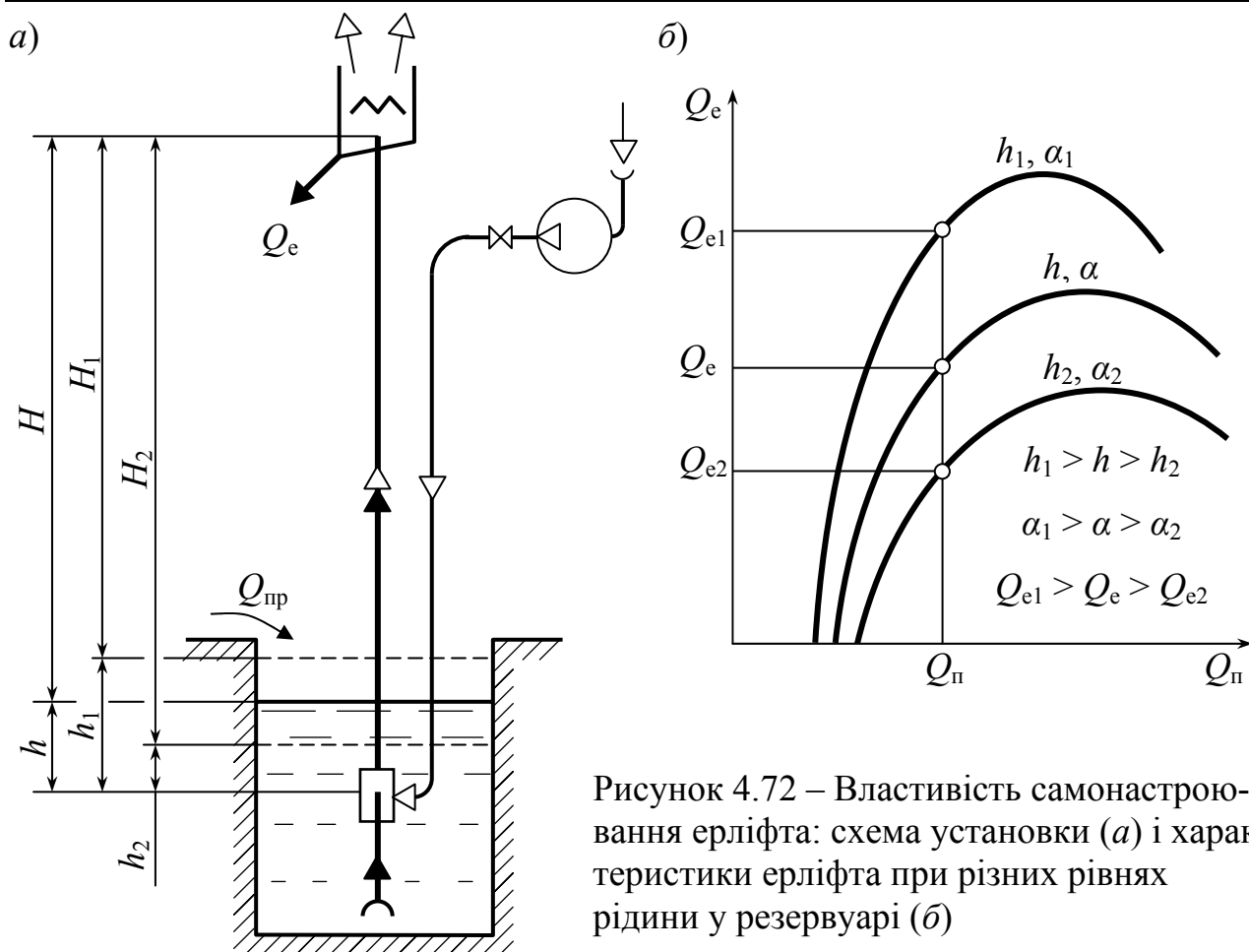
$$\eta_e = \frac{\rho g H Q_e}{Q_{\text{п}} p_a \ln \left(\frac{p_a + \rho g h}{p_a} \right)}, \quad (4.133)$$

або

$$\eta_e = \frac{H}{q h_a \ln \left(1 + \frac{\rho g h}{p_a} \right)}, \quad (4.134)$$

де $h_a = p_a / \rho g$ – висота стовпа рідини, яка відповідає атмосферному тиску.

На рис. 4.71 приведені витратна та енергетична характеристики ерліфта. Режим роботи, при якому коефіцієнт корисної дії має найбільше значення, є **оптимальним** і визначається точкою A дотичної, проведеної з початку координат до витратної характеристики ерліфта.



Робочою зоною ерліфта є сукупність його режимів, при яких значення коефіцієнта корисної дії не менш 85% від його максимального значення — зона *BC*, рис. 4.71.

Для ерліфта з незмінними висотою, діаметром і опором піднімальної труби при зміні геометричного занурення (наприклад, при зміні об'єму рідини в ємності) буде змінюватися відносне занурення і, відповідно, при однаковій витраті стисненого повітря буде різна подача ерліфта. З ростом геометричного, а отже, і відносного занурення подача ерліфта буде рости і, навпаки, зі зменшенням занурення — знижуватися. Таким чином, для того самого ерліфта зміна рівня води (занурення змішувача) приводить до зміни витратної характеристики, рис. 4.72. Ця властивість забезпечує *автоматичне пристосування* ерліфта до мінливого припливу рідини у резервуар.

Збільшення припливу приводить до підвищення рівня, занурення збільшується і подача ерліфта росте доти, доки вона не буде дорівнювати припливу. Скорочення припливу приводить до зменшення занурення і відповідного зниження подачі ерліфта. Тобто, ерліфт має **властивість самонастроювання**, що є дуже важливим при роботі в системах з мінливою витратою рідини.

Якщо експериментальні дані по дослідженню витратних характеристик ерліфтів, що мають різні геометричні розміри і відносні занурення, виразити в *безрозмірному* виді, прийнявши за базисні значення витрати стисненого повітря і подачі ерліфтів на оптимальних режимах, то отримані в такий спосіб безрозмірні режимні точки будуть розташовані на одній кривій. Цей факт відіграє істотну роль при розрахунковій і експериментальній побудові експлуатаційних характеристик ерліфтів.

Відносна витратна характеристика ерліфтів [55], рис. 4.73, є залежністю *відносної подачі* ерліфта від *відносної витрати стисненого повітря*, які дорівнюють відповідно

$$\bar{Q}_e = \frac{Q_e}{Q_e^{\text{опт}}} \quad \text{та} \quad \bar{Q}_п = \frac{Q_п}{Q_п^{\text{опт}}}, \quad (4.135)$$

де $Q_e^{\text{опт}}$ і $Q_п^{\text{опт}}$ – подача ерліфта і витрата повітря у оптимальному режимі, див. рис. 4.71. Якщо помножити нормалізовані координати відносної характеристики на відповідні оптимальні значення витрати повітря і подачі, які розраховано для даного ерліфта та заданих умов його роботи, одержимо розмірну характеристику цього ерліфта.

Щоб скористатися формулою (4.130) або (4.131) для визначення подачі ерліфта у оптимальному режимі, треба знати опір піднімальної труби ерліфта a_e та відносну подачу повітря, яка відповідає оптимальному режиму.

Обробка експериментальних даних дає підставу прийняти наступні залежності для визначення питомої витрати повітря у *оптимальному режимі* роботи ерліфта при відносному зануренні від 0,15 до 0,50:

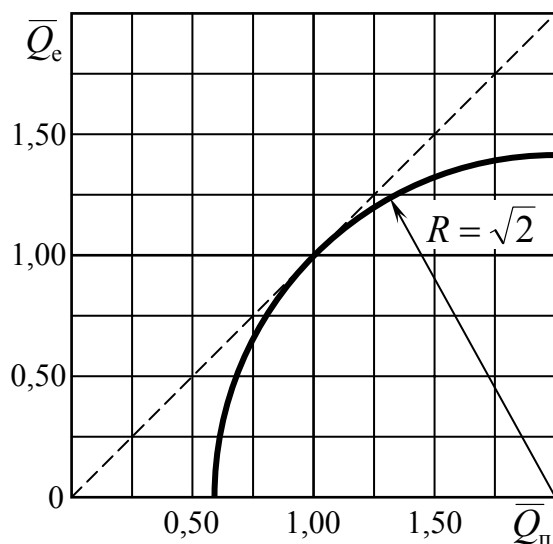


Рисунок 4.73 – Відносна витратна характеристика ерліфта

— для довгих ерліфтів, для яких $(H + h)/D_e > 200$ та $\rho g h / p_a > 2$, де D_e – еквівалентний діаметр піднімальної труби ерліфта, при обмеженні $h = 40 \dots 120$ м

$$q_n = 60 e^{-9\alpha}; \quad (4.136)$$

— для коротких ерліфтів, для яких $(H + h)/D_e < 200$ та $\rho g h / p_a < 2$, при обмеженні $h = 4 \dots 10$ м

$$q = 0,767 \alpha^{-2,2}. \quad (4.137)$$

Опір ерліфта можна визначити за залежністю

$$a_e = \frac{8\lambda(H + h)}{\pi^2 g D_e^5} = \frac{8\lambda}{\pi^2} \cdot \frac{h}{\alpha g D_e^5} = \psi \frac{h}{\alpha g D_e^5}, \quad (4.138)$$

де ψ – коефіцієнт опору. Підставимо цей вираз у формулу (4.131):

$$Q_e = \frac{1}{1 + q_n} \sqrt{\frac{\alpha}{\psi} \left(1 + q_n - \frac{1}{\alpha} \right) g D_e^5}. \quad (4.139)$$

В цій формулі є параметри, що не залежать від розмірів ерліфта. Ці параметри дають безрозмірний (типовий) **коефіцієнт подачі**, що буде однаковим для подібних ерліфтів різних розмірів, які працюють при певних значеннях q_n і α .

$$K_Q = \frac{1}{1 + q_n} \sqrt{\frac{\alpha}{\psi} \left(1 + q_n - \frac{1}{\alpha} \right)}. \quad (4.140)$$

На підставі експериментальних досліджень отримані значення коефіцієнта опору ψ для оптимального режиму. У довгих ерліфтів він дорівнює 0,04, у коротких — 0,078. Таким чином, коефіцієнт подачі для довгих ерліфтів дорівнює:

$$K_Q = 5\sqrt{\alpha} \frac{\sqrt{1 + q_n - \frac{1}{\alpha}}}{1 + q_n}, \quad (4.141)$$

а для коротких ерліфтів

$$K_Q = 3,68\sqrt{\alpha} \frac{\sqrt{1 + q - \frac{1}{\alpha}}}{1 + q}. \quad (4.142)$$

Подача ерліфта визначається за залежністю

$$Q_e = K_Q \sqrt{g D_e^5}. \quad (4.143)$$

На підставі досвіду проектування й експлуатації ерліфтних установок у різноманітних технологічних процесах багатьох промислових галузей розроблені наступні *схеми ерліфтів*: односекційна з приймальною ємністю (зумпфом); односекційна з довгою підвідною трубою; односекційна з сухим зумпфом; вакуумна; багатосекційна з проміжними приймальними ємностями; групова з гідравлічно розімкнутими приймальними ємностями і загальним колектором стисненого повітря; батарейна.

На рис. 4.74 *а* представлена гідравлічна схема односекційної ерліфтної установки, що одержала найбільше поширення. Гідросуміш, що надходить з різних місць її утворення, направляється в зумпф 1. Стиснене повітря від компресора 6 повітропроводом 5 подається в змішувач. Трифазна суміш піднімається по піднімальній трубі 4 у повітровіддільник 7. Тут повітря виходить в атмосферу, а гідросуміш надходить у подальшу схему транспортування. Дозування подачі твердого матеріалу забезпечується *усмоктувальним пристроєм* 2, що розташований у нижній частині зумпфа. Велика ємність зумпфа практично ліквідує різкі коливання рівня, а отже, і занурення змішувача при короткочасних коливаннях припливу, чим забезпечується стабільність робочого режиму.

Схема рис. 4.74 *а* має значний недолік. При проведенні планових або аварійних ремонтів усмоктувального пристрою, змішувача і нижньої частини піднімальної труби необхідна відкачка затопленої частини зумпфа, що викликає зупинку основних технологічних процесів. Тому, якщо спорудження другого окремого зумпфа неможливе, варто застосувати односекційну ерліфтну схему із *сухим зумпфом*, рис. 4.74 *б*. За цією схемою гідросуміш з вибоїв надходить у попередній пульпозбірник, звідки бустерним ерліфтом або вуглесосом 9 транспортується у проміжний усмоктувальний пристрій 8 герметичного типу, розташований у нижній частині головного зумпфа. Подальший процес транспортування часток гідросуміші аналогічний процесу, представленою на схемі рис. 4.74 *а*. Висота підйому бустерного ерліфта або напір вуглесоса складають не більше 5 м. Дозування подачі твердого в головний ерліфт здійснюється всмоктувальним пристроєм, встановленим у попередньому пульпозбірнику на бустерному ерліфті або на всмоктувальному патрубку вуглесоса. Незважаючи на більше число елементів, ця схема забезпечує *більш високу надійність* роботи підйому за рахунок можливості проведення щодобових профілактичних оглядів і ремонтів.

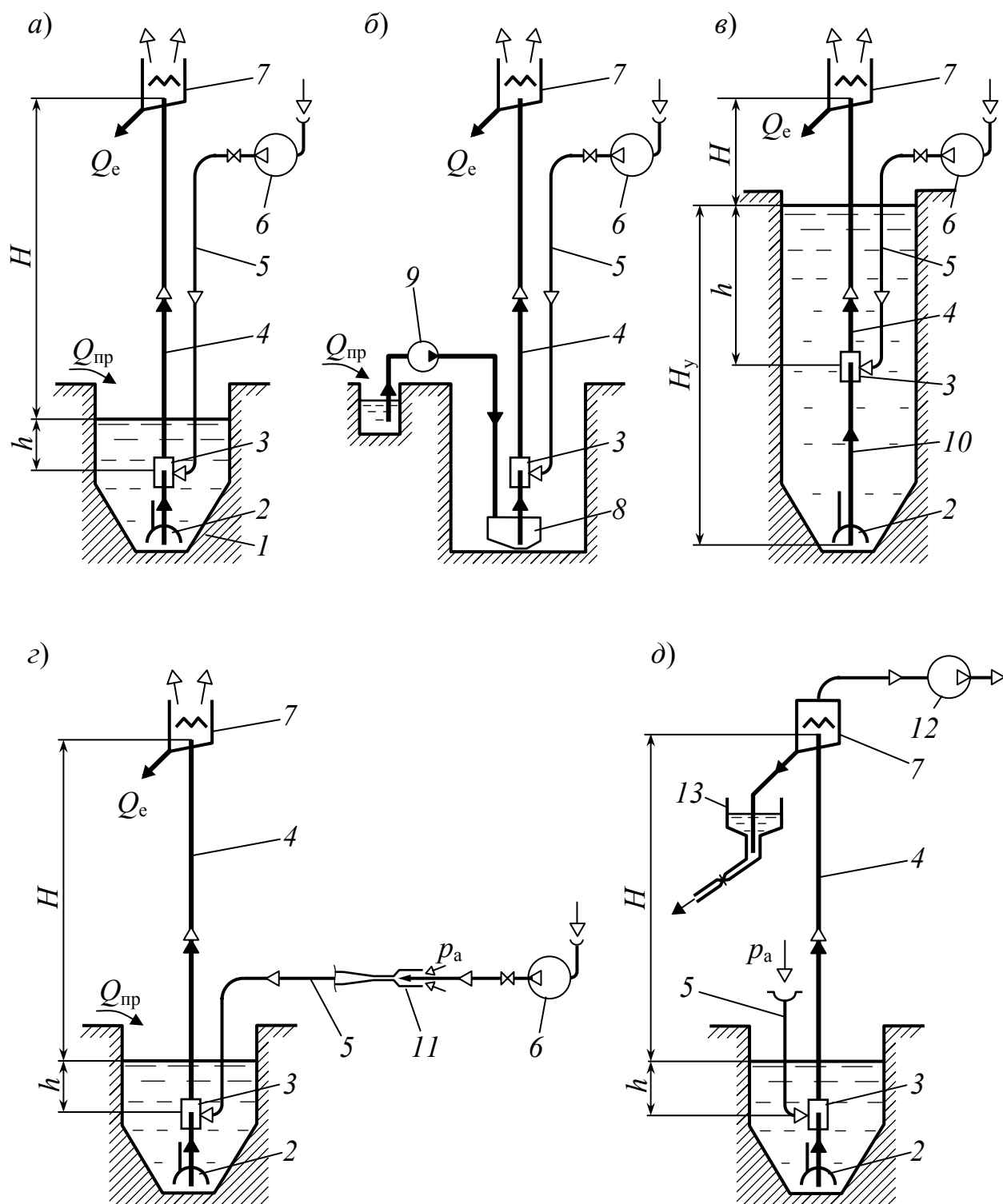


Рисунок 4.74 – Схеми односекційних ерліфтних установок: з приймальною ємністю (а); з сухим зумпфом (б); з довгою підвідною трубою (в); з ежектором у повітропроводі (г) і вакуумний ерліфт (д); 1 – приймальна ємність (зумпф); 2 – усмоктувальний пристрій; 3 – змішувач; 4 – піднімальна труба; 5 – повітропроводна труба; 6 – компресор; 7 – повітровіддільник; 8 – проміжний герметичний усмоктувальний пристрій; 9 – вуглесос; 10 – підвідна труба; 11 – ежектор; 12 – вакуумний насос; 13 – гідравлічний затвор

Одним з різновидів односекційної схеми є *схема з довгою підвідною трубою*, рис. 4.74 в. Така схема може застосовуватися для створення ерліфтних систем підйому сировини при розробці родовищ шельфу і ложа океанів, глибоких водойм, а також для чищення затоплених стволів і глибоких зумпфів шахт. Максимальна глибина занурення змішувача визначається тиском компресорної станції, див. (4.114), і звичайно не перевищує 60 м. Наявність підвідної труби дозволяє збільшити глибину усмоктування до 120 ... 150 м і більше.

При живленні ерліфтів з невеликою глибиною занурення (наприклад, ерліфтів для чищення ємностей глибиною 4 ... 5 м) від пневмомережі з надлишковим тиском 0,5 ... 0,6 МПа, цей тиск більш ніж у 10 разів перевищує тиск повітря, що подається у змішувач. Дроселювання засувкою призводить до непродуктивних втрат енергії, унаслідок чого зменшується к.к.д. установки. Для підвищення ефективності роботи ерліфтів з глибиною занурення до 5 м у ДонНТУ розроблено *схему ерліфтної установки з ежектором у повітропроводі*, рис. 4.74 г. У насадці ежектора 11 надлишкова потенційна енергія стисненого повітря перетворюється на кінетичну енергію струменя. В приймальній камері утворюється розрідження, завдяки чому до неї потрапляє атмосферне повітря. У камері змішування йому передається частина кінетичної енергії струменя і у дифузорі кінетична енергія потоку повітря знову перетворюється на потенційну. Застосування ежектора дозволяє зменшити у 2 ... 2,5 рази споживання стисненого повітря.

Як автономне джерело енергії для ерліфта можна використовувати вакуумний насос, який є безпечним і надійним в експлуатації і може створювати розрідження, необхідне для роботи *вакуумної ерліфтної установки*, рис. 4.74 д. Такі установки під час роботи не вимагають геометричного занурення змішувача під рівень рідини і наявності стисненого повітря.

У герметичному повітровіддільнику 7 вакуумним насосом 12 створюється розрідження. Під впливом різниці тисків (атмосферного на вільній поверхні рідини і вакуумметричного в змішувачі) по повітроподавальній трубі 5 у змішувач 3 надходить атмосферне повітря. Аерогідросуміш, що утворилася, рухається під дією розрідження нагору по піднімальній трубі 4 до повітровіддільника 7. З повітровіддільника повітря відсмоктується вакуумним насосом, а гідросуміш через гідравлічний затвор 13 надходить у транспортну систему.

Вакуумні ерліфтні установки доцільно застосовувати при висоті підйому гідросуміші до 40...50 м, при цьому розрідження, що створюється вакуумнасосом у повітровіддільнику, не перевищує 60 кПа.

Можлива висота підйому H односекційної схеми визначається абсолютною h і відносною α величинами занурення змішувача. На підставі експериментальних досліджень і досвіду експлуатації встановлено, що стійкий і економічний режим ерліфта зберігається при $\alpha = 0,15 \dots 0,50$. З огляду на той факт, що в умовах шахт застосовуються компресори з надлишковим тиском близько 0,8 МПа, односекційну схему доцільно застосовувати при висоті підйому до 420 м.

При необхідності підйому гідросуміші на великі висоти (понад 500 м) при обмеженому тиску джерела стисненого повітря, а також при одночасній відкачці шахтного припливу з декількох горизонтів варто використовувати **багатосекційну ерліфтну установку**, гідравлічна схема якої представлена на рис. 4.75 а.

Перша секція схеми містить всі елементи односекційного ерліфта, принцип дії якого розглянуто вище. Від *повітровіддільника 4* першої секції гідросуміш по *скидному трубопроводу 5* надходить у *проміжний усмоктувальний пристрій 6* другої секції, вище якого розташований *змішувач 2* і піднімальна труба *3* другої секції. Занурення змішувача другої і наступних секцій створюється за рахунок перепідйому гідросуміші першою і наступними секціями. Стиснене повітря від *компресорної станції 7* у кожен змішувач подається через *колектор 8* по окремому *повітропроводу 9*. Витрата повітря через секції визначається рівнем гідросуміші в *скидному трубопроводі 7* кожної секції під час роботи установки і регулюється керованим дроселем.

Групова схема з гідравлічно розімкнутими приймальними ємностями і загальним колектором стисненого повітря, рис. 4.75 б, складається з кількох односекційних (або багатосекційних) ерліфтних установок, кожна з яких розміщується в окремому зумпфі з незалежним припливом гідросуміші. Повітропостачання всіх установок здійснюється від загального колектора *8*. Таке компонування дозволяє скоротити число компресорів, що одночасно знаходяться в роботі, застосувати потужні відцентрові машини. Схема використовується на теплових електростанціях для систем збору золошлакової пульпи, на збагачувальних фабриках, а також при необхідності одночасного очищення декількох технологічних ємностей шахтного водовідливу.

Для забезпечення великих подач (понад 500 м³/год) короткими ерліфтами доцільно застосовувати *батареїну схему* ерліфтної уста-

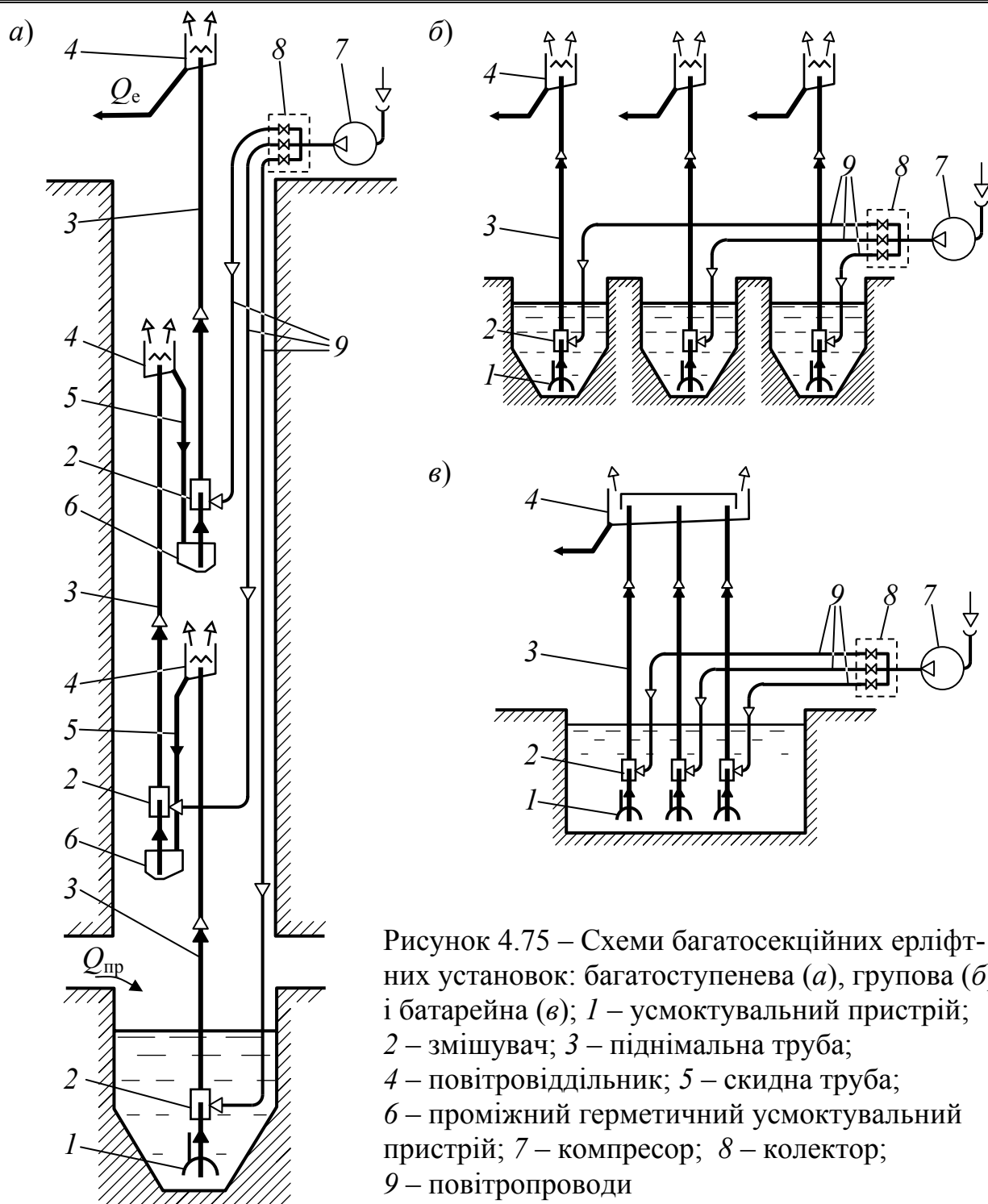


Рисунок 4.75 – Схеми багатосекційних ерліфтних установок: багатоступенева (а), групова (б) і батарейна (в); 1 – усмоктувальний пристрій; 2 – змішувач; 3 – піднімальна труба; 4 – повітровіддільник; 5 – скидна труба; 6 – проміжний герметичний усмоктувальний пристрій; 7 – компресор; 8 – колектор; 9 – повітропроводи

новки, рис. 4.75 в. Її відмінна риса полягає в наявності декількох піднімальних труб 3 з індивідуальними змішувачами 2, з'єднаними паралельно, і загального повітровіддільника 4. Уся група труб розміщується в одній приймальній ємності (зумпфі). Включенням різного числа керованих вентилів колектора 8 забезпечується велика глибина регулювання по подачі. Схема застосовується в основному на ерліфтних земснарядах великої продуктивності і циркуляційних ерліфтних установках.

Гідравлічний розрахунок ерліфта здійснюється у наступній послідовності. Вихідними даними для гідравлічного розрахунку є: необхідна продуктивність по твердому матеріалу Q_T ; вид матеріалу, що видобувається і його фізичні властивості: щільність ρ_T , форма і розмір твердих часток; висота підйому гідросуміші H і глибина занурення змішувача h .

За формулою (4.119) визначається *відносне занурення змішувача ерліфта*. Необхідна *продуктивність ерліфта по гідросуміші* визначається, виходячи з заданої продуктивності по твердому:

$$Q_e = Q_T / S, \quad (4.144)$$

де S – об’ємна концентрація твердого матеріалу в рідині; для піску, глини та порід $S = 0,15 \dots 0,25$; для вугілля $S = 0,20 \dots 0,30$.

Питомі витрати стисненого повітря визначаються за формулами (4.136) або (4.137), залежно від типу ерліфта. Витрати повітря у оптимальному режимі, приведені до нормальних умов, складають

$$Q_{\pi} = q Q_e. \quad (4.145)$$

Продуктивність компресорної станції повинна бути на 20...25% вище, щоб забезпечити можливість регулювання продуктивності ерліфта. Пусковий тиск повітря визначається за залежністю (4.114). У залежності від величини необхідних витрат повітря і максимального пускового тиску вибирають тип і кількість компресорів.

Еквівалентний діаметр піднімальної труби ерліфта визначається за залежністю, яку можна отримати з (4.143):

$$D_e = \sqrt[5]{\frac{Q_e^2}{K_Q^2 g}}; \quad (4.146)$$

коефіцієнт подачі визначається за залежністю (4.141) або (4.142).

Для ерліфтів з малою висотою підйому (наприклад, ерліфтів для чищення ємностей) можна приймати піднімальну трубу постійного діаметра, з внутрішнім діаметром, близьким до еквівалентного.

В потужних ерліфтах з великою висотою підйому (наприклад, ерліфтах шахтного гідропідйому) тиск повітря на вході у змішувач дорівнює 600 ... 700 кПа. Зниження тиску при підйомі аерогідросуміші в піднімальній трубі призводить до розширення повітря, збільшення об’ємної витрати аерогідросуміші і значного (в кілька разів) підвищення швидкості потоку в верхній частині труби. Швидкість, що досягає 25 ... 30 м/с, робить практично неможливою нормальну роботу повітровіддільника.

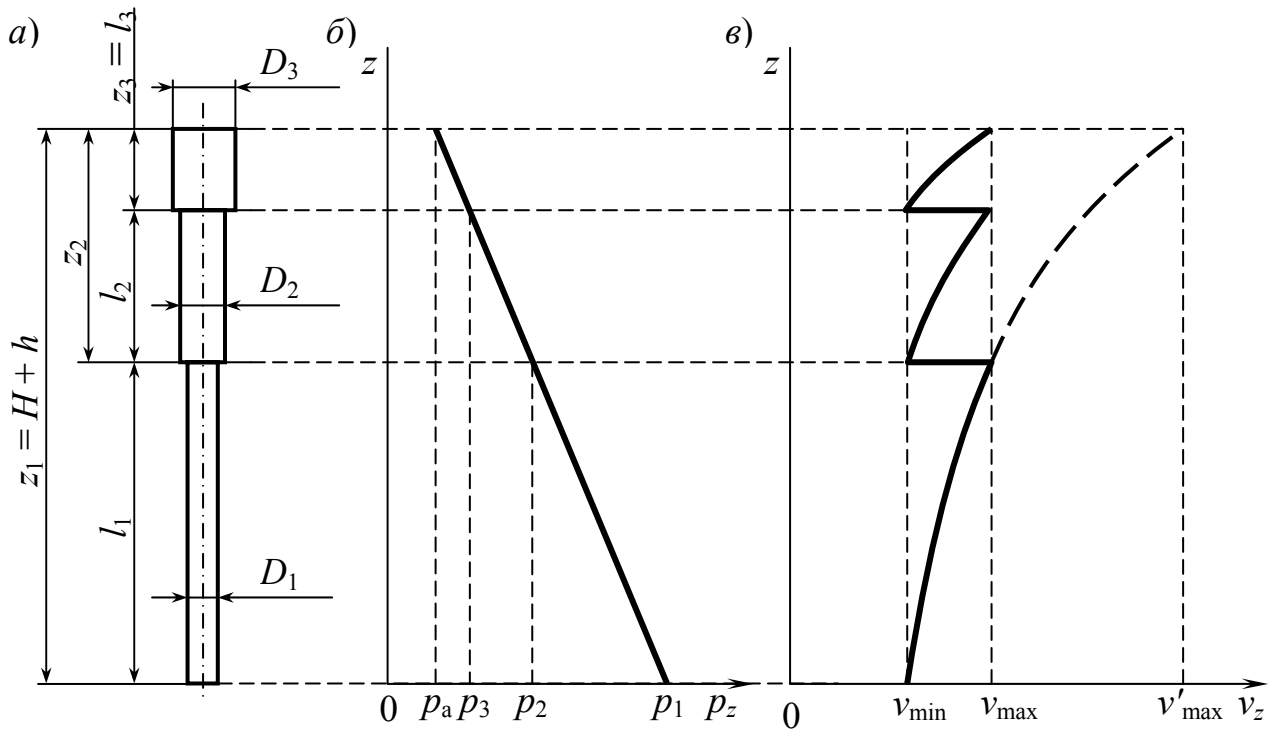


Рисунок 4.76 – Треступінчасте виконання піднімальної труби ерліфта (а), та графіки розподілу тиску (б) і швидкості потоку (в) уздовж піднімальної труби

Для зменшення нерівномірності швидкості потоку аерогідросуміші уздовж піднімальної труби, остання виконується з кількох ступенів різного діаметру, рис. 4.76. Розбиття на ступені робиться з умови рівності степеня розширення повітря в усіх ступенях. Кількість ступенів $n_{\text{ст}}$ звичайно складає 3 ... 6. Зниження тиску в одному ступені

$$\Delta \varepsilon = \left(\frac{p_a + \rho g h}{p_a} \right)^{\frac{1}{n_{\text{ст}}}}. \quad (4.147)$$

Розрахунок довжин ступенів робиться таким чином. За залежністю

$$z_i = \frac{1}{\Delta \varepsilon} \left(z_{i-1} - \frac{p_a (\Delta \varepsilon - 1)}{\rho g \alpha} \right), \quad i = 2 \dots n_{\text{ст}}, \quad (4.148)$$

визначаються вертикальні координати початку ступенів. Тут z_i – вертикальна координата початку i -го ступеня, z_{i-1} – координата початку попереднього ступеня. Розрахунок ведеться починаючи з z_2 , при цьому $z_1 = H + h$. Довжини ступенів становлять

$$l_i = z_i - z_{i+1}. \quad (4.149)$$

Діаметр труби для кожного ступеня визначають з умови забезпечення однакових швидкостей підйому аерогідросуміші на початку кожного ступеня і рівності гідравлічного опору ступінчастої підйомної труби і підйомної труби з діаметром D_E . Діаметр першого ступеня визначається за залежністю

$$D_1 = D_e \sqrt[5]{\frac{l_1 + \sum_{i=2}^{n_{\text{ст}}} l_i k_{Di}^{-5}}{H + h}}, \quad (4.150)$$

а решти

$$D_i = D_1 k_{Di}, \quad i = 2 \dots n_{\text{ст}}, \quad (4.151)$$

де k_{Di} – коефіцієнт, який враховує степінь розширення стисненого повітря на початку кожного ступеня:

$$k_{Di} = \sqrt{\frac{1 + q\varepsilon_i}{1 + q\varepsilon_1}}, \quad i = 2 \dots n_{\text{ст}}; \quad (4.152)$$

ε_1 і ε_i – степені стиснення повітря на початку 1-го та i -го ступіней:

$$\varepsilon_1 = \frac{p_a + \rho g h}{p_a}, \quad \varepsilon_i = \frac{p_a + \rho g \alpha z_i}{p_a}. \quad (4.153)$$

Для кожного ступеня вибирають трубу з внутрішнім діаметром, найближчим до розрахункового.

Для забезпечення стійкого режиму роботи ерліфта з підйому твердого, швидкість потоку аерогідросуміші на вході у підйомну трубу повинна бути більше критичної. Критична швидкість транспортування аерогідросумішшю твердого матеріалу крупністю d по трубопроводу діаметром D :

$$v_{\text{кр}} = v_{\text{ст}} + K \sqrt{a_z S_z g D}, \quad (4.154)$$

де $v_{\text{ст}}$ – швидкість стиснутого падіння часток у рідині:

$$v_{\text{ст}} = v_0 (1 - S_z)^2 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]; \quad (4.155)$$

v_0 – швидкість вільного падіння часток у рідині:

$$v_0 = \sqrt{\frac{4 g d}{3 C_0}} a_z; \quad (4.156)$$

C_0 — коефіцієнт опору руху твердих часток у водоповітряному потоці; для крупнозернистого піску та гравію $C_0 = 0,86$; K – дослідна

константа, яка залежить від розміру часток d : при $d = 0 \dots 3$ мм — $K = 2,5$; при $d = 3 \dots 10$ мм — $K = 2,5 \dots 3$; при $d = 10 \dots 18$ мм — $K = 3 \dots 3,5$; a_z — диференціальна відносна щільність потоку у z -му перетині піднімальної труби:

$$a_z = \frac{\rho_{\tau}}{\rho} (q_z + 1) - 1; \quad (4.157)$$

q_z — питомі витрати повітря, наведені до тиску у z -му перетині піднімальної труби:

$$q_z = q \frac{p_a}{p_a + \rho g \alpha z}; \quad (4.158)$$

S_z — об'ємна концентрація твердого в аерогідросуміші у z -му перетині піднімальної труби:

$$S_z = \frac{S}{q_z + 1}. \quad (4.159)$$

Дійсна швидкість потоку аерогідросуміші у z -му перетині піднімальної труби

$$v_z = \frac{4Q_e(1 + q_z)}{\pi D^2}. \quad (4.160)$$

Якщо в результаті розрахунку отримано $v_z > v_{кр}$, це означає, що швидкість руху аерогідросуміші забезпечує стійкий режим роботи з підйому твердого у ерліфті. Розрахунок критичної швидкості транспортування слід вести для точки входу в піднімальну трубу ($z = H + h$) а для ступінчастої піднімальної труби — для початку кожного ступеня. Це пов'язано з тим, що в нижній точці піднімальної труби або ступеня швидкість аерогідросуміші мінімальна і умови для транспорту шматків твердого найгірші. Оскільки з просуванням вгору швидкість аерогідросуміші зростає внаслідок розширення стисненого повітря, то й по всій висоті піднімальної труби швидкість потоку аерогідросуміші буде вище критичної.

Якщо умова $v_z > v_{кр}$ не виконується, то діаметр піднімальної труби ерліфта вибрано невірно. Слід вибрати трубу з меншим внутрішнім діаметром і повторити розрахунок.

Для ступінчастої підйомної труби розрахунок критичної і дійсної швидкостей виконуються для кожного зі ступенів. Швидкості розраховуються на вході в ступінь, де величина дійсної швидкості мінімальна.

Після остаточного визначення діаметру піднімальної труби (або діаметрів ступіней) уточнюється значення коефіцієнта подачі K_Q і за залежністю (4.143) визначається дійсне оптимальне значення подачі ерліфта, яке може дещо відрізнятись від заданого. При необхідності по оптимальним значенням подачі ерліфта та витрати повітря за наведеною вище методикою будується характеристика ерліфта. При проектуванні потужних ерліфтів варто проводити експериментальні дослідження на моделі і будувати безрозмірні характеристики.

Діаметр повітропроводу вибирається таким, щоб втрати тиску в ньому не перевищували 10 % тиску в змішувачі:

$$D_{\Pi} = \sqrt[5]{\frac{8 \lambda \rho_{\Pi} L_{\Pi} Q_{\Pi}^2}{\pi^2 g (0,1 \rho h + \rho_{\Pi} H_{\Pi})}}, \quad (4.161)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі, який дорівнює 0,03; L_{Π} – довжина повітропроводу; H_{Π} – довжина вертикальної частини повітропроводу; ρ_{Π} – щільність повітря в повітропроводі:

$$\rho_{\Pi} = \rho_{\Pi, \text{ст}} \frac{p_a + \rho g h}{p_{\text{ст}}}; \quad (4.162)$$

$\rho_{\Pi, \text{ст}}$ – щільність повітря при стандартних умовах; $\rho_{\Pi, \text{ст}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$; $p_{\text{ст}}$ – стандартний атмосферний тиск; $p_{\text{ст}} = 101\,325 \text{ Па}$.

Розрахунок ерліфтів **ерліфтно-земснарядних комплексів** (ЕЗК), призначених для видобування корисних копалин зі дна водойм, див. п. 2.4.5, має відмінності. Для цих ерліфтів характерні мала висота підйому ($H = 1 \dots 3 \text{ м}$) і значне занурення змішувача ($h = 10 \dots 65 \text{ м}$). Ерліфти ЕЗК відносяться до класу коротких, але формула (4.137) для таких умов дає значну похибку. У результаті обробки експериментальних даних [8, 41] отримано залежність для визначення питомої витрати стисненого повітря для ерліфтів ЕЗК:

$$q = 0,95 \alpha^{-2,2}. \quad (4.163)$$

Іншою особливістю ерліфта ЕЗК є перемінна глибина занурення змішувача. У процесі розробки ґрунту усмоктувальний наконечник і, разом з ним, змішувач ерліфта занурюються з глибини $h_{\min}$ до глибини $h_{\max}$. Відповідно, відносне занурення збільшується від $\alpha_{\min}$ до $\alpha_{\max}$, що змінює режим роботи ерліфта. Тому розрахунок ерліфта слід виконувати, як мінімум, для двох граничних значень відносного занурення.

При глибині розробки більше 60 ... 65 м слід застосовувати схему з довгою підвідною трубою. Змішувач при цьому не повинен

занурюватися більше, ніж на означену глибину. Підводна труба перевіряється на забезпечення стійкого режиму транспортування твердого матеріалу.

Критична швидкість транспортування твердого матеріалу в підвідному трубопроводі розраховується за залежностями (4.154), (4.155) та (4.156) при таких значеннях величин, що входять у них: диференціальна відносна щільність потоку a (замість a_z):

$$a = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho} - 1; \quad (4.164)$$

об'ємна концентрація твердого в гідросуміші S (замість S_z); коефіцієнт опору руху твердих часток у однофазному потоці $C_0 = 0,64$. Якщо дійсна швидкість гідросуміші у підвідному трубопроводі менша за критичну, діаметр труби слід зменшити. Встановлено, що найбільш ефективні режими руху гідросуміші спостерігаються при швидкості потоку $v = 1,2 v_{\text{кр}}$.

При розрахунку коефіцієнта корисної дії за залежністю (4.134), у якій за корисну роботу ерліфта приймаємо роботу (4.132) з підйому рідини з рівня вільної поверхні на висоту H , для ерліфтів з великою глибиною занурення і малою висотою підйому, зокрема, ерліфтів ЕЗК, отримаємо дуже низькі значення к.к.д. — 10 ... 15 %. Базуючись на таких розрахунках, часто роблять висновок, що глибоководні ерліфти є неефективними. У роботі [72] доведено, що такі ствердження є безпідставними, оскільки у формулі (4.134) не враховано корисну роботу з підйому твердого з дна водойми до рівня вільної поверхні. Така робота для ерліфтів ЕЗК може становити більше 50 % від загальної корисної роботи установки. Тому у [72] пропонується виконувати розрахунок к.к.д. ерліфтів ЕЗК та інших ерліфтних установок зі значеннями відносного занурення $\alpha > 0,4$ за формулою

$$\eta_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{в}} g H + S (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}) g (H + h_{\text{у}})}{q p_{\text{а}} \ln \left(\frac{p_{\text{а}} + p_{\text{см}}}{p_{\text{а}}} \right)}, \quad (4.165)$$

де $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{т}}$ — щільності води і твердого, S — об'ємна концентрація гідросуміші; $h_{\text{у}}$ — глибина занурення усмоктувального отвору підвідної труби. За даними [72], значення коефіцієнтів корисної дії ерліфтних гідропідйомних установок ЕЗК та інших засобів глибоководного видобування корисних копалин сягають 60 ... 75 %, — порівнянних з к.к.д. ґрунтових насосів.

Конструктивне виконання вузлів ерліфтів відрізняється розмаїттям варіантів конструкцій. Нижче розглянуті варіанти, що отримали найбільше поширення у гірничій промисловості. Основними конструктивними вузлами ерліфта є усмоктувальний пристрій, змішувач, піднімальна труба і повітровіддільник.

Усмоктувальний пристрій, рис. 4.77 а, призначений для забезпечення рівномірної та дозованої подачі твердого в ерліфт. Пристрій, розташований в нижній частині зумпфа, містить у собі вихідний патрубок 1, що примикає до входу підвідної труби ерліфта, камеру підживлення 2, яка обмежує надходження твердого матеріалу, трубу підживлення 6, що має на кінці дросельні отвори 7, конусне днище 3 з кутом $\alpha = 30 \dots 45^\circ$, металеві укісні листи 4, встановлені під кутом $\beta = 60^\circ$, і стійки 5 для фіксації зазору Δh .

Твердий матеріал складається в зумпфі поряд та зверху пристрою, та крізь зазор Δh потрапляє до камери підживлення, де з потоком води усмоктується патрубком 1. Якщо в зумпфі накопичується значний шар твердого матеріалу, то гідравлічний опір зазору Δh збільшується. Тиск у камері підживлення 2 знижується і через отво-

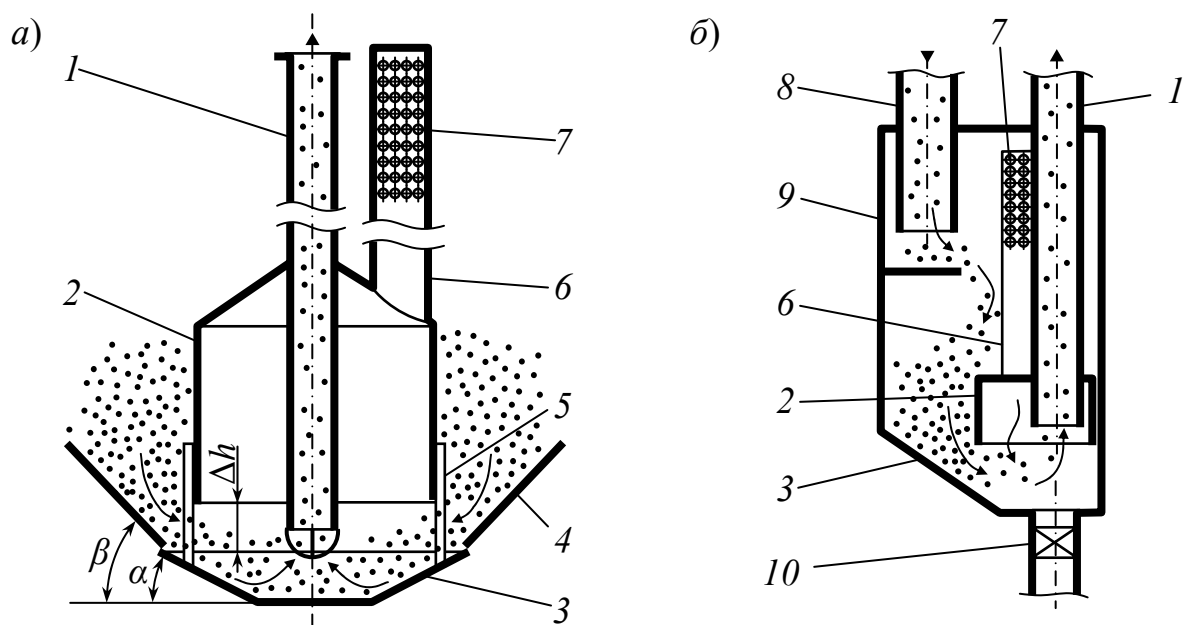


Рисунок 4.77 – Усмоктувальний пристрій ерліфта (а) та проміжний герметичний усмоктувальний пристрій (б): 1 – вхідний патрубок; 2 – камера підживлення; 3 – конусне днище; 4 – укісні листи; 5 – стійки; 6 – труба підживлення; 7 – дросельні отвори; 8 – скидна труба; 9 – герметичний корпус; 10 – зливальний патрубок

ри 7 у трубі 6 в камеру надходить вода, яка змішується з твердим матеріалом і усмоктується. На місце вилученого твердого матеріалу по похилих листах 4 і стінках днища 3 надходить новий твердий матеріал. Таким чином, забезпечується безупинна подача твердого в ерліфт. Усмоктувальний пристрій є також автоматично діючим дозатором подачі твердого — забезпечує постійну концентрацію гідросуміші, що усмоктується. Це пояснюється тим, що зі збільшенням кількості твердого у зумпфі зростає опір зазору Δh . Останнє призводить до збільшення витрати води, яка надходить через підживлення і розбавляє тверде до потрібної концентрації. Кількість води, що надходить, а отже і концентрація гідросуміші, визначається сумарною площею дросельних отворів 7.

Проміжний герметичний усмоктувальний пристрій, рис. 4.77 б, призначений для дозованої подачі гідросуміші у другу та наступні секції багатоступінчастого ерліфту або у ерліфт з сухим зумпфом. Пристрій має герметичний корпус 9, у який по скидній трубі 8 надходить гідросуміш з повітровіддільника попередньої секції або з бустерного ерліфта чи вуглесоса. Процес дозування твердого відбувається аналогічно розглянутому вище. Для зливання гідросуміші перед оглядом чи ремонтом пристрою передбачено патрубок 10, який у нормальному стані перекрито засувкою.

Змішувач призначений для змішування рідини і стисненого повітря з можливо більш повною передачею енергії повітря потоку. Крім того, він має забезпечувати пропуск без перешкод у піднімальну трубу твердого, яке надходить з підвідної труби.

На рис. 4.78 представлено три варіанти конструкції змішувача. Змішувач з перфорованою трубою, рис. 4.78 а, забезпечує пропуск стисненого повітря з камери 2 до піднімальної труби 1 через отвори 5 $\varnothing 3 \dots 6$ мм і з сумарною площею, що перевищує в 1,5 ... 2 рази площу перетину піднімальної труби. Впуск повітря крізь велику кількість малих отворів забезпечує ефективне змішування з рідиною. Недоліком конструкції є підвищений знос перфорованої частини піднімальної труби.

У конструкції рис. 4.78 б повітря надходить у підйомну трубу крізь кільцевий зазор між зрізом підвідної труби 3 і конічною кришкою камери 2. Місце вводу стисненого повітря з повітропроводу 4

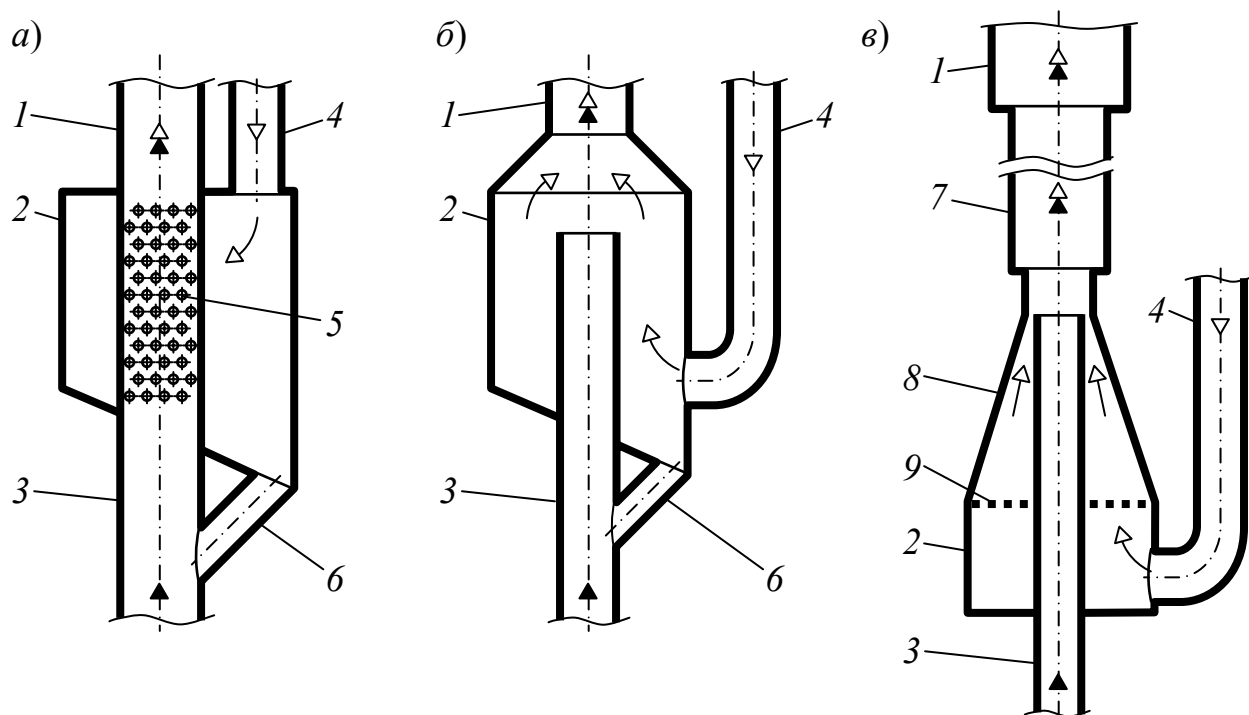


Рисунок 4.78 – Змішувачі з перфорованою трубою (а), з кільцевою щілиною (б) та з елементами струминного апарату (в): 1 – піднімальна труба; 2 – циліндрична камера; 3 – підвідна труба; 4 – повітропровід; 5 – отвори; 6 – труба, що акумулює; 7 – камера змішування; 8 – конічна насадка; 9 – решітка

має бути нижчим за зріз підвідної труби 3, аби запобігти зриву потоку гідросуміші.

У випадку екстреної зупинки ерліфта гідросуміш починає рухатися униз. При цьому частки твердого можуть потрапити у камеру 2 змішувача і утворити пробку. Тверде має безперешкодно повертатися в підвідну трубу, для чого у конструкціях рис. 4.78 а і б передбачене похиле днище камери 2 і труба, що акумулює, 6. Тверде сповзає по днищу у трубу 6 і повертається у підвідну трубу 3.

Змішувач з елементами струминного апарату, рис. 4.78 в, відрізняється від змішувача з кільцевою щілиною тим, що перетин цієї щілини досить малий. Рухаючись у кільцевому зазорі між підвідною трубою 3 і конічною насадкою 8, стиснене повітря набуває великої швидкості, і на виході з кільцевої щілини утворюється струмінь зі швидкістю 270 ... 280 м/с, спрямований у камеру змішування 7. В останній створюється розрідження, і під дією збільшеної різниці тисків зростає витрата гідросуміші, що усмоктується у підвідну трубу. Коефіцієнт подачі ерліфтної установки збільшується

в 1,4 ... 2,7 рази, а питома витрата повітря зменшується на 28 ... 48 %. Завдяки великій швидкості потоку повітря усувається чоточний режим роботи ерліфтної установки, унаслідок чого в 2...3 рази знижується розмах коливань тиску в піднімальному трубопроводі. Для роботи ерліфтних установок, обладнаних змішувачем з елементами струминного апарата, необхідно забезпечити підвищений на 80 ... 100 кПа тиск стисненого повітря перед змішувачем (в порівнянні зі звичайними ерліфтними установками).

З метою зменшення глибини зумпфів ерліфтних установок розроблені конструкції *усмоктувальних пристроїв, сполучених зі змішувачем*, які забезпечують більш повне використання глибини зумпфа, рис. 4.79.

Піднімальна труба виготовляється, як правило, з круглих сталевих безшовних гарячекатаних труб, товщина стінок яких вибирається за конструктивними розуміннями. При необхідності транспортування високоабразивних матеріалів піднімальна труба футерується базальтом.

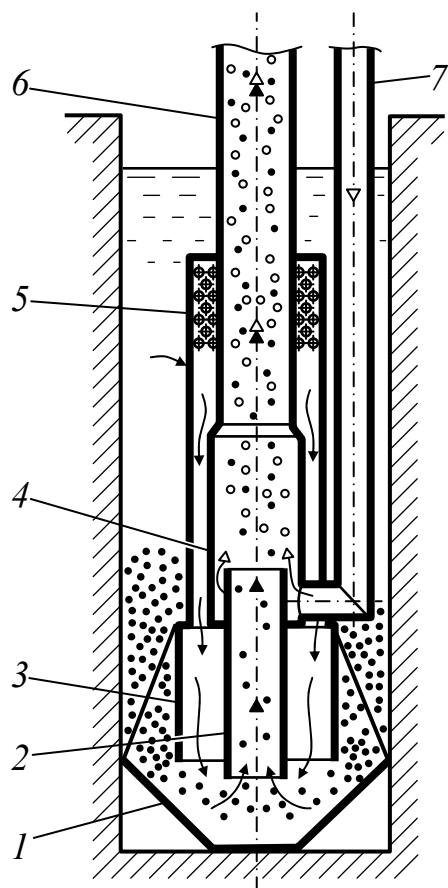


Рисунок 4.79 – Усмоктувальний пристрій, сполучений зі змішувачем: 1 – конусне днище; 2 – підвідна труба; 3 – камера підживлення; 4 – камера змішування; 5 – труба підживлення; 6 – піднімальна труба; 7 – повітропровід

Повітровіддільник призначений для поділу трифазного потоку аерогідросуміші (вода, тверде і повітря) на дві фази (повітря і гідросуміш). При цьому гідросуміш має бути спрямована в зливальний трубопровід, а повітря — в атмосферу. Конструкція повітровіддільника повинна забезпечувати якісний поділ повітря і рідини, мати стійкість до гідроабразивного зносу, демпфірувати динамічні навантаження, що виникають при коливальних режимах руху рідини, мати мінімальний гідравлічний опір.

Досвід експлуатації показав, що найбільш раціональною схемою повітровіддільника є та, у якій реалізована лабіринтова гідравлічна схема. Таку конструкцію має повітровіддільник з бічним симетричним виходом гідросуміші з піднімальної труби, рис. 4.80. Піднімальна труба *1* з торця заглушена, а на її бічних стінках є дві групи отворів: великі прямокутні отвори *5*, призначені для виходу рідини, і щілиноподібні отвори *4* — для виходу повітря. Щоб після виходу з піднімальної труби виключити перетинання траєкторії гідросуміші з траєкторією повітря, отвори *5* і *4* розташовані під кутом 90° одне до одного. Вище отворів для виходу пульпи є заглушена ділянка піднімальної труби з отворами, що демпфірують, *6*. При роботі повітровіддільника в заглушеній ділянці утворюється стовп водяноповітряної суміші, за рахунок стискальності якого гаситься частина динамічних навантажень.

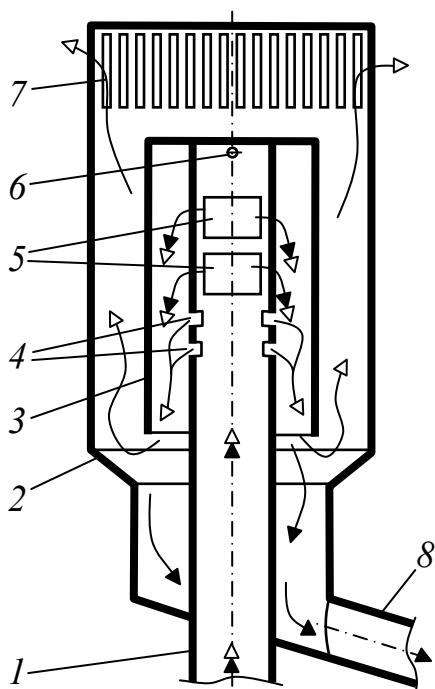


Рисунок 4.80 – Повітровіддільник лабіринтового типу: *1* – підмальна труба; *2* – корпус; *3* – ковпак, що відбиває; *4* – отвори для виходу повітря; *5* – отвори для виходу гідросуміші; *6* – отвори, що демпфірують; *7* – вихідні щілини; *8* – скидний патрубок

Після виходу з піднімальної труби гідросуміш по стінках ковпака, що відбиває, 3, стікає в нижню частину корпусу 2. Далі вода з твердим направляється по пульпопроводам на збагачувальну фабрику або на карту намиву, а повітря через вихідні щілини 7 — в атмосферу. Щоб потік повітря не виносив з повітровіддільника частки гідросуміші, його швидкість у зазорі між ковпаком 3 і корпусом 2 не повинна перевищувати 2 м/с.

У невеликих ерліфтах для чищення шахтних водозбірних ємностей застосовується *пристрій для розділення аерогідросуміші*, який суміщає функції повітровіддільника і засобу зневоднювання гідросуміші. Пристрій, рис. 4.81, складається з дугового патрубку 2, до якого по піднімальній трубі 1 надходить гідросуміш, і щілинного сита 3. Під впливом відцентрової сили, що виникає при русі потоку дуговим патрубком і уздовж сита, аерогідросуміш розділяється: вода проходить крізь сито у кожух 5 і відводиться зливальною трубою 6, тверде утримується ситом і зсипається по лотку 7 у вагонетку чи на конвеєр, повітря віджимається до центру і виходить крізь вікно 4.

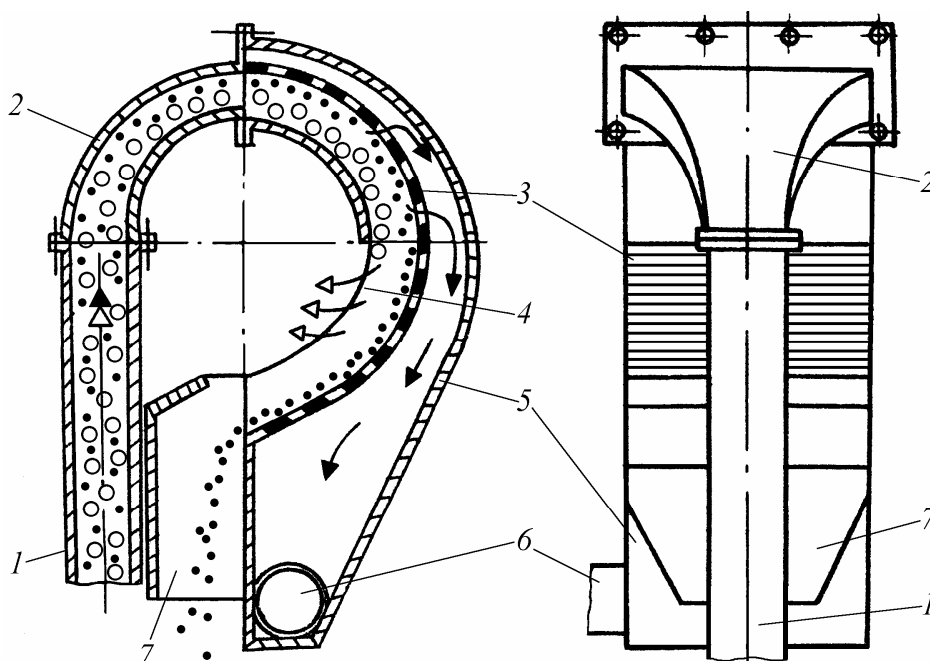


Рисунок 4.81 – Пристрій для розділення гідросуміші: 1 – піднімальна труба; 2 – дуговий патрубок; 3 – щілинне сито; 4 – вікно для виходу повітря; 5 – кожух; 6 – зливальна труба; 7 – лоток для відводу твердого матеріалу

4.4.4 Високонапірні гідротранспортні установки

Основні засоби напірного гідротранспорту, які застосовуються у гірничій промисловості — відцентрові та об'ємні насоси, — мають певні обмеження робочих режимів. Відцентрові насоси для гідротранспорту твердого високопродуктивні, але здатні створювати лише невеликі напори. Більшість з них мають напір, менший 80 м. Об'ємні насоси створюють великі напори — до 1000 м і вище, але їхня подача невелика. До того ж, конструкція об'ємних насосів не дозволяє перекачувати гідросуміш з великими шматками твердого.

Гідротранспортні установки витискувального типу поєднують переваги відцентрових і об'ємних машин. Гідротранспортна установка, рис. 4.82, являє собою вільнопоршневий насос з гідроприводом і конструктивно виконана у вигляді трьох витискувальних модулів з вертикальним розташуванням робочих колон. Принцип дії установки наступний. Зі згущувача 1 концентрована гідросуміш бустерним вуглесосом 2 з невеликим напором по трубопроводу 3 через впускні зворотні клапани 5 подається у нижню частину розділювальних колон 7. У верхню частину колон по трубопроводу 9 високонапірним

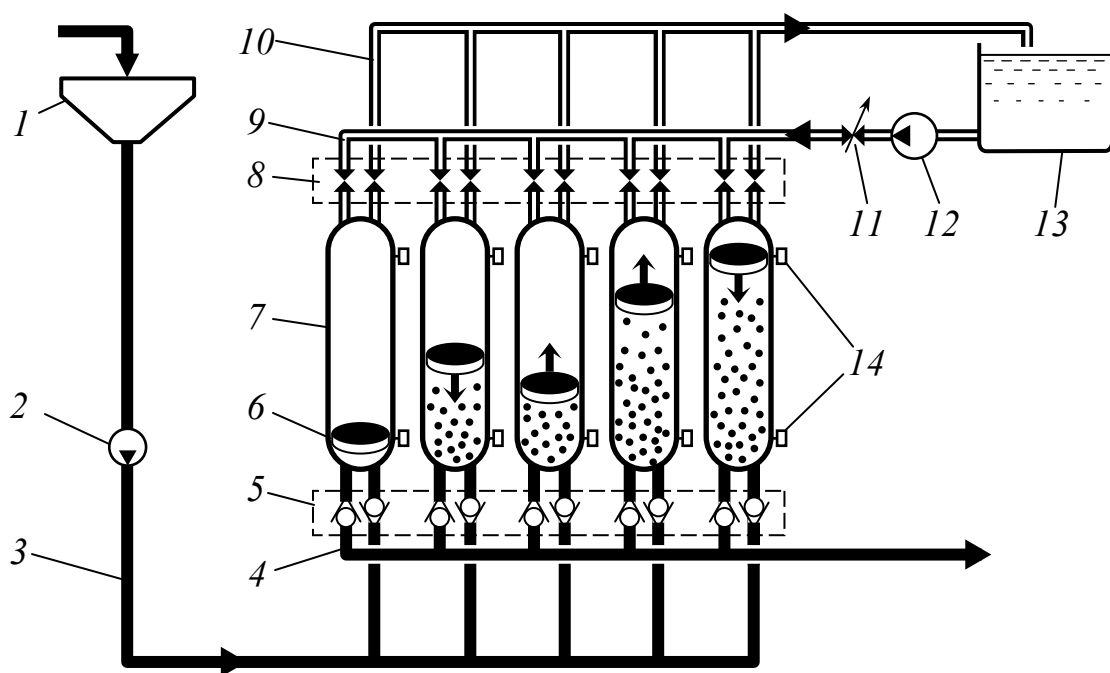


Рисунок 4.82 – Гідротранспортна установка УГТ-300: 1 – згущувач; 2 – бустерний насос; 3 – низьконапірний пульпопровід; 4 – високонапірний пульпопровід; 5 – зворотні клапани; 6 – розділювальний поплавок; 7 – розділювальні колони; 8 – гідроприводні засувки; 9 – труба подачі напірної води; 10 – зливальна труба; 11 – регульована засувка; 12 – високонапірний насос ЦНС 300; 13 – резервуар робочої води; 14 – датчики положення поплавків

насосом 12 з резервуара 13 подається робоча вода. Нижня (з гідросумішшю) та верхня (з чистою водою) порожнини колон відокремлені одна від одної вільним поршнем — розділювальним поплавком 6.

Кожна з колон працює циклічно. Керування роботою установки здійснюється за допомогою гідроприводних засувок 8. Цикл починається у нижньому положенні поршня. Відкривання засувки на зливальний трубопровід 10 зменшує тиск у верхній порожнині колони. Під тиском, що створюється бустерним насосом 2, у нижню порожнину колони починає надходити гідросуміш. Вода з верхньої порожнини зливається у резервуар 13. Заповнення колони гідросумішшю контролюється датчиками 14 положення поплавка. Якщо поплавок зайняв верхнє положення, тобто колона заповнена гідросумішшю, зливна засувка закривається і відкривається засувка з напірного трубопроводу 9. Вода під великим тиском надходить у верхню порожнину колони і витискує гідросуміш з колони через випускний зворотний клапан у високонапірний пульпопровід 4. Після опускання поплавка у нижнє положення напірна засувка закривається і цикл повторюється. Керування установкою автоматичне, почергова робота колон забезпечує безперервну подачу гідросуміші у магістраль.

Гідротранспортна установка **УГТ-300** розробки ВНДІгідровугілля призначена для гідропідйому і гідротранспорту вугілля й інших твердих матеріалів (гірської породи, піску, гравію і т.д.). Гідротранспортна установка може використовуватися для гідропідйому і гідротранспорту вугілля з видобувних ділянок і для подачі закладного матеріалу у вироблений простір.

Установка передбачає використання для привода відцентрових насосів типу ЦНС 300, що забезпечує гідропідйом твердих матеріалів з великих глибин і транспорт їх на великі відстані завдяки значним напорам, що розвиваються цими насосами. Робота установки — автоматична, електродвигуни і система керування — вибухобезпечні.

Таблиця 4.31 – Технічна характеристика установки УГТ-300

Найменування показників	Значення
Максимальна подача гідросуміші, м ³ /год	300
Максимальний тиск, МПа	10
Максимальна крупність матеріалу, що транспортується, мм	50

4.5 Землесосні установки і завантажувальні апарати

4.5.1 Землесосні установки

На відкритій і підземній гідромеханізованих розробках для переміщення гідросумішей широко застосовуються **землесосні** (*вуглесосні*) **установки**, обладнані відповідними насосами.

Землесосні установки бувають *малої* (до 100 м³/год), *середньої* (100 ... 400 м³/год) і *великої продуктивності* (понад 400 м³/год). Вони обладнуються дизельними й електричними двигунами. Останні знайшли найбільше застосування. Землесосні установки можуть бути *пересувними, напівстаціонарними і стаціонарними*. Перші та другі розташовуються на робочих площадках уступів, а треті — поза зоною переміщення фронту робіт.

Розрізняють **забійні** землесосні установки (першої ступіні) і **перекачувальні станції** (другої і наступних ступіней).

Забійні землесосні установки розташовані безпосередньо біля вибою та здійснюють забір та гідротранспорт ґрунту, зруйнованого гідромонітором або екскаватором. Їх можна об'єднати у наступні дві групи:

- 1) землесосні установки для *гідромоніторної розробки*;
- 2) землесосні установки з *бункером-змішувачем* для гідротранспорту від екскаватора.

Забійні землесосні установки обох груп виконуються пересувними: перші — з умови зменшення обсягу недомиву, див. п. 2.2.2.; другі — з умови сполучення з роботою екскаватора.

Пересувні забійні землесосні установки для гідромоніторної розробки представляють землесос, агрегатований з електродвигуном і оснащений необхідним допоміжним устаткуванням для пуску і керування землесосами. Ці землесосні установки розташовуються біля зумпфа, з якого і засмоктується пульпа. У якості усмоктувального пристрою у переважній більшості випадків використовується проста труба, яка шарнірно з'єднана з усмоктувальним патрубком землесоса і за допомогою спеціальної лебідки опускається в зумпф.

Пересувні землесосні забійні установки виконуються наступних конструкцій: на *санях*, на металевому коритоподібному *листі*, на *колесах*, на *понтон*ах, на *гусеничному ході*, на *крокуючому ході*.

Землесосні установки на санях з металевих труб і на металевому листі одержали найбільше поширення через простоту конструкції. З однієї стоянки на іншу такі установки пересуваються за допомогою трактора. Застосування замість полозів металевого коритоподібного листа полегшує пересувку при нерівностях площадки уступу.

Пересувна забійна землесосна установка ЗГМ-2М, рис. 4.83, призначена для гідротранспорту гірської маси від вибою до місця її укладання при гідромоніторній розробці. Основою установки служать зварені сани з труб. На санях установлений землесос ЗГМ-2М з електродвигуном потужністю 630 кВт. У середині дерев'яної щитової надбудови встановлений допоміжний насос ЗКМ-6. У носовій частині станції встановлена електрична лебідка з тяговим зусиллям 5 кН для підйому усмоктувальної труби. У розібраному виді установка транспортабельна по залізниці.

Землесосні установки на колесах монтуються на залізничних платформах. Такі установки значно зручніше для пересувок, але потребують укладання у вибої рейок. Зручні для пересувок установки на понтонах, що у робочому положенні є сухопутними, а пересуваються на плаву по заповненій водою траншеї. Ці установки особливо зручні при роботі в початковому котловані з припливом ґрунтової води, коли можливо очікувати заповнення котловану ґрунтовою водою при зупинках землесоса.

Землесосні установки з насосами невеликої продуктивності, виконані на санях або металевому листі легко пересуваються трактором. Установки з потужними землесосами, такими, як *12Р-7*, мають значну масу й габарити, тому їхня пересувка є складною. Для насосів великої продуктивності більш зручними будуть землесосні установки на понтоні, на гусеничному або крокуючому ході.

Землесосні установки на гусеничному і крокуючому ході значно маневреніші за інших. Землесосна установка з землесосом *12Р-7*, рис. 4.84, змонтована на гусеничному ході. Гусеничний хід має індивідуальний привод, за допомогою якого здійснюється пересувка.

Землесосні установки для здійснення гідротранспорту породи від екскаватора, на відміну від вищеописаних, мають забезпечувати здрібнення породи та змішування її з водою, тобто формування пульпи. Пересувна землесосна установка *ПЗУ-2*, рис. 4.85, змонтована на двох залізничних платформах 8, та обладнана ґрунтовим насосом *ЗГМ-2 1* та бункером-змішувачем 6. Порода з ковша екскаватора розвантажується на лоток 7 і розпушується струменем гідромонітора 4, після чого через решітку 5 потрапляє до зумпфа 11, де усмоктується трубою 9. Для полегшення усмоктування і зменшення концентрації пульпи перед усмоктувальним отвором встановлено насадок 10, до якого підведена напірна вода.

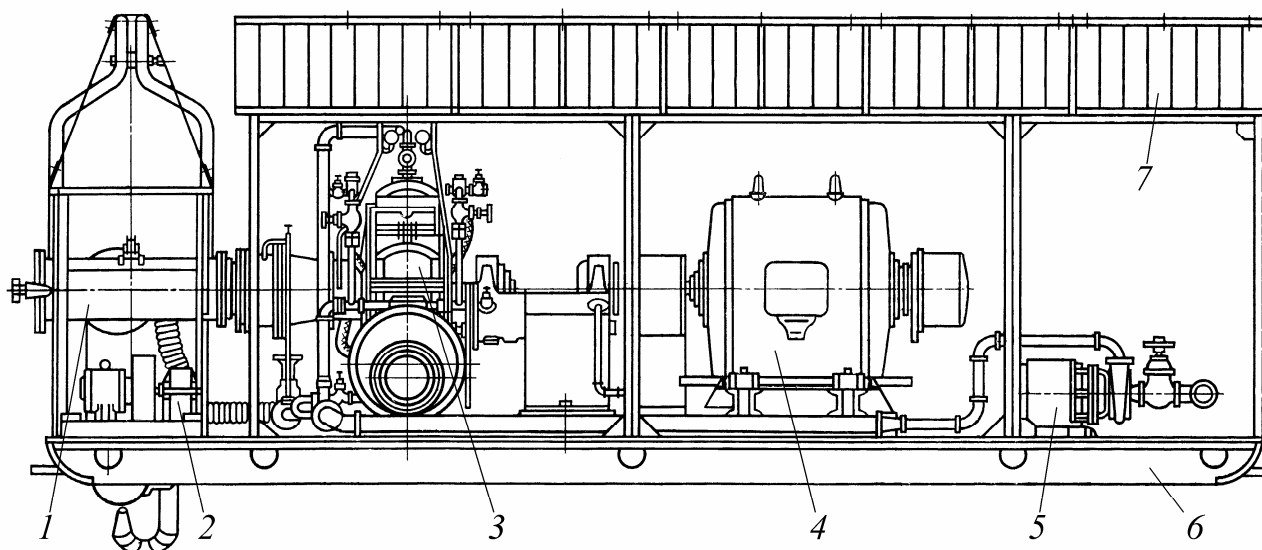


Рисунок 4.83 – Пересувна землесосна установка 3ГМ-2М: 1 – усмоктувальний трубопровід; 2 – лебідка; 3 – ґрунтовий насос 3ГМ-2М; 4 – електродвигун; 5 – допоміжний насос ЗКМ-6; 6 – сани; 7 – дерев'яна надбудова

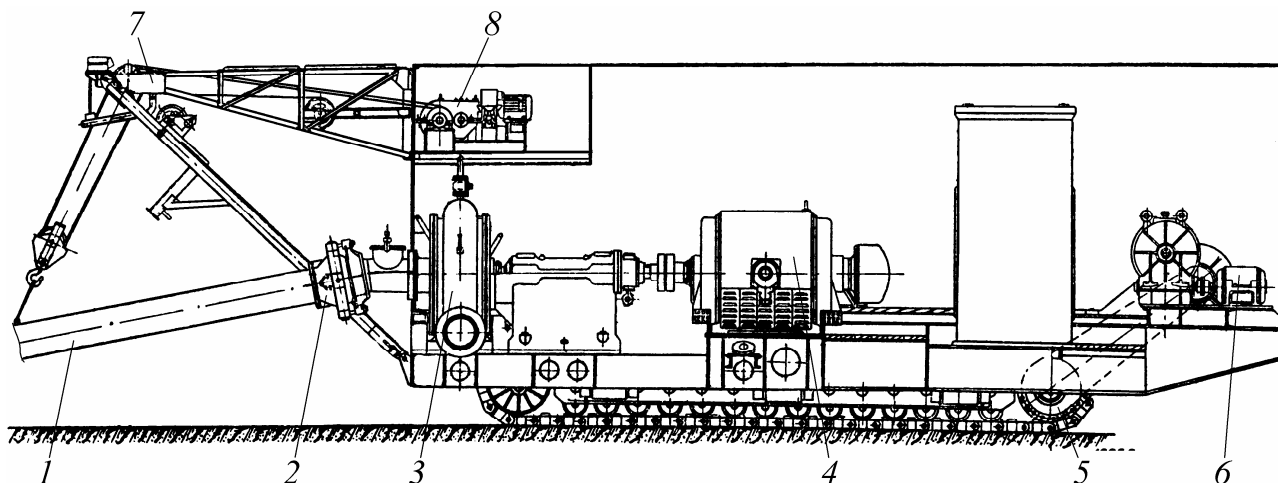


Рисунок 4.84 – Пересувна землесосна установка 12Р-7 на гусеничному ході: 1 – усмоктувальний трубопровід; 2 – шарнір; 3 – ґрунтовий насос 12Р-7; 4 – електродвигун; 5 – гусеничний хід; 6 – привод гусеничного ходу; 7 – стріла; 8 – лебідка

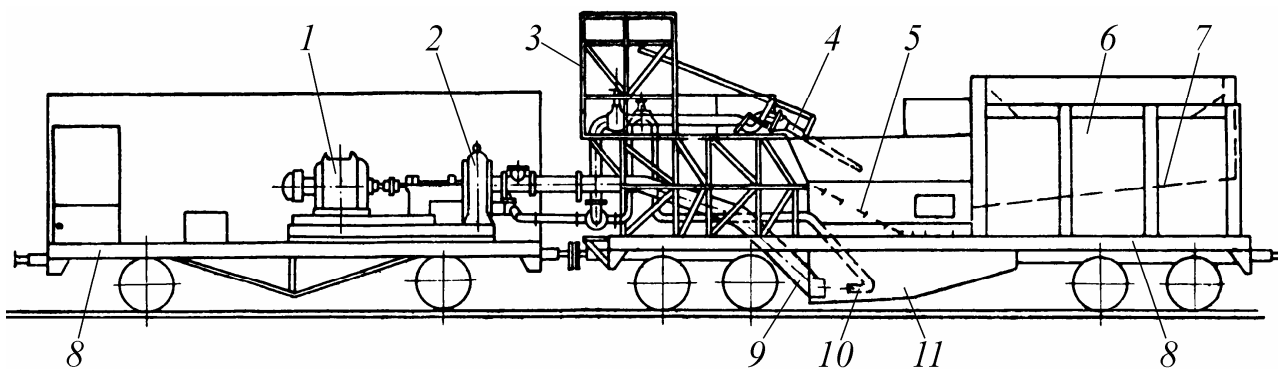


Рисунок 4.85 – Гідротранспортна установка з приймально-змішувальним бункером ПЗУ-2: 1 – ґрунтовий насос 3ГМ-2; 2 – електродвигун; 3 – кабіна гідромоніторника; 4 – гідромонітор; 5 – решітка; 6 – бункер; 7 – лоток; 8 – платформи; 9 – усмоктувальний трубопровід; 10 – насадок; 11 – зумпф

Землесосні перекачувальні станції, у залежності від необхідного сумарного напору землесосів, можуть бути як другої, так і наступних ступіней. Ці установки розташовуються поблизу забійної установки або на борті кар'єру. В другому випадку можливе більш тривале використання установки без пересувок. Перекачувальні землесосні установки, при можливості їхнього використання протягом значного часу без пересувок, виконуються стаціонарними на фундаментах або установлюються на саях чи металевому листі без фундаментів.

4.5.2 Усмоктувальні пристрої

Ефективна робота гідротранспортної системи залежить від якості гідросуміші, що утворюється при змішуванні води і твердого матеріалу. Надто низька концентрація твердого у гідросуміші зумовлює непродуктивні витрати енергії на транспортування великих обсягів рідини, а надмірно велика концентрація може призвести до передчасного виходу з ладу обладнання, виникнення кавітації, занадто великих утрат тиску в трубопроводі. Усмоктування простим патрубком не може забезпечити сталої концентрації твердого, до того ж потребує постійного контролю і керування, які здійснює людина. Тому стаціонарні гідротранспортні установки варто обладнувати спеціальними пристроями, які б забезпечували рівномірну і дозовану подачу гірничої маси в усмоктувальний трубопровід насоса.

Існує кілька типів усмоктувальних пристроїв. Як показав досвід промислової експлуатації, найбільш ефективним є пристрій з екрануванням зони усмоктування камерою підживлення. Принцип дії розглянемо на прикладі *усмоктувального пристрою УВ-5* розробки ДонНТУ, рис. 4.86. Пристрій складається з усмоктувальної труби 3 з наконечником 1, камери підживлення 2, днища 10 і труби підживлення 6 із засувкою 7. Встановлюють пристрій на дні зумпфа або ємності, з якої здійснюється відкачування гідросуміші.

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Тверде, що надходить у ємність шляхом гідротранспорту або сухим транспортом, складається навколо та над камерою підживлення 2. Крізь зазор між нижньою кромкою стінки камери 2 і днищем 10 тверде потрапляє у камеру, де підхоплюється потоком води і усмоктується наконечником 1. Таким чином, камера 2 екранує зону усмоктування від забутовування твердим і забезпечує ефективне усмоктування шматків. Днище 10 камери виконане у формі, яка забезпечує плавний вхід рідини у наконечник 1, див. рис. 2.46.

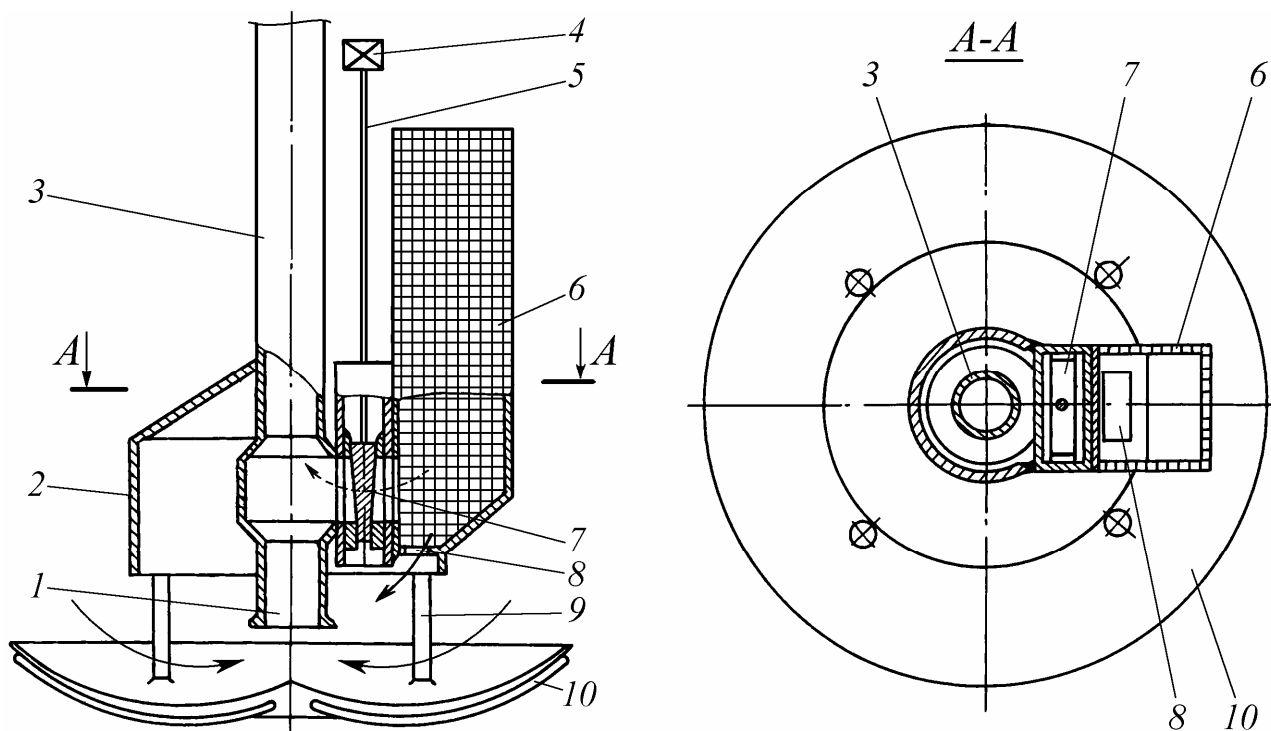


Рисунок 4.86 – Усмоктувальний пристрій УВ-5: 1 – усмоктувальний наконечник; 2 – камера підживлення; 3 – усмоктувальний трубопровід; 4 – привод засувки; 5 – тяга; 6 – труба підживлення; 7 – засувка; 8 – отвір підживлення; 9 – стійки; 10 – днище

Кількість рідини, яка потрапляє у камеру підживлення разом з твердим, недостатня для утворення потрібної концентрації гідросуміші. Щоб забезпечити усмоктування гідросуміші заданої концентрації, у камеру підживлення подається додатковий обсяг води. Для цього служить труба підживлення 6, яка може бути виконана у вигляді перфорованої труби або клітки з решітчастими стінами. У конструкції пристрою УВ-5 застосовано останній варіант. Висота труби підживлення має бути такою, щоб її ніколи не було повністю засипано гірською масою. Через великий гідравлічний опір твердого, що накопичується біля зазору, у камері підживлення 2 утворюється понижений тиск, і крізь отвори або решітку труби підживлення з резервуару починає усмоктуватися вода. Ця вода крізь отвір 8 потрапляє у камеру 2 і, змішуючись з твердим, що надходить крізь зазор, усмоктується наконечником 1.

У конструкції пристрою передбачено засувку 7, яка дроселює отвір, що з'єднує трубу підживлення 6 з усмоктувальною трубою 3. Регулюючи положення засувки, можна встановити необхідну для даних умов концентрацію гідросуміші. При закритій засувці концентрація гідросуміші максимальна. Весь потік, що підживлює, направляється крізь отвір 8 до наконечника 1 і бере участь у захопленні

твердого матеріалу. Це дозволяє забезпечити розмив практично необмеженого по висоті шару гірничої маси над пристроєм за умови його плинності, тобто при відсутності перед камерою підживлення 2 склепіннєутворення, цементації часток або закупорок негабаритними предметами. Часткове відкриття засувки призводить до надходження в усмоктувальний трубопровід додаткового обсягу води, і концентрація гідросуміші зменшується. При цілком відкритій засувці швидкість рідини в наконечнику 1 стає меншою за критичну, тверде не усмоктується, і в усмоктувальний трубопровід надходить чиста вода. Такий режим застосовується під час пуску насоса, для промивання гідротранспортної системи перед його зупинкою, а також для осушення ємності перед оглядом або ремонтом.

Для гідротранспортних установок, для яких конструктивно важко виконати регульовані засувки (ерліфтні установки з великим зануренням) або для яких не потрібно регулювання по подачі і консистенції (гідроелеваторні установки для допоміжних операцій), усмоктувальні пристрої можуть бути виконані в спрощеному варіанті, без засувки 7. Такі пристрої підтримують консистенцію в межах розрахункової. Її зміна потребує зміни параметрів усмоктувального пристрою.

Розрахунок усмоктувального пристрою зводиться до визначення діаметрів усмоктувальної труби і камери підживлення. Діаметр усмоктувальної труби визначається за звичайною методикою розрахунку гідротранспорту вертикальними трубопроводами. Діаметр камери підживлення має бути близьким до діаметру зони захоплення твердих часток:

$$D_3 = \frac{Q}{k_{yz} \Delta h \sqrt{d_T \left(\frac{\rho_T}{\rho_B} - 1 \right)}}, \quad (4.166)$$

де Q – витрата води, що усмоктується наконечником; d_T – розмір шматків твердого; ρ_T і ρ_B – щільність твердого і води; Δh – зазор між наконечником усмоктувального трубопроводу і днищем пристрою; k_{yz} – коефіцієнт, що враховує форму шматків та умови усмоктування, визначений експериментально: при $Q < 100$ м³/год — $k_{yz} = 1,4 \dots 2,8$; при $Q = 100 \dots 300$ м³/год — $k_{yz} = 2,9 \dots 4,5$; при $Q > 300$ м³/год — $k_{yz} > 4,5$. Діаметр камери підживлення може бути також визначений зі співвідношення $D_{\Pi} = (3 \dots 5) D_{yH}$, де D_{yH} — діаметр усмоктувального наконечника.

4.5.3 Завантажувальні апарати

Подача твердого матеріалу в трубопровід можлива також за допомогою *завантажувальних апаратів*, які називаються *живильниками*. При застосуванні завантажувальних апаратів вода в трубопровід нагнітається звичайними насосами. Твердий матеріал вводиться у напірний потік після насосу за допомогою живильника.

Такий спосіб завантаження твердого виключає роботу насосів на гідросуміші, що знімає проблему їхнього швидкого зношення, та дозволяє застосовувати в схемах гідротранспорту високонапірні багатоступінчасті насоси для чистої води. Створюючи високий напір, можна піднімати корисні копалини зі значних глибин та транспортувати на великі відстані. Також перевагами схем з живильниками є можливість створення і транспорту висококонцентрованих гідросумішей, зменшення здрібнювання корисних копалин при гідротранспорті і здатність транспортувати великі шматки породи, розмір яких обмежений лише діаметром трубопроводу, зниження витрат на знос устаткування, створення сприятливих умов для регулювання режиму роботи, підвищення ефективності гідротранспорту по енергетичних і економічних показниках. До недоліків завантажувальних апаратів слід віднести великі габарити і складність системи керування.

По способу завантаження матеріалу живильники можуть бути безупинної та циклічної дії. Останні завантажують тверде у трубопровід порціями. Існують завантажувальні апарати камерного, роторного, плунжерного, поршневого, шнекового, струминного та ін. типів. Перспективними в гірничодобувній промисловості вважаються завантажувальні апарати *камерного типу* циклічної дії.

Живильник *2КП-2*, рис. 4.87, складається з двох секцій, які працюють по чергово. Кожна секція складається з верхньої зрівняльної 4 і нижньої змішувальної 6 камер. Камери відділені від завантажувальної частини і одна від одної відкидними затворами 3 і 5. Під час роботи конвеєр 1 завантажує порцію гірської маси в двосекторний дозатор 2. Робота апарата заснована на принципі шлюзування гірської маси. Почергове завантаження камер 4 здійснюється дозатором при відкритому верхньому 3 і закритому нижньому 5 затворах. Якщо зрівняльна камера перед запуском була заповнена водою, то при завантаженні гірська маса витісняє воду через прийомний короб у зливальну магістраль 10. Після заповнення камери гірською масою верхній затвор закривається. Вирівнювання тиску в камерах при закритих затворах здійснюється перепускним краном 11. Після

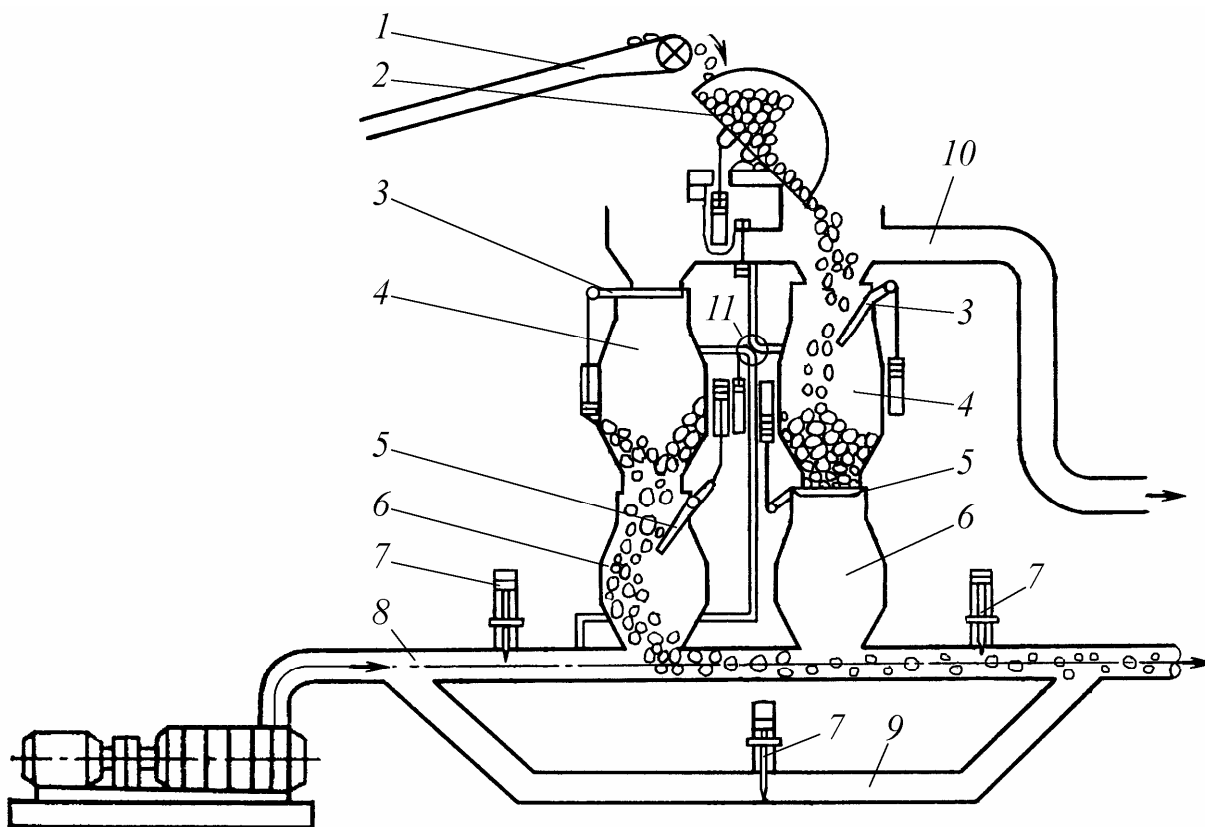


Рисунок 4.87 – Схема камерного живильника 2КП-2: 1 – конвеєр; 2 – дозатор; 3, 5 – затвори; 4 – зрівняльна камера; 6 – змішувальна камера; 7 – засувки; 8 – напірний трубопровід; 9 – обвідна труба; 10 – зливальна труба; 11 – перепускний кран

вирівнювання тиску відкривається затвор 5, і гірська маса надходить у змішувальну камеру 6, звідки потрапляє у напірний трубопровід 8. Дозатор 2, затвори 3 і 5, засувки 7 і кран 11 мають гідравлічний привод, для чого живильник оснащується маслостанцією. Керування робочим циклом живильника і його регулювання здійснюються гідравлічною системою.

Завантажувальний апарат АЗВ-2 конструкції Сибгіпрогормаша, рис. 4.88, складається з поворотного сектора дозатора 1, прийомних завантажувальних воронок 2, двох зрівняльних камер 4, чотирьох поворотних сферичних затворів 3 і 5, зрівняльного золотника 10 і гідравлічних домкратів, які працюють від насоса і приводять у дію затвори. Робочий цикл апарата включає завантаження гірської маси в одну з камер 4, перепускання її у змішувач 6 і утворення пульпи на виході у напірний трубопровід 7. Подача напірної води по трубах 11 в камери 4 для зрівняння тиску та зливання води при завантаженні гірської маси здійснюється золотником 10. Для усунення замулювання зумпфа вода, що витісняється з камер, по трубці 12 подається в насос 13, який спрямовує її безпосередньо у напірний трубопровід 8.

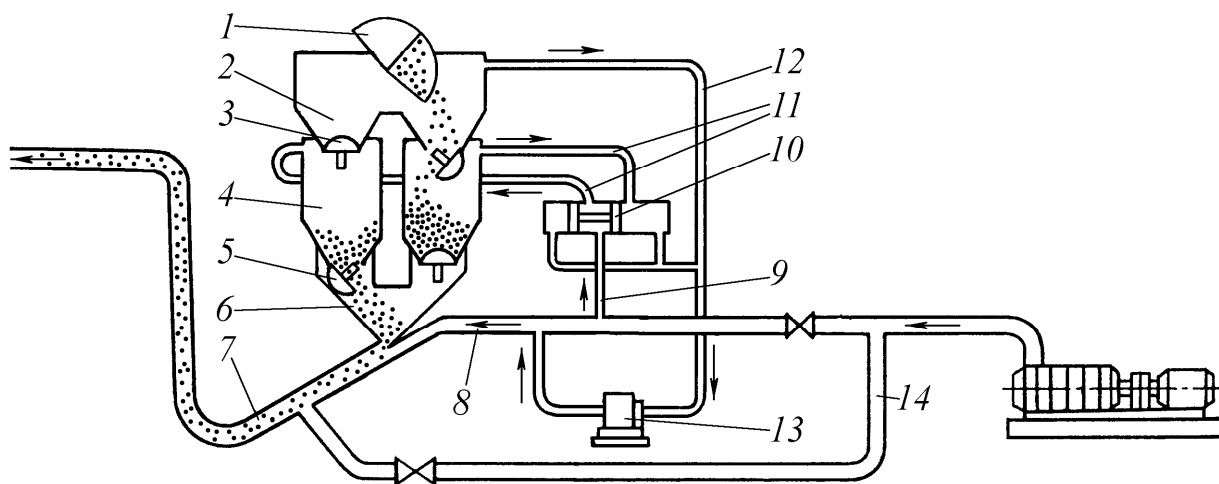


Рисунок 4.88 – Схема завантажувального пристрою АЗВ-2: 1 – дозатор; 2 – завантажувальні воронки; 3, 5 – сферичні затвори; 4 – зрівняльна камера; 6 – змішувальна камера; 7 – пульпопровід; 8 – напірний трубопровід; 9, 11 – перепускні труби; 10 – зрівняльний золотник; 12 – зливальна труба; 13 – допоміжний насос; 14 – обвідна труба

Живильник АЗТ-1, рис 4.89, являє собою односекційний двокамерний живильник з клапанами 2 і 6 у вигляді порожніх сталевих сфер, які керуються електромагнітами 1 і 5. Після завантаження верхньої камери 4, в неї по трубі 3 подається вода. Клапан 2 спливає і притягується електромагнітами до сидловини, герметизуючи камеру. Коли тиск у камерах 4 і 7 зрівняється, вимикається електромагніт 5 і гірська маса під дією власної ваги пересипається у камеру 7. Після спорожнювання камери 4 електромагніт 5 знову вмикається і кульовий клапан 6 розділяє камери 4 і 7. Вода з камери 4 випускається по трубі 14, після чого цикл повторюється.

З камери 7 матеріал безупинно подається в пульпопровід 10 як під дією власної ваги, так і струменем води, яка надходить по трубі 8 від напірного трубопроводу 9. Продуктивність живильника регулюється за допомогою спеціального пристрою, що складається з полого штока 12 з поршнем і циліндра 13. Зсуваючись в ту чи іншу сторону, шток змінює площу вікна 11, через яке надходить твердий матеріал. Переміщення штока здійснюється напірною водою, яка подається в ту чи іншу порожнину циліндра 13.

Значні габарити камерних живильників ускладнюють їхнє використання у підземних умовах. У якості пересувних завантажувальних апаратів, розташованих поблизу вибою, добре зарекомендували себе *шнекові живильники безупинної дії*, рис. 4.90.

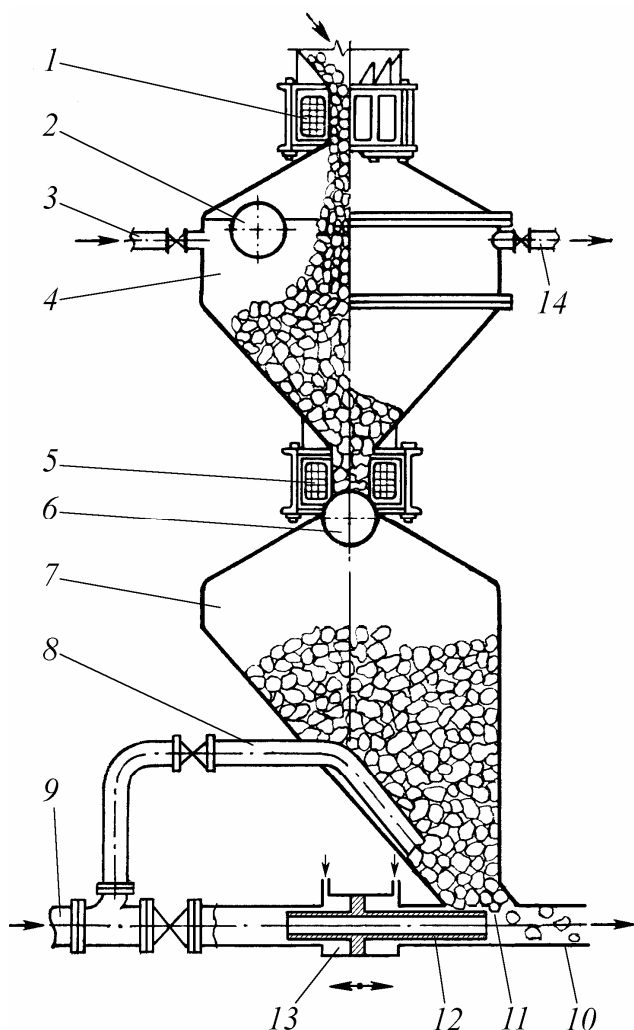


Рисунок 4.89 – Схема камерного живильника АЗТ-1: 1, 5 – електромагнети; 2, 6 – шарові клапани; 3 – заливальна труба; 4 – зрівняльна камера; 7 – змішувальна камера; 8, 9 – напірний трубопровід; 10 – пульпопровід; 11 – отвір; 12 – шток; 13 – циліндр; 14 – зливальна труба

Принцип дії живильників шнекового типу полягає в тому, що шнек 5, обертаючись, захоплює матеріал із завантажувальної воронки 4 і транспортує його до змішувальної камери. При виході матеріалу зі шнека в патрубку утвориться пробка, яка руйнується потоком високонапірної води в змішувальній камері. Пробка виконує роль затвора — відокремлює завантажувальну воронку і порожнину шнека від напірного трубопроводу.

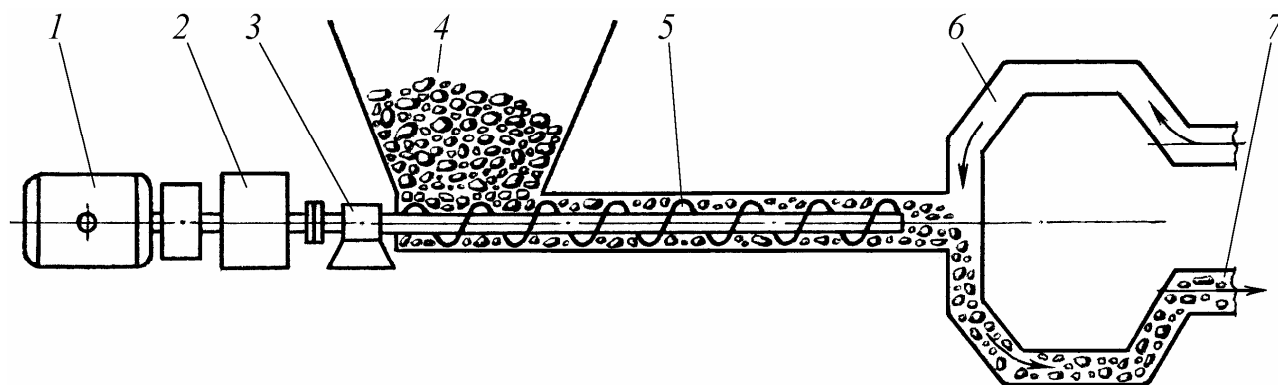


Рисунок 4.90 – Схема шнекового живильника: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – упорний підшипник; 4 – завантажувальна воронка; 5 – шнек; 6 – напірний трубопровід; 7 – пульпопровід

Для завантаження гірської маси у потік напірної води застосовуються також струменеві апарати (гідроелеватори), рис. 4.91. Напірна вода з трубопроводу 5 потрапляє у насадку 6, з якої виходить у камеру 7 у вигляді струменя. Через високу швидкість струменя в камері 7 утворюється розрідження (вакуум). Матеріал з конвеєра 1 надходить до воронки 2, у якій встановлено сито 3 для запобігання влучення у апарат негабаритних об'єктів. З воронки тверде потрапляє у камеру 7, звідки підхоплюється струменем і уноситься у камеру змішування 8. Щоб разом із гірничою масою в апарат не надходило повітря, у воронку 1 трубопроводом 4 подається вода. З камери змішування 8 гідросуміш, що утворилася, рухається дифузором 9. При цьому швидкість потоку зменшується і динамічний тиск перетворюється на статичний. На виході з дифузору гідросуміш має тиск, достатній для подальшого транспорту трубопроводом 10.

Струминний живильник отримав широке поширення у промисловості завдяки простоті конструкції та надійності у роботі. Загальний недолік усіх струминних насосів, у тому числі і живильників, — низький коефіцієнт корисної дії. Значні утрати тиску в насадці унеможливають транспортування матеріалів на значні відстані або підйом на великі висоти. До того ж, струминний живильник не може пропускати великі шматки твердого. Детально принцип дії струминного апарату наведено у п. 4.4.2.

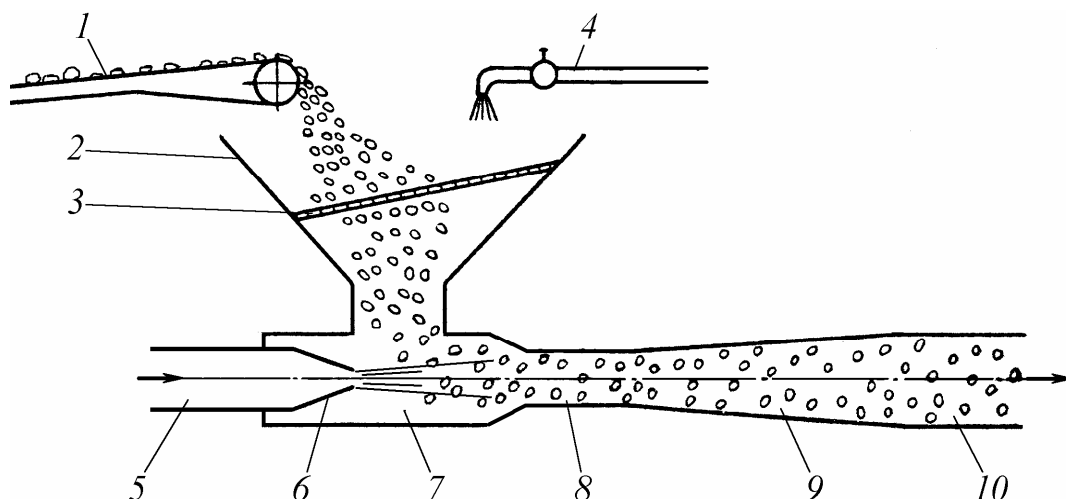


Рисунок 4.91 – Схема струминного живильника: 1 – конвеєр; 2 – воронка; 3 – сито; 4 – труба подачі води для пульпоутворення; 5 – напірний трубопровід; 6 – насадка; 7 – завантажувальна камера; 8 – камера змішування; 9 – дифузор; 10 – пульпопровід

4.6 Контрольно-вимірювальні прилади та автоматизація

4.6.1 Контроль основних параметрів технологічних процесів

Особливістю процесів комплексної гідромеханізації гірничих робіт, будь то розробка ґрунту земснарядом, гідравлічний транспорт по трубах чи інший процес, є обмежена або зовсім відсутня можливість візуального контролю цих процесів. Для одержання інформації про хід технологічного процесу застосовуються різні **контрольно-вимірювальні прилади і прилади, що реєструють**.

При автоматичному керуванні інформація, що надходить від цих приладів, звичайно у вигляді електричних сигналів, направляється в один з органів керування технологічним процесом і є командою для тієї чи іншої автоматичної маніпуляції. Поряд з апаратурою, яка широко застосовується в багатьох інших областях техніки, у гідромеханізації використовуються і спеціальні прилади, основні з яких розглянуті нижче.

1) Прилади для вимірювання вакууму і тиску

Для виміру вакууму в усмоктувальній лінії насосів і тиску в напірних комунікаціях у більшості випадків застосовуються звичайні **вакуумметри і манометри** з одновитковою тонкостінною трубчастю пружиною (трубка Бурдона), рис. 4.92 а. При вимірюванні невеликих тисків (наприклад перепадів тисків на діафрагмах витратомірів або у консистометрах) більш надійними та точними є прилади з пружною гофрованою діафрагмою, рис. 4.92 б, капсульного, рис. 4.92 в, або сильфонного типів. Зокрема, добре зарекомендували себе диференціальні манометри типу ДМ-6 і ДМ-3579 (судновий), що мають у своєму складі пружну діафрагму відносно великого діаметра. Перевагою зазначених дифманометрів є також можливість електричної дистанційної передачі сигналів за допомогою датчика диференційно-трансформаторної системи.

Все більше поширення отримують датчики тиску на основі *тензо-* або *п'єзорезисторів*. Чутливим елементом таких датчиків є

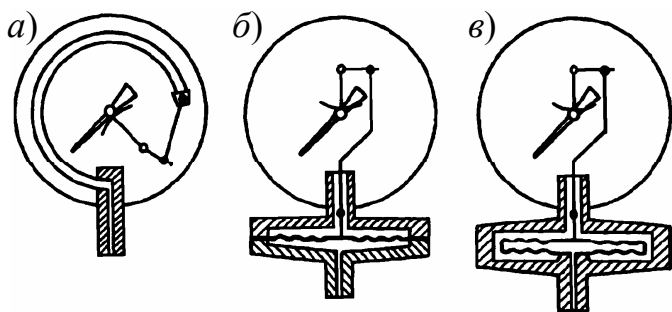


Рисунок 4.92 Пружинні манометри з трубчастою (а), плоскою (б) та капсульною (в) вимірювальними пружинами

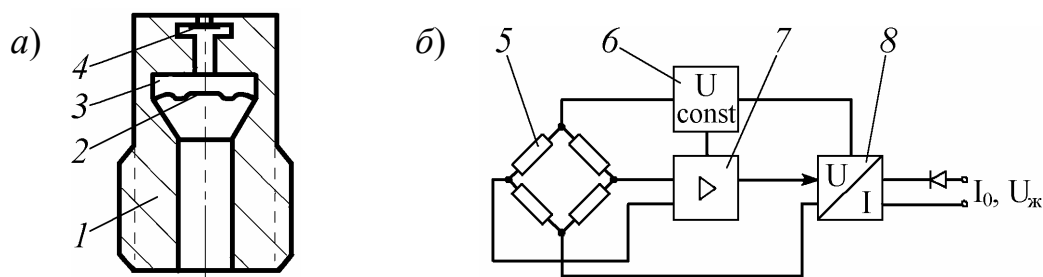


Рисунок 4.93 – Конструкція (а) та принципова схема (б) датчика тиску:

1 – корпус; 2 – розділювальна мембрана; 3 – рідина, що наповнює; 4 – сенсорна мембрана з п'єзореzystивним мостом; 5 – п'єзореzystивний міст; 6 – стабілізатор напруги; 7 – підсилювач вихідного сигналу; 8 – вихідний перетворювач

мембрана з нержавіючої сталі або кераміки, одна сторона якої безпосередньо або через розділювальне середовище сприймає вимірюваний тиск. Деформація мембрани, яка є пропорційною до величини тиску, сприймається нанесеними на неї тензо- або п'єзореzystорами, що утворюють міст опору, рис. 4.93. Вихідна напруга з вимірювального моста направляється на підсилювач і перетворюється у вихідний сигнал току I_0 , пропорційний до значення тиску. Датчик живиться постійною напругою $U_{\text{ж}}$.

Датчики такої конструкції мають високу точність, малу інерцію та невеликі габарити, що дозволяє застосовувати їх як для безпосереднього або дистанційного контролю тиску (для чого вони підключаються до індикатора), так і у системах автоматичного управління технологічними процесами. Високу точність вимірювання та зручність інтеграції у системи автоматичного керування забезпечують датчики, обладнані мікроконтролерами. В таких датчиках вихідний сигнал перетворюється у цифровий код і може бути переданий без перешкод на значну відстань.

Необхідно приймати спеціальні заходи для захисту приладів від влучення в них ґрунтових часток. Найбільш поширені способи захисту манометрів і вакуумметрів від засмічення показані на рис. 4.94.

Спосіб рис. 4.94 а передбачає підключення приладу до бачка 2, який через трубопровід 4 промивається чистою водою. Оскільки утрата тиску на регулювальному вентилі 5 значно вища, ніж у каналі, що з'єднує бачок 2 з пульпопроводом 3, тиск у бачку буде таким же, як і в трубопроводі. При цьому рух промивної води у напрямку до пульпопроводу перешкоджає влучанню твердих часток. Спосіб потребує постійного подавання чистої води під тиском, більшим, ніж тиск у пульпопроводі. Навіть тимчасове зниження тиску промивки може призвести до засмічення приладу.

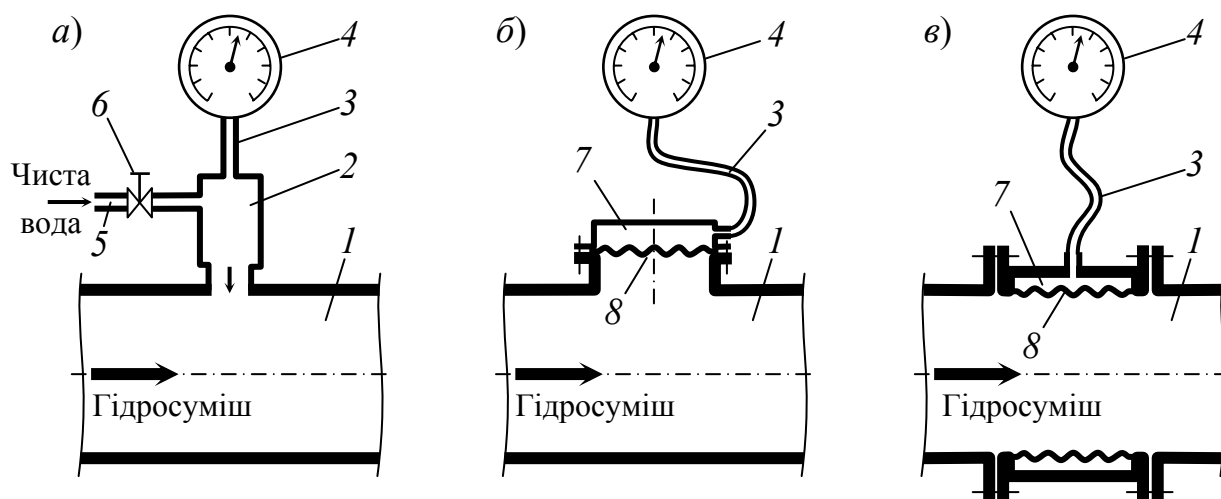


Рисунок 4.94 – Захист вимірювальних приладів від влучання твердих часток промиванням чистою водою (а), роздільниками тиску з плоскою (а) та трубчастою (б) мембранами: 1 – пульпопровід; 2 – промивна камера; 3 – канал передачі тиску; 4 – прилад; 5 – труба подачі промивної води; 6 – вентиль; 7 – порожнина роздільника; 8 – мембрана

Більш надійним є захист приладів за допомогою **роздільників тиску**, рис. 4.94 б, в. Порожнина 7, до якої підключається прилад, за допомогою еластичної мембрани 8 ізолюється від пульпопроводу, завдяки чому досягається надійний захист його від засмічення. Простір між цією мембраною і манометром цілком заповнений передавальною рідиною. Тиск, який діє зовні на мембрану, через рідину, що заповнює, передається на прилад виміру тиску 4 (датчик або манометр), який може бути підключений безпосередньо до роздільника, або через капілярний канал 3.

У якості рідини, що наповнює, використовують силіконову, фторо-вуглецеву або рослинну олію, гліцерин. При установці датчика різниці тисків або диференційного манометра встановлюють два роздільники.

Застосовують роздільники як з плоскою, рис. 4.94 б, так і з трубчастою, рис. 4.94 в, мембранами. Трубчастий роздільник тиску є спеціальною конструкцією для вимірювання тиску в'язких речовин, що течуть. Він складається з ділянки труби, у яку запресована циліндрична мембрана. Оскільки такий роздільник цілком інтегрований у процесуальну лінію, не виникають завихрення, зони нечутливості або інші перешкоди в напрямку потоку. Крім цього, трубчасті роздільники тиску прості і зручні в монтажі, для їхнього встановлення не потрібно передбачати в конструкції спеціальні різьблення або фланці.

Недоліком мембранних роздільників тиску є вплив пружності мембрани на величину показань, який при вимірюванні малих перепадів тиску стає занадто великим. За досвідом досліджень ДонНТУ, в таких випадках добре зарекомендували себе гідростатичні роздільники.

Гідростатичний роздільник тиску, рис 4.95, являє собою ємність, яку розділено на дві частини горизонтальною перегородкою. Нижня порожнина 9 через штуцер 1 підключається до точки відбору тиску і заповнена рідиною, забрудненою твердими частками. Верхня порожнина 6 через отвір 3 заповнюється чистою водою; отвір закривається заглушкою. До штуцеру 8 підключається вимірювальний прилад. Тиск від порожнини 9 у порожнину 6 передається через вертикальну трубку 7. Роздільником між забрудненою 9 і чистою 6 водою є шар повітря 5 у верхній частині пристрою. Для контролю та періодичного чищення пристрою від бруду передбачено отвори 4 і 2. Отвір 4 також служить для випуску повітря з системи.

Пристрій передає без спотворення статичний тиск, але при різких змінах тиску (за долі секунди) пружність шару повітря спричиняє деяку інерційність. Максимальний тиск також обмежений пружністю повітря — забруднена вода при підвищенні тиску не повинна переливатися у порожнину 6.

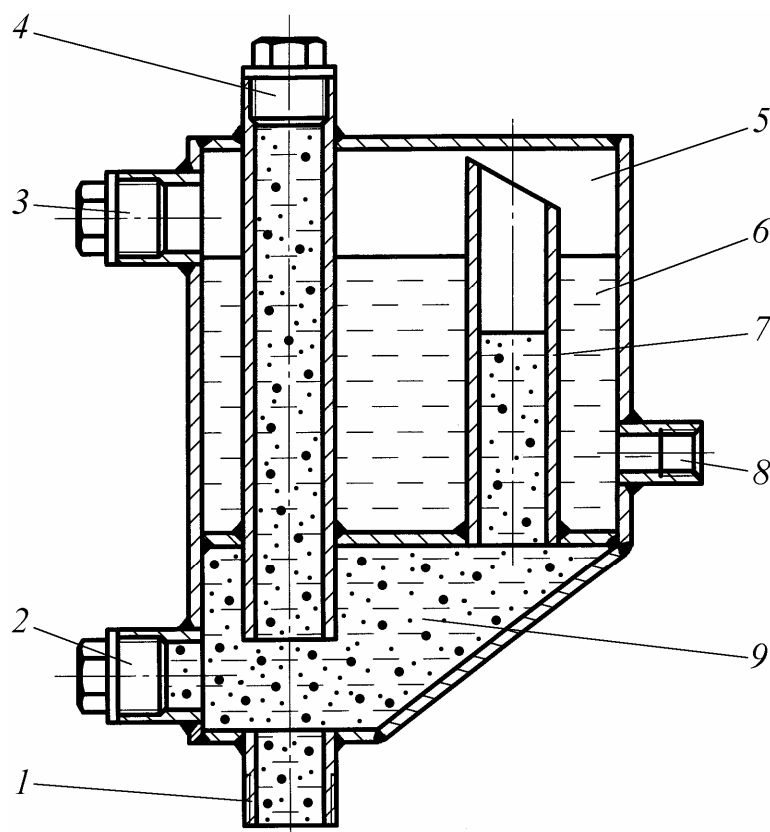


Рисунок 4.95 – Гідростатичний роздільник:

- 1 – патрубок для підключення до лінії;
- 2 – ревізія;
- 3 – штуцер для заповнення чистою водою;
- 4 – штуцер для прочищення і випуску повітря, та для підключення відбірника тиску;
- 5 – шар повітря;
- 6 – чиста вода;
- 7 – трубка для передачі тиску;
- 8 – штуцер для підключення манометра;
- 9 – забруднена рідина

2) Прилади для вимірювання витрати гідросуміші

Наявність у потоці пульпи часток ґрунту унеможливорює застосування для виміру витрати звичайних водомірів. Витратоміри для пульпи поділяються на дві групи: *витратоміри періодичної дії* і *витратоміри безупинної дії*. Останні, у свою чергу, поділяються на наступні підгрупи: витратоміри, засновані на гідравлічному методі виміру, індукційні, акустичні і термічні витратоміри.

Найпростіший спосіб визначення швидкості (витрати) пульпи заснований на вимірі координат параболічної траєкторії струменя, що витікає з горизонтального кінця напірного пульпопроводу. Співвідношення розмірів x і y , рис. 4.96, пов'язані зі швидкістю витікання. Визначивши швидкість і помноживши її на площу перетину пульпопроводу, нескладно одержати витрату.

З механіки відомо, що для горизонтально кинутого тіла зв'язок координат x і y з початковою швидкістю v_0 визначається рівнянням

$$y = \frac{g x^2}{2v_0^2}, \quad \text{або} \quad v_0 = x \sqrt{\frac{g}{2y}}. \quad (4.167)$$

Міряючи параболу, так, як це показано на рис. 4.90, за допомогою спеціального косинця, вертикальний катет якого $y = 0,195$ м, з рівняння (4.167) при $g = 9,81$ м/с² одержимо:

$$v_0 = 5 x. \quad (4.168)$$

Таким чином, для визначення швидкості в пульпопроводі спеціальним косинцем достатньо прикласти його до труби і висувати вперед доти, доки кінець вертикального катета не опиниться приблизно на прикордонних струменях параболі. Вимірявши тоді горизонтальний катет у метрах і помноживши знайдену величину на 5, знайдемо швидкість струменя у метрах за секунду.

Запропонований спосіб визначення витрати можна застосовувати в тих випадках, коли відсутні прилади для більш точного і швидкого виміру швидкостей і витрат у пульповодах. Замість виміру косинцем можна сфотографувати вільний струмінь пульпи і виміри зробити за фотознімком.

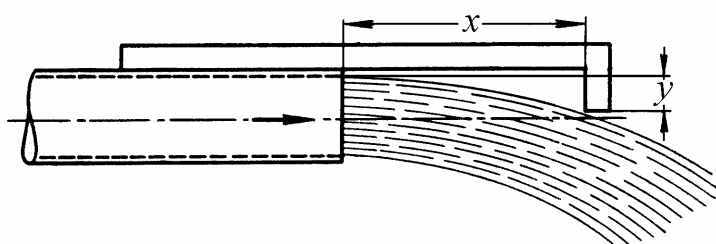


Рисунок 4.96 – Координатний спосіб вимірювання швидкості гідросуміші

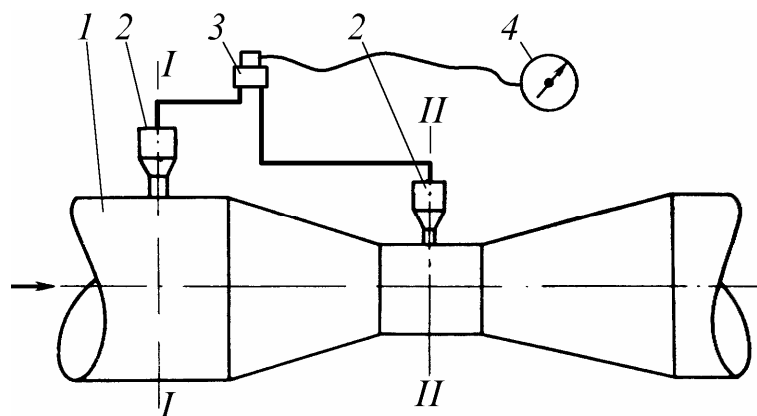


Рисунок 4.97 – Схема витратоміру Вентурі:
 1 – труба Вентурі;
 2 – роздільники;
 3 – диференційний датчик тиску; 4 – індикатор

Простим витратоміром, що дозволяє *безупинно* вимірювати витрату пульпи, є **витратомір Вентурі**. Витратомір Вентурі широко застосовується для виміру витрат чистої води. Спеціальними дослідженнями було доведено, що витратоміри цього типу можна застосовувати і для виміру витрати пульпи.

Принцип дії такого витратоміра, рис. 4.97, заснований на тому, що в перетині II-II малого діаметра, порівняно з перетином I-I, буде зростати швидкість потоку, та відповідно буде падати тиск, причому ця різниця буде тим більше, чим більше буде швидкість або, що те ж саме, витрата рідини, яка протікає через ці перетини. Безупинно міряючи різницю тисків у цих перетинах, будемо одержувати неперервні дані про витрату. Різниця тисків вимірюється спеціальним диференціальним датчиком-манометром. Добір тисків здійснюється через роздільники, які перешкоджають попаданню твердих часток у прилад.

Визначення витрати за допомогою витратоміра Вентурі здійснюється за формулою

$$Q_{\text{гс}} = \mu \omega_2 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_{\text{гс}} \left[1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right]}}, \quad \text{або} \quad Q_{\text{гс}} = A \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_{\text{гс}}}}, \quad (4.169)$$

де μ – коефіцієнт витрати труби Вентури, що дорівнює 0,97...0,98; ω_1 і ω_2 – площі перетинів I-I і II-II; відношення ω_1 / ω_2 приймається рівним 0,5 ... 0,8; $\rho_{\text{гс}}$ – щільність гідросуміші; Δp – перепад тиску між перетинами I-I і II-II; A – постійна труби Вентурі.

Недоліками витратоміру Вентурі є погрішності, що виникають у результаті коливань щільності пульпи та засмічення отворів для добору тисків, а також нелінійність характеристики приладу, яка ускладнює його інтеграцію в системи автоматичного керування.

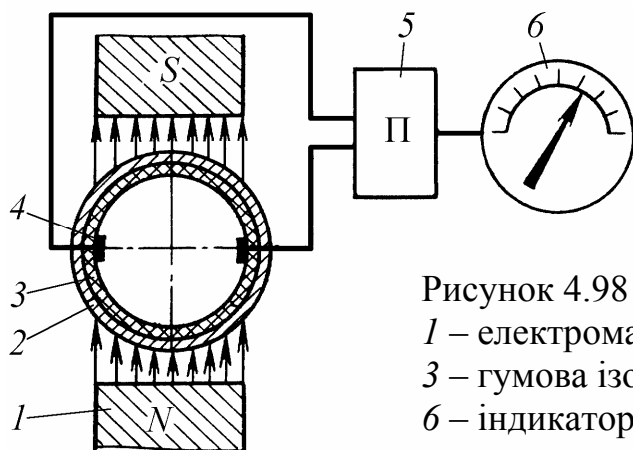


Рисунок 4.98 – Схема індукційного витратоміру:
 1 – електромагніт; 2 – труба з немагнітної сталі;
 3 – гумова ізоляція; 4 – електроди; 5 – підсилювач;
 6 – індикатор

Індукційний витратомір заснований на законі електромагнітної індукції: якщо провідник рухається в магнітному полі, то в цьому провіднику виникне електрорушійна сила, пропорційна швидкості його руху. Принцип дії такого витратоміра показаний на рис. 4.98.

Гідросуміш, що протікає в трубі 2 між полюсами магніту 1, є рухомим провідником, довжина якого буде дорівнювати відстані між електродами 4 або, що те ж саме, діаметру пульпопроводу D . Міряючи електрорушійну силу (різницю потенціалів між електродами), можна вимірювати швидкість пульпи в пульпопроводі. Електрорушійна сила дорівнює

$$E = B D v \cdot 10^{-8}, \text{ В}, \quad (4.170)$$

де B – індукція магнітного поля, Вб/м^2 ; v – швидкість руху рідини. Звідси можемо отримати рівняння характеристики витратоміра

$$Q_{\text{гс}} = \frac{\pi D E \cdot 10^8}{4 B}. \quad (4.171)$$

Труба 2 витратоміра виготовляється з немагнітної нержавіючої сталі, викладеної усередині шаром ізоляції 3 зі зносостійкої гуми, кераміки, поліуретану, тефлону або ін. Електроди 4 введені в трубу так, що вони надійно ізольовані від її стінок. Магнітне поле створюється електромагнітом 1, змонтованим на трубі і закритим водонепроникним корпусом. Сигнал з електродів надходить у схему посилення 5 і далі на вторинний прилад 6, градуйований в одиницях витрати. Датчик може бути встановлений у будь-якому положенні, однак при горизонтальному положенні труби його електроди мають бути розташовані по горизонтальному діаметрі, як показано на рис. 4.98, щоб уникнути ізоляції одного з електродів шаром замулення.

Індукційний витратомір має лінійну характеристику, забезпечує високу точність вимірювання (похибка не перевищує 2 % від верхньої межі вимірів), його показання практично не залежать від фізичних і хімічних властивостей гідросуміші, зокрема від її концентрації. Індукційний витратомір може визначати не тільки витрату, а й напрямок руху рідини. Прилад може бути встановлений на будь-якій ділянці пульпопроводу, у тому числі й у безпосередній близькості від колін або інших вузлів і деталей, він не має звужень, завдяки чому не викликає ніяких додаткових втрат напору.

Ультразвуковий витратомір визначає швидкість потоку рідини у трубопроводі шляхом вимірювання різниці часу проходження звукових імпульсів за напрямком і проти напрямку потоку. Звуковий сигнал у напрямку потоку розповсюджується швидше, ніж у протилежному напрямку. Різниця часу розповсюдження сигналу пропорційна швидкості потоку.

Ультразвукові перетворювачі 1 вбудовуються в стінку трубопроводу 2 під деяким кутом до його вісі, рис. 4.99. Вторинний перетворювач 3 на основі вимірів різниці часу і даних про геометричні параметри датчика (відстані між датчиками, площі перетину трубопроводу та ін.) визначає об'ємну витрату рідини. Для більш надійного та точного вимірювання витрати, компенсації можливих спотворень профілю швидкостей потоку рекомендується встановлювати дві пари ультразвукових перетворювачів. Пристрій дозволяє вимірювати витрату з похибкою не більше 1% від максимальної витрати.

Коріолісові витратоміри визначають масову витрату рідини через величину інерційних зусиль, що виникають при русі потоку по криволінійній траєкторії (через зігнуту трубку). На величину виміру не впливають щільність, в'язкість рідини, розподіл швидкостей по перетину.

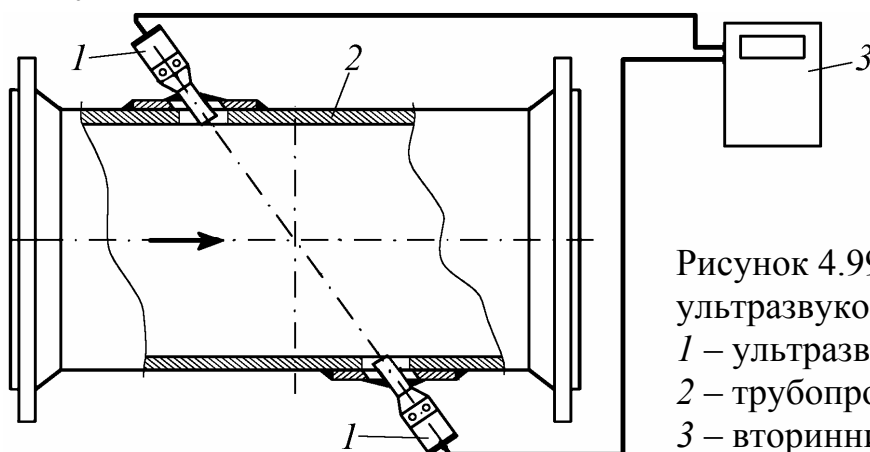


Рисунок 4.99 – Схема
ультразвукового витратоміру:
1 – ультразвукові перетворювачі;
2 – трубопровід;
3 – вторинний перетворювач

3) Прилади для вимірювання концентрації гідросуміші

Концентрація (консистенція) гідросуміші є найважливішим показником, що визначає продуктивність гідромеханізованих робіт і, зокрема, гідротранспорту. Визначення консистенції по непрямим показниках: за показаннями вакуумметра і манометра, за характерними звуками у пульпопроводі й у ґрунтовому насосі, цілком не відповідає своєю точністю загальному технічному рівню механізації гірничих робіт. Крім того, такі методи доступні тільки досвідченим людям і, в кращому випадку, дозволяють судити тільки про відносні зміни консистенції. Тому впровадження надійних консистометрів є однією з першочергових задач підвищення ефективності гідромеханізації.

Існує більше 100 різних типів приладів для виміру консистенції. За принципом дії їх можна розділити на такі класи:

- *періодичні*, що зводяться до періодичного добору проб;
- *вагові*, основані на зважуванні ділянки пульпопроводу;
- *манометричні*, що полягають у вимірюванні перепаду тисків у різних ділянках пульпопроводу;
- *електричні*, що ґрунтуються на вимірюванні електричного опору або магнітного поля в перетині пульпопроводу;
- *ультразвукові*, основані на вимірюванні швидкості поширення у гідросуміші пружних коливань;
- *рентгено- та радіометричні* — фіксується ослаблення гідросумішшю рентгенівського або гамма-випромінювання;
- *світлові* — вимірюється розсіювання і поглинання гідросумішшю світлової енергії.

Періодичне визначення концентрації гідросуміші може вестися шляхом добору проб із пульпопроводу в якусь посудину відомого об'єму і зважування цієї посудини. При цьому щільність $\rho_{\text{гс}}$ і об'ємна концентрація S гідросуміші визначається за залежностями

$$\rho_{\text{гс}} = \frac{m}{V} \quad \text{та} \quad S = \frac{\rho_{\text{гс}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}, \quad (4.172)$$

де V — об'єм зваженої гідросуміші; m — маса цього об'єму гідросуміші; $\rho_{\text{т}}$ і $\rho_{\text{в}}$ — щільності твердої фракції та води.

Такий спосіб недостатньо точний, оскільки проба звичайно не характеризує середнього складу пульпи. До того ж, спосіб непридатний для поточного контролю технологічного процесу через періодичність і трудомісткість проведення вимірів.

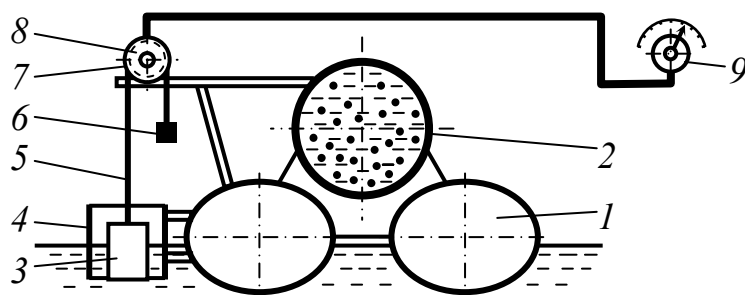


Рисунок 4.100 Схема вагового консистометра: 1 – понтон; 2 – трубопровод; 3 – поплавець; 4 – хвилегасник; 5 – шнур; 6 – вантаж; 7 – шків; 8 – сельсин-датчик; 9 – сельсин-показчик

До **вагових консистометрів** відносяться прилади, основані на вимірюванні змін осадки плавучих пульпопроводів земснарядів, які відбуваються в результаті зміни консистенції пульпи.

Принципова схема такого приладу показана на рис. 4.100. Поплавець 3 підвішений на гнучкій нитці 5 до шківів 7 сельсина 8, що є датчиком. Поплавець урівноважений вантажем 6 і знаходиться усередині циліндра 4, що грає роль хвилегасника. Сельсин-датчик закріплений на понтоні 1 плавучого пульповоду 2, тому зміна осадки понтона при постійній осадці поплавця 3 буде викликати поворот шківів сельсина на відповідний кут. Сельсин-датчик електрично зв'язаний із сельсином-показчиком 9, установленим на пульті в рубці керування землесосним снарядом. Стрілка сельсина-показчика повертається на кут, що дорівнює куту повороту шківів сельсина-датчика. Шкала розмічується у одиницях, що характеризують консистенцію пульпи. Щоб цілком виключити вплив земснаряда на осадку понтона, датчик слід встановлювати на 3, 4 або 5-й ланці плавучого пульповоду, рахуючи від землесосного снаряда.

До недоліків консистометрів, основаних на вимірюванні осадки понтонів плавучого пульповоду, слід віднести такі: прилади цього типу можуть бути використані тільки при наявності плавучого пульповоду; при часткових замуленнях пульповоду прилад буде давати завищені результати; прилад реагує на хвилювання у водоймі і недостатньо чутливий при малих насиченнях гідросуміші.

Консистометр конструкції К. Д. Димінського оснований на безупинному вимірюванні перепаду тиску на похилій ділянці пульповоду. Перепад тиску в перетинах *I-I* і *II-II*, рис. 4.101 а, буде дорівнювати

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho_{\text{гс}} g H + p_{\text{г}}, \quad (4.173)$$

де p_1 і p_2 – тиски відповідно в перетинах *I-I* і *II-II*; H — різниця висот у перетинах *I-I* і *II-II*; $p_{\text{г}}$ – гідравлічні втрати між перетинами *I-I* і *II-II*. Користуючись цим рівнянням, можна визначити за перепадом тисків

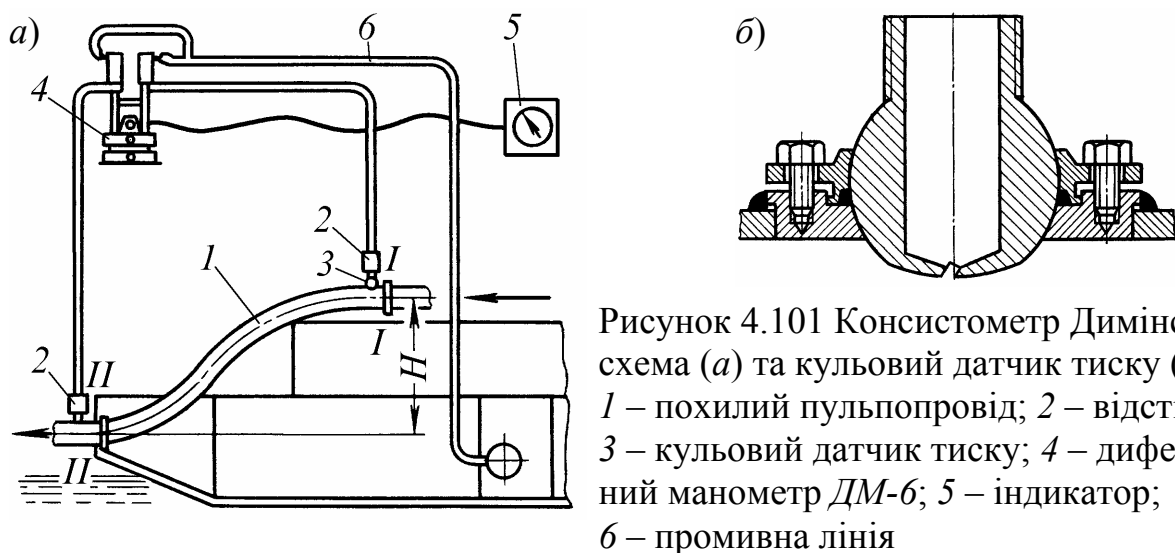


Рисунок 4.101 Консистометр Димінського, схема (а) та кульовий датчик тиску (б):

1 – похилий пульпопровід; 2 – відстійник; 3 – кульовий датчик тиску; 4 – диференціальний манометр ДМ-6; 5 – індикатор; 6 – промивна лінія

щільність пульпи або консистенцію, якщо відоме значення вртат тиску між перетинами *I-I* і *II-II*.

Особливістю консистометра Димінського порівняно з іншими, основаними на тому ж принципі, є використання частини швидкісного напору для компенсації втрат напору між перетинами *I-I* і *II-II* за допомогою спеціального кульового датчику. Встановлюючи кульовий датчик, рис. 4.101 б, отвором назустріч потокові, можна підібрати такий кут, при якому перепад тисків, що відповідає руху в трубопроводі чистої води, дорівнюватиме нулю. Тоді розрахункове рівняння для визначення щільності гідросуміші після виключення гідравлічних втрат тиску прийме вигляд:

$$\rho_{\text{гс}} = \frac{\Delta p}{gH} + \rho_{\text{в}}. \quad (4.174)$$

Перепад тиску Δp вимірюється диференціальним манометром 4 ДМ-6, що підключається до точок добору тиску за допомогою мідних трубок. Відстійники 2 служать для захисту трубок від засмічення частками ґрунту, крім того, передбачається можливість періодичного промивання системи чистою водою через лінію 6. Сигнал від дифманометра, який розташовано у безпосередній близькості від точок виміру, подається на індикатор 5, встановлений у рубці багермейстера.

Консистометр може бути встановлений на будь-якому землесосному снаряді, на якому є похила ділянка напірного пульпопроводу зі зміною висотних оцінок не меншою, ніж 2,5 м. Тому він установлюється, як правило, на кормі снаряда. Через це показання консистометра значно, до декількох десятків секунд, запізнюються, у порів-

нянні з моментом входу відповідної порції гідросуміші до усмоктувального пристрою. Таке запізнювання для цілей автоматичного регулювання є зовсім неприйнятним.

Консистометр ВНДІГС (автор В. В. Длоугий) заснований на вимірюванні перепаду тиску між двома перетинами похилої ділянки усмоктувальної труби землесосного снаряда, рис. 4.102. З метою зменшення запізнювання показань консистометра вимірювальна ділянка обрана в безпосередній близькості від точки ґрунтозабору.

Перепад тиску Δp між двома перетинами похилого пульповоду визначається залежністю (4.173), причому різниця рівнів перетинів становитиме $H = L \sin \alpha$, де L – відстань між перетинами; α – кут нахилу осі пульповоду до горизонту. Тоді щільність гідросуміші

$$\rho_{\text{гс}} = \frac{\Delta p - p_{\text{г}}}{g L \sin \alpha}. \quad (4.175)$$

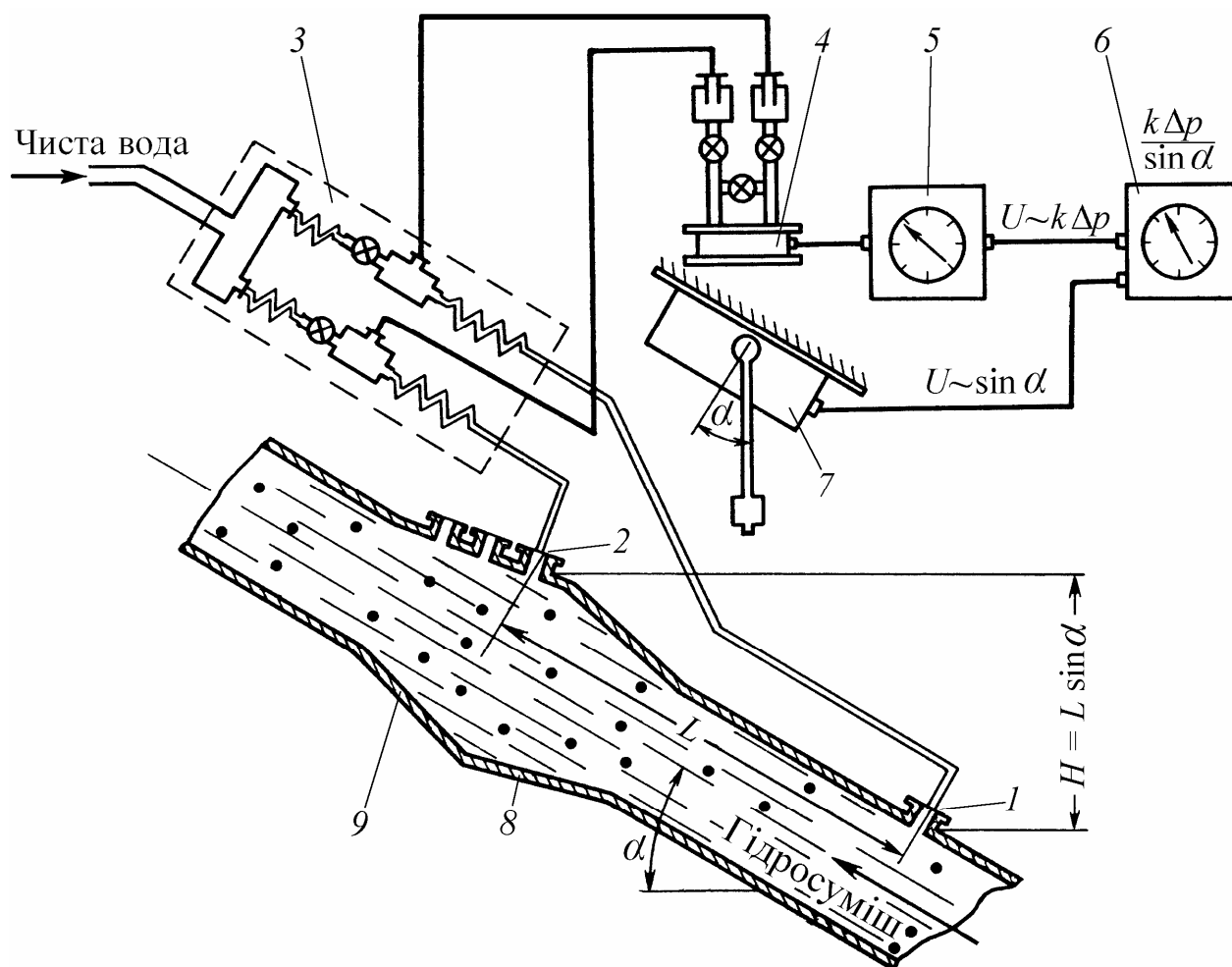


Рисунок 4.102 – Схема консистометра ВНДІГС: 1, 2 – штуцери для відбору тиску; 3 – гідравлічний міст; 4 – дифманометр; 5 – вторинний прилад; 6 – потенціометричний міст; 7 – датчик кута нахилу усмоктувальної труби; 8 – дифузори; 9 – конфузори

Величина гідравлічних утрат p_r на ділянці пульпопроводу впливає на значення безпосередньо вимірюваної величини Δp . Для виключення цього впливу розроблено пристрій, що складається з дифузора 8 і конфузора 9. У дифузорі за рахунок падіння швидкісного напору тиск збільшується, а у конфузорі навпаки — зменшується. На конфузорі можна знайти таку точку 2, у якій збільшення тиску буде компенсувати гідравлічні втрати p_r на довжині L . Якщо у цій точці здійснювати відбір тиску, то вираз (4.175) прийме вид:

$$\rho_{rc} = \frac{\Delta p}{g L \sin \alpha}. \quad (4.176)$$

Цей вираз і є основним рівнянням консистометру ВНДІГС. Необхідну точку на конфузорі підбирають дослідним шляхом. Для боротьби з засміченням штуцерів відбору тиску застосовується схема “гідравлічного моста”, що дозволяє безупинно робити промивання штуцерів чистою напірною водою. Вода від допоміжного насоса через гідравлічний міст 3 безупинно подається до штуцерів 1 і 2, охороняючи їх від засмічення. У діагональ “гідравлічного моста” включений мембранний дифманометр 4 із вторинним приладом 5, що показує величину $k \Delta p$, де k — коефіцієнт моста, що залежить від гідравлічного опору його пліч і звичайно дорівнює 0,5 ... 0,7. Досвід застосування гідравлічного моста для вимірювання перепаду тиску в пульпопроводах показав, що небезпека засмічення вимірювальної системи ґрунтом цілком виключається.

У вираженні (4.176) L є постійною величиною, α виміряються реохордною системою: датчик кута нахилу 7 видає напругу, пропорційну величині $\sin \alpha$. Ділення величини Δp на $\sin \alpha$ здійснюється потенціометричним мостом 6. Стрілка потенціометричного моста показує щільність гідросуміші.

Гамма-консистометри (радіоактивні щільноміри) засновані на тому, що степінь ослаблення γ -променів, які випромінюються радіоактивним елементом, залежить від щільності середовища, через яке ці промені проходять. Схема консистометра показана на рис. 4.103.

Радіоактивний елемент 1 випромінює γ -промені, що, проходячи через пульпопровід 3, потрапляють у прийомний пристрій 2, здатний реєструвати силу випромінювання, яка змінюється залежно від консистенції пульпи. Далі сигнал підсилюється та подається на прилад, що реєструє, або до системи автоматичного керування технологічним процесом.

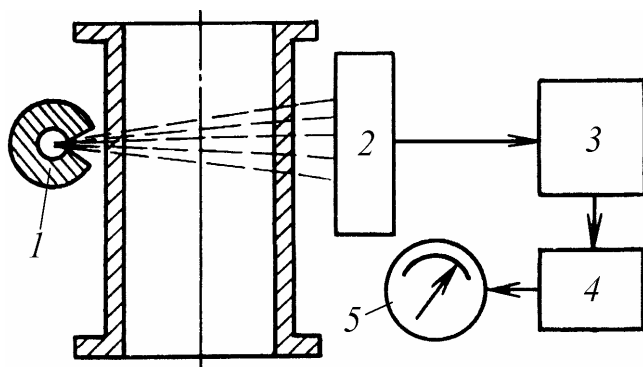


Рисунок 4.103 – Схема гамма-консистометра: 1 – контейнер з джерелом γ -випромінювання; 2 – лічильник γ -випромінювання; 3 – підсилювач; 4 – прибор, що реєструє; 5 – прибор, що показує

Для того щоб гамма-консистометр показував середнє значення консистенції пульпи, його слід встановлювати на ділянках пульпопроводу з досить рівномірним розподілом твердого по всьому перетині труби. Такими ділянками є вертикальні, по можливості максимально віддалені від колін.

Радіоактивні щільноміри мають цілком достатню точність, їхні показання не залежать від швидкості руху гідросуміші, кута нахилу пульпопроводу та інших факторів. Гамма-консистометри практично безпечні в роботі; контейнер із радіоактивною речовиною розрахований так, що по діючих нормах припустима робота на відстані 1 м від нього протягом восьмигодинної зміни. Фактично ж персонал знаходиться значно далі від контейнера.

До недоліків цього типу консистометрів звичайно відносять їх інерційність. Час проходження стрілкою всієї шкали при різкій зміні щільності пульпи складає від 1 до 3 хв.

4) Прилади для визначення продуктивності гідротранспорту

Знаючи витрату та консистенцію гідросуміші, продуктивність гідротранспорту (витрату по гірській масі) можна визначити шляхом перемноження цих величин за допомогою спеціальних пристроїв:

$$Q_T = S Q_{гс}, \quad (4.177)$$

де $Q_{гс}$ – витрата гідросуміші; Q_T – витрата твердого (продуктивність); S – концентрація твердого у гідросуміші.

ВНДІГіМ на базі електромагнітного витратоміра і гамма-консистометра розроблений **електронний витратомір ґрунту ЕРГ-1**, призначений для контролю продуктивності землесосних снарядів.

Прилад визначає миттєву продуктивність снаряда по ґрунту, перемножуючи сигнали від витратоміра та консистометра. Прилад також обладнаний інтегруючим пристроєм, який дозволяє підраховувати кількість ґрунту, яку видобуто за деякий проміжок часу. Похибка визначення продуктивності не перебільшує 2 %.

4.6.2 Автоматизація процесів гідромеханізації

Потоковість технології видобування гірських порід гідравлічним способом створює сприятливі умови для *автоматизації технологічних процесів*. Упровадження систем автоматичного керування і регулювання дозволяє забезпечити надійну роботу гідромеханізованих комплексів. При цьому забезпечується робота всього устаткування в оптимальних режимах, що приводить до зниження енергоємності, збільшення терміну служби устаткування, підвищення якості робіт, зменшення витрат на розробку порід і підвищення культури виробництва. Однак процеси гідромеханізації мають ряд особливостей, які стримують застосування комплексної автоматизації. Ці особливості полягають у тім, що процеси характеризуються багатовимірністю і мають значне транспортне запізнювання. Впливи, що збурюють, мають, як правило, випадковий характер, а статичні і динамічні характеристики об'єктів, які входять у гідромеханізований комплекс, вивчені недостатньо.

Керування гідромеханізованими комплексами пов'язано з необхідністю одержання об'єктивної інформації про режими його роботи. У системі контролю, як правило, виділяються прилади, що контролюють основні параметри, по показниках яких установлюється режим роботи технологічного устаткування, а також прилади для контролю допоміжних операцій і стану окремих вузлів і механізмів. Інформація від приладів контролю основних параметрів характеризує технологічний процес з погляду відповідності його встановленим критеріям. Прилади контролю допоміжних операцій і стану окремих вузлів і механізмів забезпечують інформацію про кінцеві переміщення, про аварійну ситуацію, готовність системи до роботи, послідовність і стійкість допоміжних операцій та ін.

Від вибору основних та допоміжних параметрів роботи гідромеханізованого комплексу буде залежати склад контрольно-виміральної апаратури, інформація від якої надходить у схеми керування і регулювання. Подальша обробка інформації ведеться у спеціальних обчислювальних пристроях, що на підставі отриманої інформації від датчиків і заданих техніко-економічних показників (критеріїв регулювання) вибирають алгоритм керування технологічним процесом. Керуючі пристрої генерують команди, які подаються на виконавчі механізми, що впливають на хід технологічного процесу.

При автоматизації керування *землесосним снарядом* у якості основних технологічних параметрів контролюються щільність та вит-



Рисунок 4.104 – Приклад функціональної схеми системи автоматичного регулювання земснаряда

рата гідросуміші, вакуум і тиск, навантаження двигуна розпушувача. Виконавчими пристроями в системі служать двигуни папільонажних лебідок. Зміною швидкості їхнього обертання регулюється необхідна продуктивність земснаряда. Варіант схеми системи автоматизації керування землесосним снарядом наведений на рис. 4.104.

Забійна землесосна або вуглесосна установка важко піддається автоматизації внаслідок нерівномірного надходження пульпи в зумпф (як по кількості, так і по консистенції) і необхідності мати спеціальні пристрої, які запобігають влученню в насос різних предметів і великих шматків породи, що порушують нормальну роботу насоса. Система автоматики землесосної або вуглесосної установки повинна забезпечити підтримку постійної консистенції пульпи і можливість зміни її витрати. Запуск насоса починається з заливання корпусу водою. Сигналом для запуску може служити наповнення зумпфа пульпою, яке реєструється датчиком рівня. Заливання корпусу насоса водою може здійснюватися іншим насосом або за допомогою *ежектора*. Спосіб заливання ежектором найбільш прийнятний, оскільки підведення води до нього може бути здійснене з напірного водоводу, що проходить поблизу насосної установки. Контроль заливання насоса водою здійснюється спеціальним датчиком, встановленим у верхній частині корпусу землесоса. Плавне регулювання витрати гідросуміші можливе шляхом зміни частоти обертів робочого колеса землесоса, дроселювання трубопроводу, зміни консистенції пульпи.

При проектуванні схеми автоматизації можливе поєднання декількох способів регулювання. На рис. 4.105 показана принципова технологічна схема контролю і керування роботою гідромоніторно-землесосної установки. Гідроустановка включає насосну станцію, що здійснює подачу води до самохідного гідромонітора, і забійну землесосну установку. Високовольтні двигуни насосів і землесосів

оснащені пусковими реостатами. Керування всіма агрегатами здійснюється з центрального пульта. У вихідному положенні перед запуском уся запірна арматура закрыта, а породозабірний пристрій землесоса знаходиться в піднятому положенні. За сигналом оператора запуск насоса здійснюється відкриттям засувки № 1. Після заповнення корпусу насоса водою електродвигун автоматично включається і розганяється. Режим роботи насосної станції може змінюватися в залежності від числа насосів, які працюють одночасно, і режиму роботи кожного насоса. При досягненні заданого режиму відкривається засувка № 2 на водопроводі, що забезпечує готовність до роботи гідромонітора.

Після досягнення номінального тиску у водопроводі відкриваються засувка № 4, що забезпечує заповнення зумпфа водою, і № 5. Відкриття засувки № 5 забезпечує роботу гідромонітора, який керується дистанційно оператором. Вода з водопроводу і гідросуміш поступово наповнюють зумпф, і коли рівень гідросуміші досягне середнього значення, опускається усмоктувальний трубопровід. Одночасно з цим відкривається вентиль ежектора заливання землесоса. Після заповнення корпусу землесоса водою виконується включення і плавний розгін двигуна землесоса.

При нормальній зупинці здійснюється підйом усмоктувального пристрою або переключення його на чисту воду, промивання пульпопроводу, відключення електродвигунів насоса і землесоса. Запірна арматура, що знаходилася у відкритому положенні, закривається. Аварійна зупинка здійснюється у випадках серйозних порушень, які можуть викликати вихід з ладу устаткування або суттєво знизити ефективність його роботи.

З умов експлуатації впливають наступні вимоги до **способів регулювання землесосних та вуглесосних установок**. Спосіб повинний мати значну, порядку 0,3 ... 0,6, *глибину регулювання*; бути *економічним*; виключати можливість виникнення аварійних ситуацій (не допускати закупорювання насоса, трубопроводу та елементів регулюючих пристроїв, перешкоджати виникненню гідравлічних ударів і інших динамічних навантажень); бути надійним у реалізації і не вимагати при цьому дорогого і складного в експлуатації устаткування; не накладати додаткових обмежень на роботу вибоїв.

Усі відомі в даний час **способи регулювання подачі** землесосних та вуглесосних установок поділяються на дві групи:

- 1) регулювання без попереднього переводу насоса на воду;
- 2) регулювання з таким попереднім переводом.

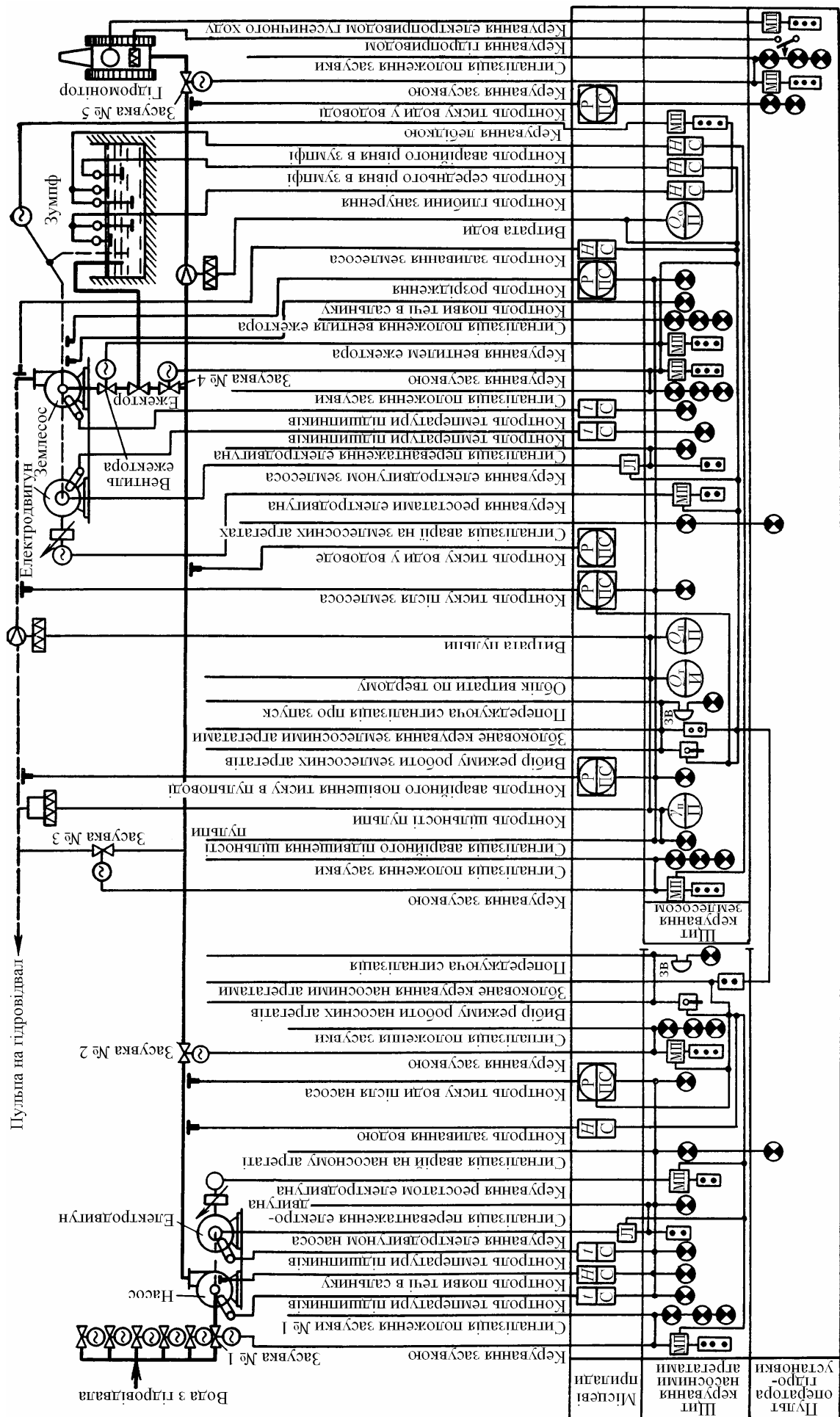


Рисунок 4.105 – Принципова технологічна схема контролю і керування роботою гідромоніторно-землесосної установки

До першої групи відносяться способи регулювання шляхом: зміни *частоти обертання робочого колеса насоса*; *впуску повітря в усмоктувальну лінію*; зміни *консистенції гідросуміші*; *дроселювання напірного трубопроводу*. Перелічені способи мають загальний недолік: усі вони для забезпечення заданої глибини регулювання вимагають збільшення на таку ж величину початкової швидкості потоку, що веде до різкого збільшення втрат на тертя та істотного скорочення довжини транспортування. Тому відзначені способи не відповідають сучасним вимогам, які висуваються до них умовами ефективної експлуатації землесосних та вуглесосних станцій.

У більшій мірі вказаним вимогам відповідають способи другої групи. До них відноситься спосіб, розроблений у ДонНТУ (ДП). Спосіб заснований на використанні усмоктувального пристрою УВ-5 і полягає в попередньому переводі насоса на воду, повному промиванні транспортного трубопроводу на максимальній подачі насоса, та подальшому дроселюванні трубопроводу стандартною засувкою. Цей спосіб протягом ряду років успішно застосовувався на гідрошахті «Червоноармійська №2» у Донбасі і показав достатню ефективність у порівнянні зі способом вмикання-відключення вуглесосів за рівнем гідросуміші в зумпфі, який використовувався раніше. Однак, як показав досвід експлуатації, ефективність застосування цього способу зменшується зі збільшенням довжини транспортування через наявність операції повного промивання транспортного трубопроводу, що споживає близько 50 % усіх непродуктивних витрат води на транспорті.

Для подальшого підвищення ефективності роботи гідротранспорту в ДонНТУ (ДП) був розроблений спосіб регулювання подачі вуглесосної установки, який забезпечував скорочення витрат технологічної води на промивання пульпопроводу. Перед регулюванням подачі вуглесос переводять на воду, але промивають не весь трубопровід, а його незначну частину, зумовлену місцем установки органа, що дроселює. Потім вуглесос переводять на подачу нижче критичної, при якій відбувається осадження твердого компонента потоку на дно трубопроводу, де утвориться стаціонарний шар відкладення, над яким транспортують воду в незначній кількості для підтримки напірного руху в трубопроводі. При переводі вуглесоса на номінальний режим (режим звичайного транспортування), швидкість потоку в трубопроводі збільшують, унаслідок чого шар відкладення зменшується до повного його розмиву.

Значні успіхи досягнуті в *автоматизації гідротранспортної системи гідрошахт*. Гідродинамічні системи дозволяють повністю автоматизувати процес видобування і транспортування корисної копалини, тобто створити комплексно автоматизований, керований ЕОМ, основний технологічний процес шахти. Основу цього процесу становить гідротранспортна система, тобто процеси і установки технологічного водопостачання вибоїв, гідротранспорта і гідропідйому. Технологічні схеми деяких гідрошахт див. рис. 1.19...1.21.

Елементи та об'єкти гідрошахти для створення системи автоматичного керування ними повинні відповідати таким вимогам:

— *засоби виїмки* повинні обладнуватися системами місцевого керування, приладами або датчиками для здійснення як місцевого, так і дистанційного, централізованого керування;

— *система енергетичного водопостачання вибоїв*, що включає насосну станцію і трубопровідну мережу з арматурою, має забезпечувати безперебійну подачу необхідної кількості води з визначеним напором у вибої, для чого вона повинна мати пристрої для регулювання подачі води у вибої, забезпечуватися необхідними приладами для контролю роботи насосів та передачі інформації системі керування;

— *система гідротранспорту в межах виїмальної ділянки* має забезпечувати надійне і безперебійне транспортування тієї по складу гідросуміші, що формується у вибоях, тобто при можливому вмісті сторонніх предметів і крупності матеріалу, зумовленій способом виїмки; повинна бути невимогливою до змін умов транспортування, зокрема, довжини транспортування, та максимально простою (не мати складних механізмів і машин, які б викликали труднощі при зміні довжини транспортування);

— *система гідротранспорту по основних виробках*, що включає вуглесосні станції і трубопровідну мережу, повинна забезпечувати прийом і обробку такої по складу гідросуміші, яка формується у вибоях, безперебійне транспортування обробленої гідросуміші при її перемінному припливі (по обсягу і вмісту твердого матеріалу), мінімальну витрату води на власні потреби (заливання вуглесосів, промивання і заповнення трубопроводів), мінімальні витрати ручної праці на керування, обслуговування і допоміжні операції; система має бути обладнана пристроями для прийому, готування і дозування гідросуміші, засобами видалення сторонніх предметів, дроблення негабаритів, пристроями дозування твердого матеріалу, засобами для

заливання вуглесосів, промивання і заповнення трубопроводів, забезпечуватися приладами контролю і захисту станції та пристроями для передачі інформації керуючій машині.

— *система гідропідйому і транспорту на поверхні* (до збагачувальної фабрики) має забезпечувати безперебійне транспортування гідросуміші при тому ступені нерівномірності подачі, що визначається роботою вуглесосних станцій транспорту, мінімальне споживання води на власні потреби, мінімальні витрати ручної праці на керування, обслуговування і допоміжні операції; система повинна мати засоби для прийому, готування і дозування гідросуміші, пристрої і системи регулювання по подачі, засоби автоматичного керування і механізації допоміжних робіт, необхідні прилади контролю і захисту установок і пристрої для передачі інформації керуючій машині;

— *гідроенерготранспортна система гідрошахти*, як об'єкт автоматичного керування, має бути максимально простою, надійною в експлуатації й економічною, повинна складатися з об'єктів, параметри яких автоматично змінюються в залежності від зміни умов експлуатації, або можуть бути змінені засобами системи керування процесом; система має проектуватися із замкнутим оборотом води (бажано одноконтурним) і мати засоби комплексного оптимального керування.

Практикою експлуатації й аналізом роботи гідроенерготранспортних систем шахт встановлено, що швидкість протікання процесів, великий обсяг інформації і обчислювальних операцій по визначенню стану об'єктів, а також запізнювання керуючих впливів не дозволяють диспетчеру вчасно усунути всі можливі відхилення від нормальних експлуатаційних режимів. Для обчислювальних операцій диспетчер має приблизно 2 ... 3 хвилини, оскільки впливи мають істотні, порядку 6 ... 10 хвилин, запізнювання, обумовлені часом накопичування гідросуміші у вузлах зосередження при регулюванні, а достовірна інформація про збурення може бути отримана за 12 ... 15 хвилин до початку впливу.

Насосна станція як автономний об'єкт керування являє собою вузол зосередження технологічної води (водозбірник) з насосними агрегатами. Збурення, що діють на об'єкт, поширюються по каналах, які мають запізнювання (напірний трубопровід, система подачі води). Вимоги ефективності процесу керування насосною станцією в значній мірі задовольняються властивістю саморегулювання об'єкта. Фільтраційні властивості об'єкта (згладжуюча дія водозбірника) в

реальних установках, як правило, настільки істотні, що збурення від коливання припливу до станції можна не враховувати при побудові систем локального керування. У значній мірі також компенсуються збурення, викликані перемінним споживанням води вибоями. Однак властивість самовирівнювання об'єкта недостатня для компенсації всіх можливих збурень і потрібне обладнання станції пристроями стабілізації параметрів.

Система водопостачання вибоїв являє собою сукупність засобів подачі води до забійних або транспортних механізмів шахти. Збурення, що діють на об'єкт — зміни у роботі виймального механізму, — поширюються з запізненням через рух матеріалу по вибою. Ефективність керування таким об'єктом оцінюється по кількості води, витраченої на відбивання 1 тонни гірської маси, і забезпечується порівняно простими засобами місцевої стабілізації.

Вуглесосна станція як об'єкт керування являє собою вузол зосередження гідросуміші (зумпф) з вуглесосним агрегатом. Збурення (коливання припливу гідросуміші через зміни у роботі вибоїв) мають значне запізнення через велику довжину каналів безнапірного транспортування. Специфіка умов експлуатації вуглесосних станцій не дозволяє створити такі ємності пульповодозбірників, що були б достатні для компенсації можливих збурень. Тому необхідна спеціальна система регулювання подачі станції.

Гідропідйом як об'єкт керування також являє собою вузол зосередження гідросуміші з гідротранспортним агрегатом (ерліфтом, живильником або вуглесосом). Збурення, що діє на об'єкт, (коливання припливу гідросуміші), поширюється як по каналу, що практично не має запізнення (подача гідросуміші напірною транспортною системою), так і по каналу, який має запізнення (подача по безнапірній системі). Ерліфтний підйом, наприклад, має найбільшу здатність акумулювати, і властивість саморегулювання (зміна подачі зі зміною занурення ерлифта). Однак і такий гідропідйом, при наявності місцевої системи автоматизації, без спеціальних засобів керування ним і вуглесосними станціями транспорту, як показує аналіз роботи гідросистеми, не може забезпечити компенсацію збурень.

Гідросистема в цілому як об'єкт керування складається з ряду сукупностей розглянутих вище локальних об'єктів: насосної станції, системи водопостачання вибоїв і гідротранспорту, сукупності вуглесосних станцій, гідропідйомної установки. У гідросистемі вихід одного локального об'єкта (ланки) є входом наступного об'єкта або

об'єктів. Отже, гідросистема складається із сукупності локальних об'єктів, взаємопов'язаних єдністю технологічного процесу.

Основною метою комплексного керування гідросистемою є виконання умов ефективності при відхиленні коливань потоків гідросуміші від розрахункових значень. В особливих випадках, коли параметри установок не дозволяють цілком задовольнити умови ефективності, система керування має виконати єдину вимогу критерію — забезпечити безупинну роботу гідроенерготранспортної системи. Задача керування цією системою зводиться до керування матеріальним балансом окремих ланок (вуглесосних станцій, гідропідйому й ін.).

На рис. 4.106 наведена структурна схема системи керування шахтним гідротранспортом, яка включає центральний диспетчерський пункт (ЦДП), керуючий обчислювальний комплекс (КОК), пункт машинної обробки інформації (ПМОІ), пункт оператора (ПО), пристрій зв'язку з об'єктом (УЗО), мнемощит порадника диспетчеру (М), пульт гірничого диспетчера (ПГД), засоби телемеханіки (ТМ), датчики (Д) тиску, перепаду тиску, рівня, витрати, технологічний об'єкт керування (ТОК), виконавчі органи (ВО) (засувки, усмокту-

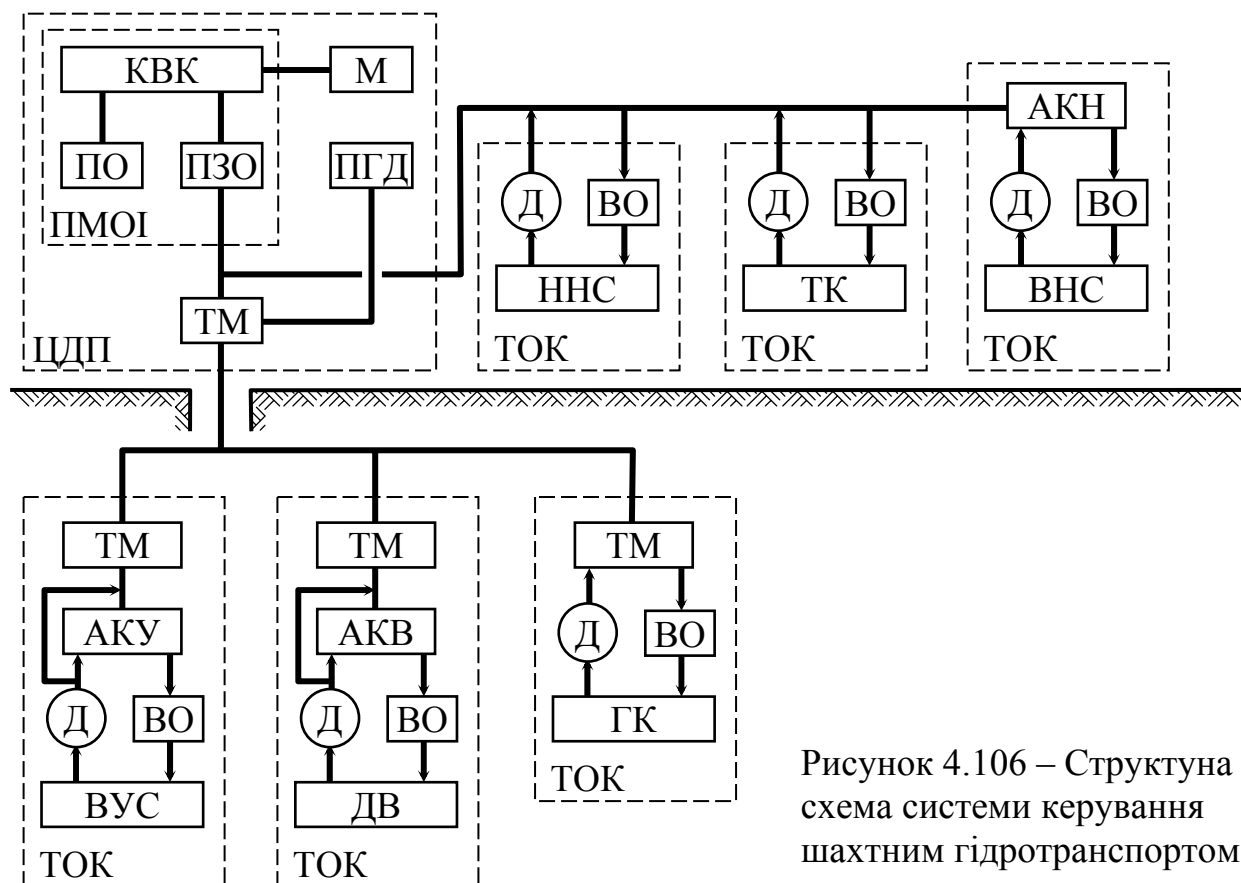


Рисунок 4.106 – Структурна схема системи керування шахтним гідротранспортом

вальні пристрої), високонапірну насосну станцію (ВНС), турбокомпресори (ТК), низьконапірну насосну станцію (ННС), вуглесосну станцію (ВУС), ділянку водопостачання (ДВ), насоси гідрокомплексу (ГК), апарати керування вуглесосною станцією (АКУ), насосною станцією (АКН) і водопостачанням вибоїв (АКВ).

Систему керування гідротранспортною системою шахти АСК-«Гідротехнолог» розробки ДонНТУ (ДПІ), створену за наведеною схемою, було впроваджено на гідрошахті «Червоноармійська» № 2 (Донбас), рис. 4.107.

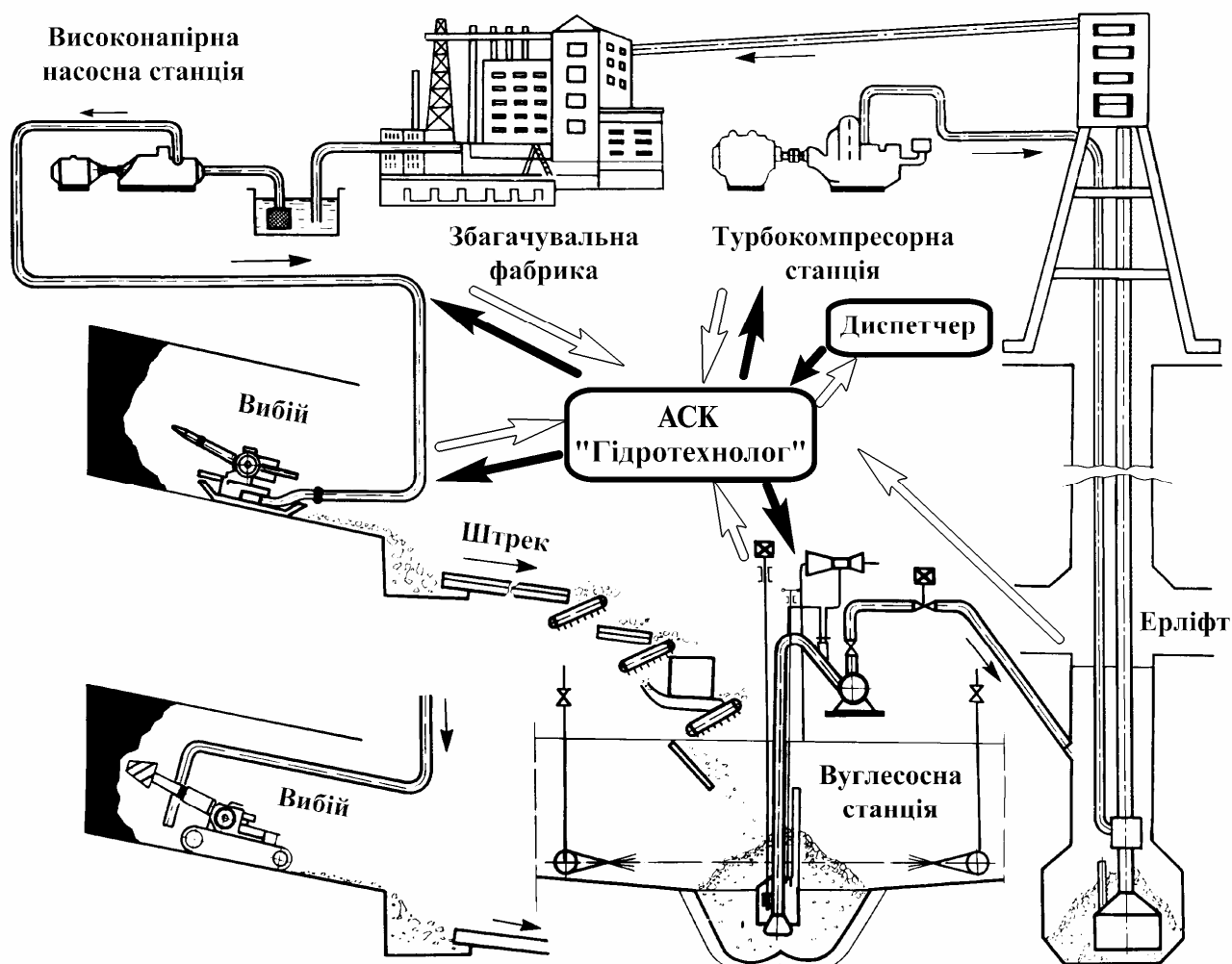


Рисунок 4.107 – Автоматизована система керування гідротранспортною системою шахти АСК-«Гідротехнолог»

Питання для самоперевірки.

1. Що називається гідравлічним транспортом?
2. Як розрізняють гідротранспорт за принципом дії?
3. Що таке гідравлічна крупність часток? Від чого вона залежить?
4. Назвіть особливості руху гідросуміші у вертикальному трубопроводі.
5. Що визначає мінімальну швидкість потоку, при якій можливий гідротранспорт деякого твердого вертикальним трубопроводом.
6. Що таке концентрація гідросуміші? Витратна та дійсна концентрації.
7. Які особливості має рух гідросуміші у горизонтальному трубопроводі. Як він залежить від швидкості потоку?
8. Що таке критична швидкість при гідротранспортуванні?
9. Що таке гранулометричний склад сипкого матеріалу та як він визначається?
10. Назвіть типи гідросумішей. За як вони класифікуються?
11. Як розраховується гідротранспортна установка?
12. Яким чином визначається напір, що створюється насосом при роботі на гідросуміші?
13. Назвіть найбільш поширені інженерні методи розрахунку гідротранспорту.
14. Що називають безнапірним рухом рідини ? Чим він відрізняється від напірного руху рідини у трубі.
15. У чому полягає сутність переносу безнапірним потоком води дрібних твердих матеріалів?
16. Назвіть області застосування безнапірного гідротранспорту?
17. Як розраховують параметри безнапірного гідротранспорту?
18. Типи обладнання, що застосовується для здійснення напірного гідротранспорту.
19. Назвіть основні елементи та поясніть принцип дії відцентрового насоса.
20. Як класифікують відцентрові насоси?
21. Що є основним рівнянням відцентрового насоса? Як побудувати його теоретичну напірну характеристику?
22. Чим відрізняється дійсна напірна характеристика відцентрового насоса від теоретичної?
23. Що називають зоною промислового використання або робочою зоною насоса?
24. Як змінюються подача і напір відцентрового насоса при зміні частоти обертання та зовнішнього діаметра робочого колеса?
25. Що таке кавітація? Чим вона зумовлена у відцентрових насосах?
26. Що називається кавітаційним запасом? Що таке припустимі вакуумметрична та геометрична висоти усмоктування?
27. Чим робочі колеса ґрунтових насосів відрізняються від робочих коліс насосів для однорідних рідин? Які вимоги висуваються до робочих коліс ґрунтових насосів? Як ці вимоги виконуються?
28. Чим відрізняються відкриті та закриті робочі колеса ґрунтових насосів. Які переваги і недоліки вони мають?
29. Назвіть способи захисту робочих коліс та корпусів ґрунтових насосів від зносу.

30. У які способи здійснюється кріплення робочих коліс ґрунтових насосів на валу? У чому переваги і недоліки цих способів?
31. Для чого необхідне ущільнення переднього диска робочого колеса ґрунтового насоса? Які конструктивні рішення застосовують?
32. Назвіть конструктивні рішення ущільнень валів ґрунтових насосів. Як ущільнення захищаються від улучення твердих часток?
33. У чому причина виникнення осьового зусилля? Як воно врівноважується в ґрунтових насосах?
34. Назвіть порядок пуску і зупинки ґрунтових насосів.
35. З яких елементів складається та як працює об'ємний насос?
36. Як визначаються параметри об'ємного насоса?
37. Які переваги та недоліки мають об'ємні насоси, що застосовуються для перекачування гідросумішей?
38. Які особливості конструкції мають мембранні насоси для гідросумішей? У чому полягають їх переваги та недоліки?
39. Які особливості конструкції мають плунжерні насоси для гідросумішей? У чому полягають їх переваги та недоліки?
40. Як улаштовані та працюють гвинтові насоси?
41. Поясніть принцип дії струминного насоса (гідроелеватора). Які він має переваги та недоліки?
42. Наведіть основні параметри та методику розрахунку струминного насоса.
43. З яких елементів складається та як працює ерліфт?
44. Назвіть основні параметри роботи ерліфта. Як вони обчислюються?
45. Як будуються витратна та енергетична характеристики ерліфта? Як визначити оптимальний режим його роботи?
46. Які схеми ерліфтних установок застосовують у різних галузях промисловості, зокрема у гірничій?
47. Яким чином здійснюється гідравлічний розрахунок ерліфта?
48. Які існують варіанти конструкцій усмоктувальних пристроїв, змішувачів та повітровіддільників?
49. Поясніть принцип дії високонапірної гідротранспортної установки УГТ-300.
50. Які типи землесосних установок застосовують при гідромеханізації відкритих гірничих робіт.
51. Поясніть принцип дії усмоктувального пристрою УВ-5.
52. Назвіть способи завантаження твердого у системах гідротранспорту.
53. Які прилади застосовують для виміру вакууму і тиску в пульпопроводах? Як їх захищають від засмічення?
54. Як вимірюють витрату гідросуміші?
55. Як вимірюють концентрацію гідросуміші?
56. Які особливості мають гідромеханізовані комплекси як об'єкт автоматизованого керування?
57. Як автоматизується керування землесосним снарядом?
58. Як автоматизується керування землесосною або вуглесосною установкою?
59. За якою схемою здійснюється комплексна автоматизація керування гідрошахтою?

5 ЗНЕВОДНЮВАННЯ ГІРСЬКОЇ МАСИ ТА ПРОЯСНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВОДИ

5.1 Засоби згущення та зневоднювання гірської маси

5.1.1 Загальні відомості

При гідромеханізації гірничих робіт гірська маса з вибою видається у вигляді гідросуміші, що складається з корисної копалини, породи і води. Гідросуміш надалі має бути розділена на корисну копалину, породу і воду визначеної якості. Вода може використовуватися повторно у технологічному циклі або на інші потреби, а може скидатися у водойми, ріки, озера.

Зневоднювання — процес видалення води з корисної копалини і продуктів збагачення. Розрізняють механічне і термічне зневоднювання. До механічного зневоднювання відносять дренавання, згущення, фільтрування. Термічне зневоднювання — це видалення води випаром. У процесах гідромеханізації гірничих робіт необхідність зневоднювання корисної копалини виникає при неможливості подальшої переробки і використання копалини у вигляді гідросуміші або при необхідності переміщення її конвеєрним чи іншим механізованим транспортом.

Кількісна міра вмісту води в продукті — **вологість** — відношення маси води в продукті до маси сирого продукту:

$$W = \frac{m}{M + m} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

де m — маса води; M — маса сухого продукту.

Розрізняють обводнені (рідкі), мокрі, вологі, повітряно-сухі і сухі продукти. *Обводнені* (рідкі) продукти містять не менш 40 % води і мають рухливість рідини. *Мокрі* містять від 15 до 40 % вологи і не мають рухливості рідини, частина води з таких продуктів може виділятися при збереженні, транспортуванні і перевантаженнях. *Вологі продукти* містять від 5 до 15 % вологи і не мають плинності. В вологих продуктах не міститься вільної вологи. *Повітряно-сухі* продукти сипучі. Волога, що конденсується на поверхні часток, не перевищує 5 %. *Сухі* продукти не містять вологи.

У процесах гідромеханізації зневоднювання гірської маси забезпечується до рівня вологих продуктів. Ефективність процесу зневоднювання визначається за залежністю:

$$\eta = \frac{W_{\text{н}} - W_{\text{з}}}{W_{\text{н}}} \cdot 100\% , \quad (5.2)$$

де $W_{\text{н}}, W_{\text{з}}$ – вологість продукту до і після зневоднювання.

У процесах гідромеханізації зневоднювання здійснюється шляхом дренування вологи на нерухомих або рухливих поверхнях, що просіюють. Способи зневоднювання і процеси, що застосовуються для цього, залежать від конкретних виробничих умов, гранулометричного і мінералогічного складу твердої фази, її міцності і концентрації гідросуміші. Ці процеси можуть виконуватися в безпосередній близькості від вибою, у тому числі й у підземних умовах, на спеціальних зневоднювальних або збагачувальних фабриках, розташованих безпосередньо біля гірничого підприємства чи на території споживача корисної копалини.

При відкритих розробках процеси зневоднювання зазвичай суміщуються зі складуванням гірської маси та освітленням води у *гідровідвалах*. Якщо технологічний процес потребує негайного вилучення корисної копалини з гідросуміші без її складування у гідровідвалі, або при суміщенні операції зневоднювання зі збагаченням чи класифікацією матеріалу, застосовуються спеціальні зневоднювальні пристрої — *грохоти* різних типів, *гідроциклони*, *гідрокласифікатори*.

При підземних гідромеханізованих розробках основною є схема, у якій гідросуміш насосами, ерліфтами або іншими гідропідйомними пристроями видається на поверхню і транспортується до збагачувальної фабрики, де здійснюється збагачення, класифікація та зневоднювання корисної копалини, а також освітлення технологічної води, див. рис. 1.19 ... 1.21. На підставі проведених експериментальних досліджень і досвіду промислового застосування гідромеханізації для проведення вироблень на шахтах зі звичайною технологією видобутку підтверджена можливість зневоднювання гірської маси й прояснення технологічної води в підземних умовах. При цьому можливе повторне використання цієї води в якості технологічної, за умови виконання припустимих технічних норм наявності у воді зважених часток.

Згущення — процес, який полягає у підвищенні концентрації твердої фази в гідросуміші. Згущення гідросуміші у згущувачах різних конструкцій здійснюється під дією *гравітаційних* або *відцентрових сил*. При згущенні одержують два продукти: згущений з високим вмістом твердої фази, і злив з невеликим вмістом твердого. Вміст твердого в згущеному продукті коливається від 40 до 70 %.

При згущенні можуть вирішуватися дві задачі: одержання згущеного продукту з максимально можливою концентрацією твердої фази й одержання зливу з мінімальною концентрацією твердих часток. В останньому випадку згущення називають *проясненням*. На практиці ці дві задачі інколи вирішуються одночасно.

Ефективність процесу згущення значною мірою визначається крупністю часток: чим вони крупніше, тим вище швидкість їхнього осадження.

Гідравлічна класифікація являє собою процес поділу зерен по крупності в умовах стиснутого падіння зерен у водяному середовищі. Частки різних розмірів мають різну гідравлічну крупність, тобто осаджуються у рідині з різною швидкістю. Це дозволяє здійснити розділення твердого на фракції. Класифікація, як і згущення, може здійснюватися як під дією гравітації, так і під дією відцентрових сил.

5.1.2 Гідроциклони та гідрокласифікатори

Гідроциклони застосовуються для згущення гідросуміші та відділення від основної маси твердого зерен, розмір яких менший за 0,15 мм, разом з пилоподібними і глинистими частками. Для згущення особливо тонких матеріалів застосовують батареї гідроциклонів, що дозволяють одержати злив із крупністю твердого до 0,01 мм.

Принцип роботи гідроциклона, рис. 5.1, полягає в наступному. Гідросуміш подається в гідроциклон через живильний патрубок 1 по дотичній до бічної поверхні циліндричної частини 4 корпусу. Завдяки тангенціальній подачі гідросуміш здобуває обертальний рух, і у корпусі утворюються два різноспрямовані вихрові потоки: зовнішній, що рухається уздовж стінок корпусу униз до піскової насадки 6, і внутрішній, що переміщується уздовж вісі циклона уверх до зливального патрубка 3.

Великі частки твердого під впливом відцентрової сили концентруються поблизу від стінок гідроциклона, по спіральній траєкторії опускаються вниз і розвантажуються через насадку 6 у вигляді концентрованої пульпи. Тонкі частки (менші за граничну крупність для даного гідроциклона) захоплюються радіальним потоком і видаляються через зливальний патрубок 3.

Гідроциклони виготовляють литими або зварними, з футерівкою внутрішньої поверхні зносостійкими матеріалами: кам'яним литтям або гумою. Конструкції промислових гідроциклонів розрізняються співвідношеннями геометричних розмірів і кутом конусності, фор-

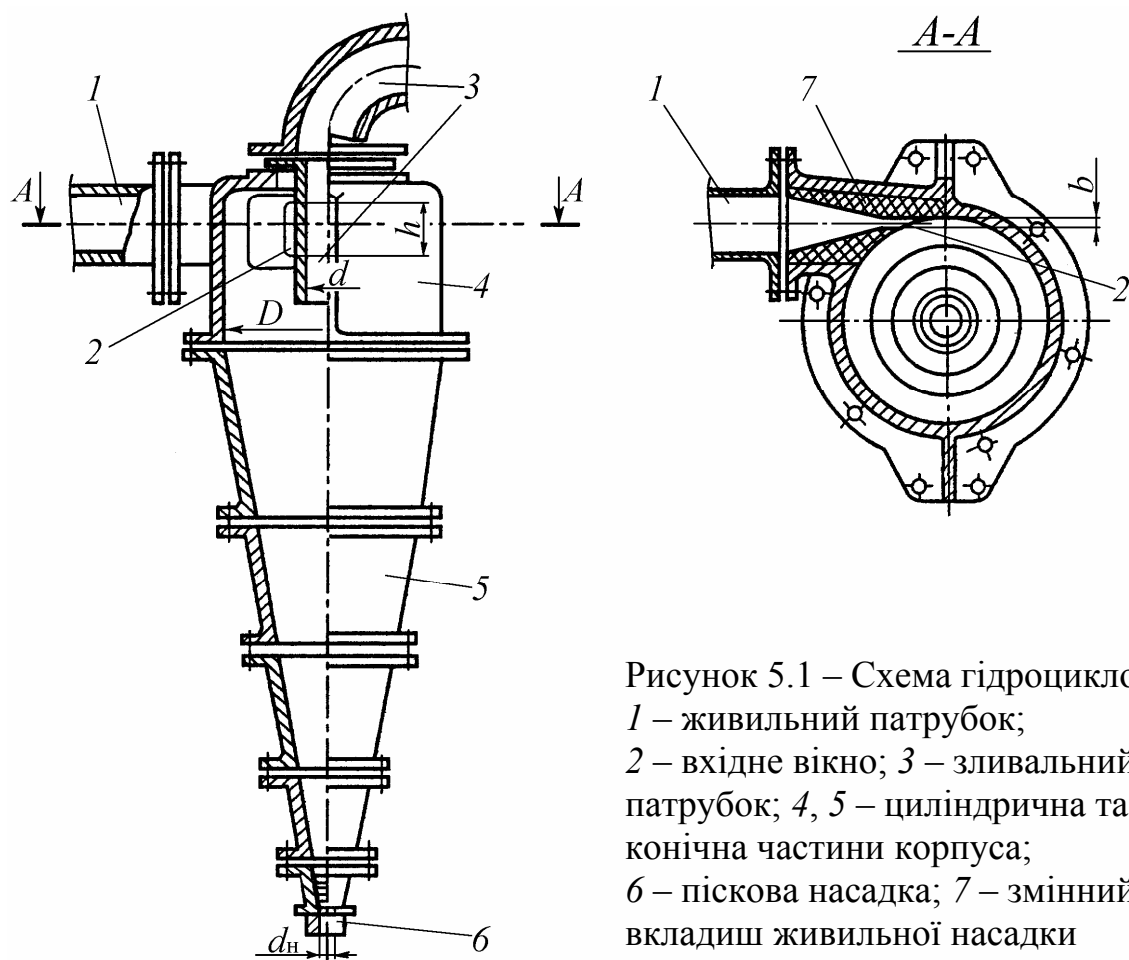


Рисунок 5.1 – Схема гідроциклону:
 1 – живильний патрубок;
 2 – входне вікно; 3 – зливальний патрубок;
 4, 5 – циліндрична та конічна частини корпусу;
 6 – піскова насадка; 7 – змінний вкладиш живильної насадки

мою живильного патрубку, способами регулювання розміру отвору насадки 6 і положення зливального патрубку 3. Серед параметрів визначальними для роботи гідроциклонів є наступні.

Розвантажувальне співвідношення d_n/d , де d_n і d – діаметри отворів піскової насадки і зливального патрубку, змінюється у межах 0,2 ... 0,9. Зі збільшенням розвантажувального співвідношення зменшуються крупність і вміст твердого у зливі, але пульпа на виході з насадки стає менш концентрованою.

Розмір отвору живильної насадки визначає продуктивність гідроциклону по гідросуміші. Еквівалентний діаметр насадки

$$d_{\text{ж}} = 1,125\sqrt{b h}, \quad (5.3)$$

де b і h – розміри отвору насадки прямокутної форми. Оптимальне значення $d_{\text{ж}}$ складає 0,15 ... 0,25 діаметра гідроциклону D . Оптимальний діаметр зливального патрубку має бути (0,2 ... 0,3) D .

Кут конусності гідроциклонів, призначених для класифікації пісків, приймають рівним 20°, для класифікації тонкодисперсних гідросумішей — 5 ... 10°, для згущення гідросуміші — 20 ... 45°, для прояснення води — 5 ... 15°.

Глибину занурення зливального патрубку в гідроциклон приймають рівною $(0,3 \dots 0,5) D$. Зливальний патрубок встановлюють таким чином, щоб його нижній кінець не досягав основи конуса, але був нижче рівня вхідного патрубку. Збільшення глибини занурення зливального патрубку приводить до збільшення крупності зливу.

Тиск на вході в гідроциклон при роботі останнього у відкритому циклі не повинний бути меншим 40 кПа, а для гідроциклонів, які працюють у замкненому циклі, — не менш 80 кПа.

Технологічний розрахунок гідроциклонів полягає у визначенні продуктивності, розміру отвору піскової насадки, вмісту твердого у продуктах розділення і характеристик крупності цих продуктів.

Продуктивність гідроциклона по живленню, за даними Поварова, становить

$$Q_{\text{гс}} = 0,3 K_D K_\alpha d_{\text{ж}} d \sqrt{gH}, \quad (5.4)$$

де H — напір перед живильною насадкою; K_D , K_α — коефіцієнти, що враховують вплив діаметра D і кута конусності α апарата:

$$K_D = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 10D}; \quad K_\alpha = 0,79 + \frac{0,044}{0,379 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (5.5),$$

Граничний розмір часток, при невеликому вмісті твердого у гідросуміші (до 15%), можна визначити за формулою

$$d_{\text{гр}} = 260 \sqrt{\frac{D d}{d_{\text{ж}} \sqrt{H}} \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}}}, \text{ мкм.} \quad (5.6)$$

Гранична гідравлічна крупність часток, за даними Скирдова та Пономарьова, становить

$$v_{0 \text{ кр}} = 0,01533 \frac{k_{\text{т}}}{k_3} \frac{D^3}{Q_{\text{гс}}}, \quad (5.7)$$

де $k_{\text{т}}$ і k_3 — коефіцієнти, що враховують відповідно турбулентність та згасання тангенціальної швидкості у гідроциклоні; $k_3 \approx 0,45$; значення $k_{\text{т}}$ залежить від діаметра циклона: при $D = 0,075$ м — $k_{\text{т}} = 0,04$; при $D = 0,25 \dots 0,5$ м — $k_{\text{т}} = 0,02 \dots 0,03$.

Якщо один гідроциклон заданої продуктивності не забезпечує необхідної граничної крупності, застосовують *батареїні гідроциклони*, які складаються з кількох циклонів меншого діаметра, кількість яких визначається необхідною сумарною продуктивністю по гідросуміші. Параметри гідроциклонів наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри гідроциклонів

Параметри	Гідроциклони							
	ГЦ-5	ГЦ-7,5	ГЦ-15	ГЦ-25	ГЦ-36	ГЦ-50	ГЦ-71	ГЦ-100
Діаметр гідроциклона, мм	50	75	150	250	360	500	710	1000
Діаметр отворів, мм:								
живильної насадки (еквівалент.)	10...20	15...30	24...40	40...60	50...70	60...100	155...175	175...200
зливного патрубку	10...25	15...38	40...70	50...100	70...150	100...220	150...300	200...400
піскової насадки	6...12	8...17	12...24	17...35	24...50	34...180	48...200	80...250
Кут конусності, град	10	10	20	20	20	20	20	20
Продуктивність по гідросуміші при тиску 100 кПа, м ³ /год	1...8	3...16	12...40	20...64	35...125	65...250	250...500	280...1000
Граничний розмір часток, мкм	18...50	22...60	25...100	35...140	40...160	50...200	60...250	70...280
Габаритні розміри, мм (не більше):								
довжина	200	300	400	600	700	800	1100	1500
ширина	250	350	450	650	750	900	1200	1600
висота	400	600	1000	1400	1800	2500	3500	4500
Маса гідроциклона, кг (не більше):	30	50	150	300	500	700	1500	3000
литого зі зносостійкого чавуну								
сталевого, футерованого								
кам'яним литтям	—	—	110	220	360	600	1250	1900
гумою	—	—	70	131	200	327	655	1200

Гідрокласифікатори, на відміну від гідроциклонів, при поділі матеріалу використовують силу ваги зерен і розділяються на класифікатори з *висхідним* і *горизонтальним* потоком. Найбільше поширення в практиці гідромеханізації одержали класифікатори з висхідним потоком води, рис. 5.2.

Принцип дії гідрокласифікатора полягає у розділенні часток твердого за їхньою гідравлічною крупністю. Гідросуміш з патрубку 1 потрапляє до сепараційної камери 3. Рідина рухається камерою знизу нагору з невеликою швидкістю, оскільки площа поперечного перетину камери значно більша, ніж площа перетину пульпопроводу. Дрібні частки, швидкість стиснутого падіння яких не перевищує швидкість руху висхідного потоку в камері, уносяться потоком нагору і відводяться по патрубку 4. Великі частки осідають на конічне днище камери і зісковзують у збірник 5, звідки потоком води, що підводиться до патрубку 2, виносяться до патрубку 6.

Гранична крупність часток у такому гідрокласифікаторі залежить від швидкості висхідного потоку у сепараційній камері. Технічні характеристики гідрокласифікаторів типу ГКД приведені в табл. 5.2.

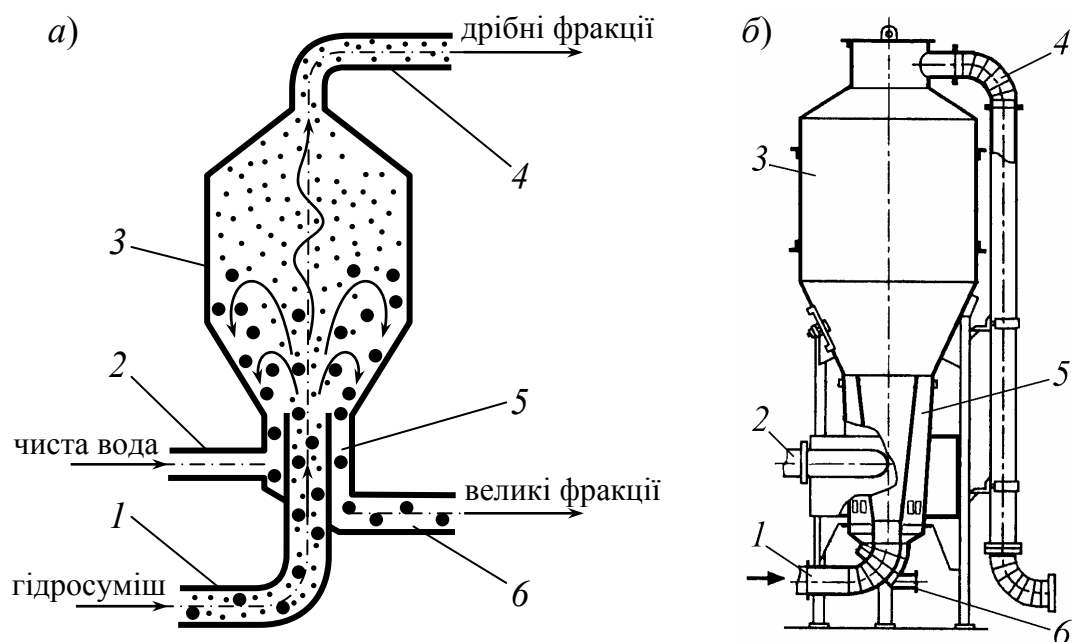


Рисунок 5.2 – Схема (а) та конструкція (б) гідрокласифікатора ГКД:
1 – патрубок подачі гідросуміші; 2 – патрубок подачі чистої води; 3 – сепараційна камера; 4 – патрубок відведення дрібної фракції; 5 – збірник великої фракції; 6 – патрубок відведення великої фракції

Таблиця 5.2 – Характеристики гідрокласифікаторів типу ГКД

Параметри	Типорозмір гідрокласифікатора				
	ГКД-2-100	ГКД-2-400	ГКД-2-800	ГКД-2-1200	ГКД-2-1600
Продуктивність по вихідній гідросуміші, м ³ /год	100	400	800	1200	1600
Продуктивність по твердому, м ³ /год	20	60	100	200	300
Вихід великих фракцій, м ³ /год	14	42	70	140	210
Витрата води на гідротранспортування, м ³ /год	70	210	350	700	1050
Витрата води на класифікацію, м ³ /год	100	180	230	580	740
Максимально припустимий розмір твердої фракції, мм	50	50	50	100	100
Висота гідрокласифікатора, мм	3750	5500	6500	9500	11500
Діаметр вхідного отвору, мм	159	273	325	478	630
Площа перетину сепараційної камери, м ²	0,635	1,76	2,82	5,82	6,60

5.1.3 Грохоти

У практиці гідромеханізованих робіт для сортування та часткового зневоднювання гідросуміші найбільше розповсюдження одержали конічні і дугові **гідрогрохоти**, рідше застосовуються колосникові, рухомо-колосникові грохоти і віброгрохоти.

Дуговий грохот, рис 5.3 а, має щілинне сито 3 у формі дуги окружності. Гідросуміш надходить по патрубку 1 до розширника 2, з якого у вигляді плоского струменя потрапляє на дугове сито 3. На потік, що рухається з високою швидкістю круговою траєкторією, діє відцентрова сила, яка забезпечує ефективне розділення гідросуміші: вода та дрібні частки (розмір яких менший, ніж розмір щілин сита) проходять крізь сито і потрапляють у порожнину корпусу 4, звідки відводяться патрубком 5. Великі шматки твердого скочуються по сити і потрапляють у приймальний бункер або на конвеєр.

Необхідна площа сита визначається за формулою

$$F_c = \frac{Q_b}{q_c}, \quad (5.8)$$

де Q_b – витрата води, яку треба видалити; q_c – навантаження на 1 м² площі сита; $q_c = 0,06 \dots 0,08$ м/с для сита з розміром щілини 0,5...1 мм.

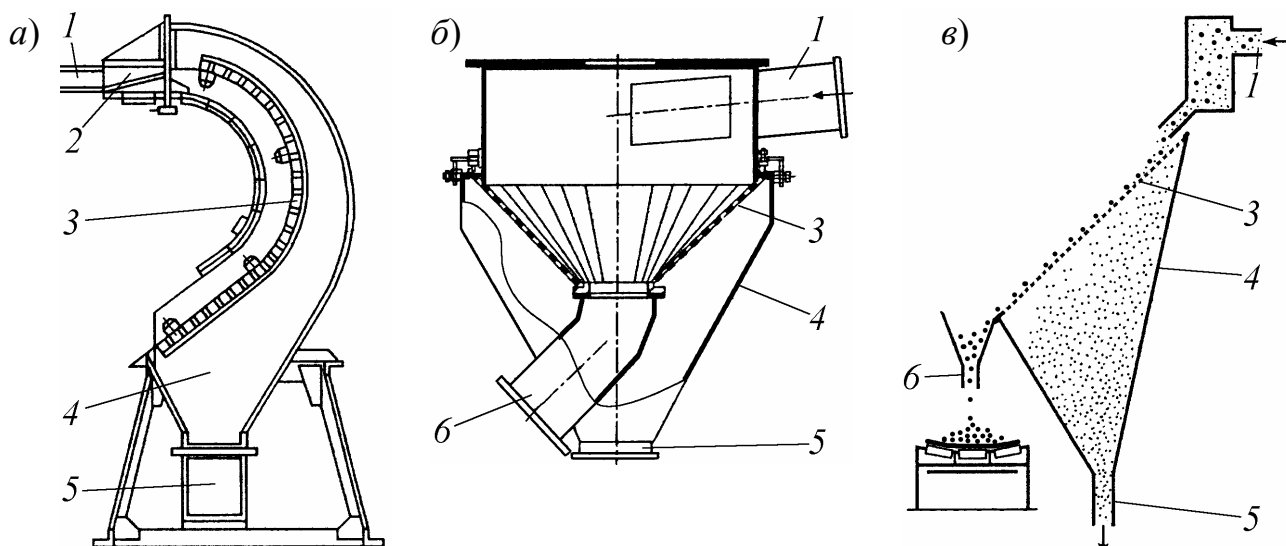


Рисунок 5.3 – Схеми дугового (а), конічного (б) та колосникового (в) грохотів: 1 – патрубок подачі гідросуміші; 2 – розширник потоку; 3 – сито; 4 – корпус; 5 – патрубок відведення води з дрібною фракцією; 6 – патрубок відведення великої фракції

Для того, щоб потік рухався по дуговому сити, не відхиляючись, швидкість струменя повинна складати

$$v_{\text{ст}} = (1,2 \dots 1,5) \sqrt{R_c g}, \quad (5.9)$$

де R_c – радіус сита.

Конічний гідрогрохот, рис 5.3 б, складається з внутрішнього і зовнішнього циліндрів, що переходять у конуси. Внутрішній циліндр і конус являють собою сито 3. Гідросуміш подається по патрубку 1, тангенціально врізаному у внутрішній циліндр, завдяки чому утворюється обертальний рух води. Відцентрова сила віджимає потік до стінок циліндра. Дрібні частки і вода, проходячи через отвори сита 3, попадають у порожнину корпусу 4 і видаляються через патрубок 5.

Таблиця 5.3 – Характеристики дугових гідрогрохотів

Параметри	Типорозмір дугового сита		
	СД-1	СД-2А	СДО-3
Продуктивність по вихідній гідросуміші, м ³ /год	200	400	500
Макимально припустимий розмір твердої фракції, мм	6	6	60
Ширина щілини, мм	0,5...3,0	0,5...2,0	0,5
Корисна площа сита, м ²	0,95	1,9	3
Маса, кг	300	500	832

Великі шматки залишаються всередині конуса 3 та, утративши швидкість, потрапляють у трубу 6 і видаляються з грохота. Оптимальним кутом конусності сита слід вважати кут 90° при вершині.

Розрахунок конічних грохотів робиться з умови, що швидкість гідросуміші на вході не повинна бути меншою 2,5 ... 3 м/с. Діаметр отвору сита приймається в 2,5 .. 3,5 рази більше граничного розміру зерна. Витрата гідросуміші, що проходить через сито грохота, для сит із круглими отворами становить

$$Q_{\text{Гс}} = 0,28 b D_{\text{Г}} v_{\text{Вх}} \frac{F_{\text{Отв}}}{F_{\text{с}}}, \quad (5.10)$$

а для щілинних сит

$$Q_{\text{Гс}} = 0,44 b D_{\text{Г}} v_{\text{Вх}} \frac{F_{\text{Отв}}}{F_{\text{с}}}, \quad (5.11)$$

де b – ширина потоку при вході на грохот (приймається рівною діаметру підвідного патрубку); $v_{\text{Вх}}$ – швидкість потоку на вході у грохот; $D_{\text{Г}}$ – діаметр грохота; $F_{\text{Отв}}$, $F_{\text{с}}$ – сумарна площа отворів чи щілин та загальна площа сита; для конічних грохотів $F_{\text{Отв}} / F_{\text{с}} = 0,2 \dots 0,4$.

Колосникові грохоти мають найбільш просту конструкцію, рис 5.3 в, і ефективні для відділення з гідросуміші великих фракцій ($d > 100$ мм). Нахил грохота звичайно складає $30 \dots 50^\circ$. Недолік цих грохотів полягає в частому забиванні щілин великошматковим матеріалом, тому ефективність колосникових грохотів звичайно не перевищує $60 \dots 70\%$.

Вібраційні грохоти відрізняються від колосникових тим, що монтуються на каркасі, підвішеному або встановленому на пружинах з ухилом $15 \dots 20^\circ$, що дає компактні по висоті конструкції установок. Каркас приводиться в коливання вібратором. Зворотно-поступальні коливання каркаса викликають переміщення матеріалу уздовж сита, у результаті чого відбувається просівання. Для підвищення ефективності розподілу матеріалу з гідросуміші доцільна установка перед грохотом згущувача.

Рухомо-колосникові грохоти за принципом дії відносяться до зневоднювальних транспортерів, у яких зневоднювально-транспортуюча поверхня утворена з секцій колосникових решіток. Конструкцію і принцип дії рухомо-колосникового грохота розглянуто нижче.

5.1.4 Зневоднювальні транспортери та елеватори

У практиці гідромеханізації добре зарекомендували себе засоби, що поєднують функції зневоднювання та транспортування або підйому гірничої маси — **зневоднювальні транспортери та елеватори**.

Рухомо-колосникові грохоти типів *ГПК* (для відділення негабаритів) та *ПКО* (для зневоднювання), рис. 5.4, приймають гідросуміш на поверхню, що транспортує, яку утворюють щільно прилягаючі секції колосникової решітки 3. Секції шарнірно закріплені на двох петлях тягового ланцюга 4, який натягнуто між зірочками 1 та 7. Ланцюг приводиться у рух ведучою зірочкою 1. Секції верхньої напівпетлі знаходяться в горизонтальному положенні, а нижньої — займають вертикальне положення та забезпечують вільний прохід воді. Вода з дрібними частками, які пройшли крізь решітку, збирається у лоток 8, а зневоднені великі фракції скидаються у лоток 9.

Секції решіток грохоту типу *ПКО* набираються з дроту трапецеїдального перетину. Розміри щілин визначаються кількістю і консистенцією пульпи, що надходить, а також гранулометричним складом матеріалу, що зневоднюється. Характеристику грохотів *ГПК* і *ПКО* наведено у табл. 5.4.

Спостереженнями за роботою грохота *ПКО-1* в промислових умовах встановлено, що зневоднювання породи і вугілля відбувається практично цілком. Вологість зневодненої маси складає 8 ... 19 %, винос твердого в підрешітний продукт становить 17... 54 г/л або 15 % від вихідного обсягу твердого.

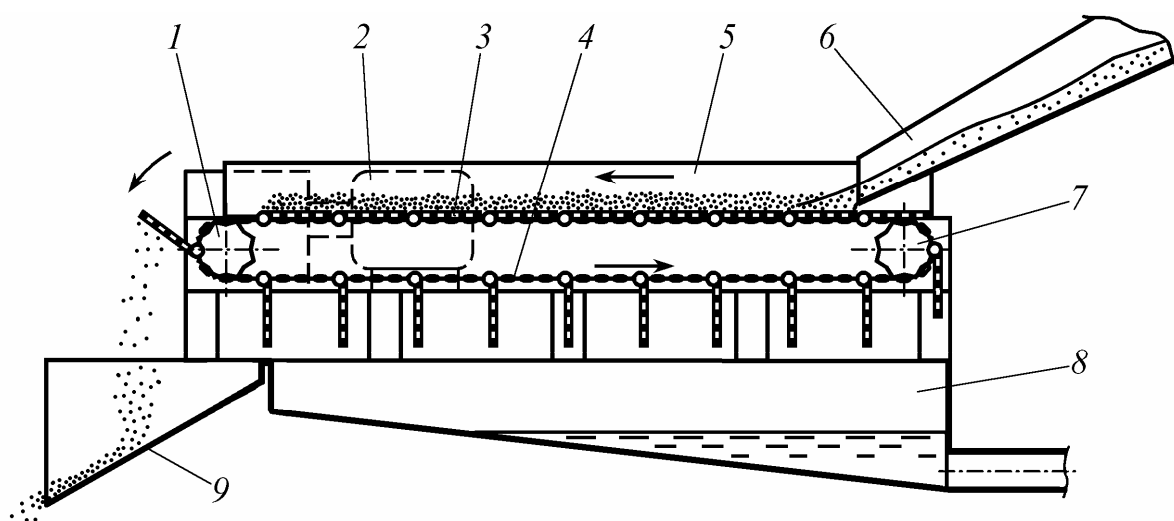


Рисунок 5.4 – Схема рухомо-колосникового грохота: 1 – ведуча зірочка; 2 – привод; 3 – секції колосникової решітки; 4 – ланцюг; 5 – боковини; 6 – лоток подачі гідросуміші; 7 – ведена зірочка; 8 – лоток прийому води з дрібними фракціями; 9 – лоток прийому зневодненої маси

Таблиця 5.4 – Характеристики рухомо-колосникових грохотів

Параметри	Типорозмір грохота		
	ПКО-1	ГПК-2м	ГПК-4
Продуктивність по твердому, т/год	180	100	200
Розмір щілин решітки, мм	2	80×90	116×125
Корисні розміри сита, мм	800×4230		
Маса, кг	3500	1700	2200

Зневоднювальні елеватори, рис. 5.5 а, застосовуються для видачі продуктів з відстійників, відсаджувальних машин при збагаченні руд, вугілля, та їхнього зневоднювання.

Нижня закрита частина кожуха елеватора встановлюється у ємності чи бункері під кутом 60 ... 75° і заповнюється водою. Матеріал, що потрапляє у нижню секцію, захоплюється і транспортується ковшами нагору, де вивантажується їхнім перекиданням. Ковші, рис. 5.5 б, виготовляються з листової сталі, перфорованої довгастими отворами. Щоб вода, що стікає, не попадала у інший ківш, їх розташовують через одну ланку або обладнують спеціальними піддонами.

Довжина зони зневоднювання вибирається у залежності від крупності матеріалу, швидкості руху ланцюга, табл. 5.5, і необхідного часу дренажування (звичайно 15 ... 30 с). Вологість продуктів після зневоднювання у елеваторах знаходиться у межах 12 ... 20 % для крупної породи та 20 ... 30 % — для дрібної. Продуктивність елеватора по твердому визначається за залежністю

$$Q = \rho_T \varphi V_K \frac{v_L}{a_K}, \quad (5.12)$$

де ρ_T – щільність твердого матеріалу; φ – коефіцієнт заповнення ковша, який дорівнює 0,5 ... 0,9; V_K – об'єм ковша; a_K – відстань між ковшами; v_L – швидкість руху ланцюга.

Таблиця 5.5 – Характеристики зневоднювальних елеваторів

Параметри	Типорозмір елеватора				
	ЕО4	ЕО4С	ЕО6	ЕО6С	ЕО10
Продуктивність по твердому, т/год	9...38	15...62	19...77	31...123	48...193
Ширина ковшової стрічки, мм	400	400	650	650	1000
Відстань між ковшами, мм	640	320	800	400	800
Об'єм ковша, л	20	16	50	40	125
Швидкість руху стрічки, м/с	0,17; 0,25; 0,38				
Кут нахилу до горизонту, град	60 ... 75				

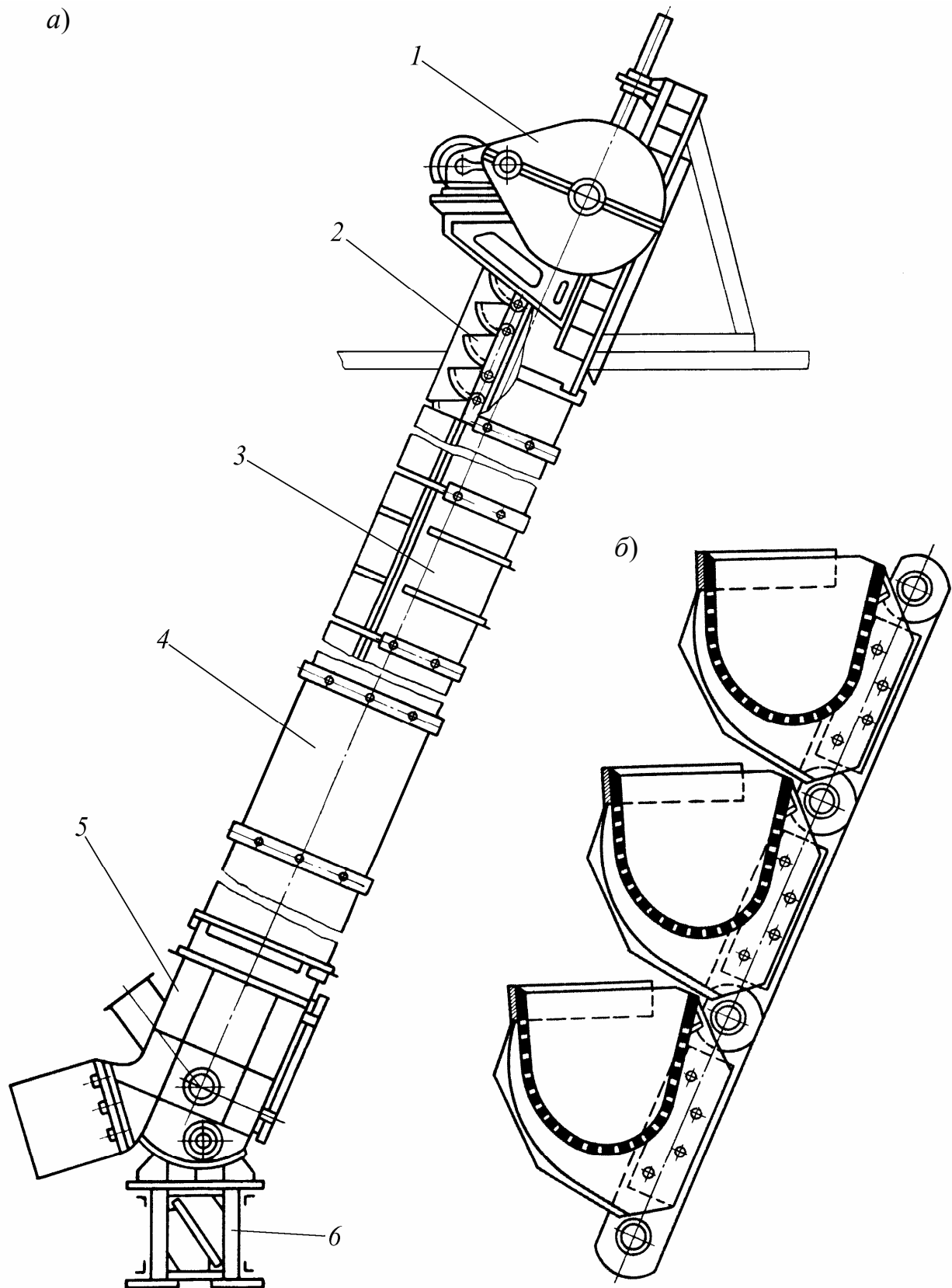


Рисунок 5.5 – Схема зневоднювального елеватора (а) та конструкція його ковшової стрічки (б): 1 – приводна голівка; 2 – ковшова стрічка; 3 – відкрита секція; 4 – закрита секція; 5 – нижня секція; 6 – опорна конструкція

Для зневоднювання гідросуміші у підземних умовах добре зарекомендували себе пристрої на базі забійних скребкових конвеєрів. **Скребкові конвеєри**, рис. 5.6, призначені для механізації доставки вугілля з очисних вибоїв, складаються з приводної 3 і кінцевої 1 голівок та рештачного ставу з секцій (рештаків) 2. Виконавчий орган конвеєра – ланцюг із закріпленими на ньому скребками 4. Конвеєри мають довжину до 200 м.

Для прийому та зневоднювання гідросуміші скребковий конвеєр монтується скороченим — з 12 ... 15 секцій (до 25 м). У перших 8 ... 10 секціях (з боку кінцевої голівки) прорізуються вікна, у які уварюються шпальтові сита 5 розміром 500×500 мм, по два на секцію. У залежності від необхідної граничної крупності сита можуть мати щілини шириною 0,5 ... 1,6 мм. Гідросуміш по лотку подається на першу секцію конвеєра та транспортується скребками. При проходженні решіток з гідросуміші видаляється вода, яка відводиться по канавці під конвеєром.

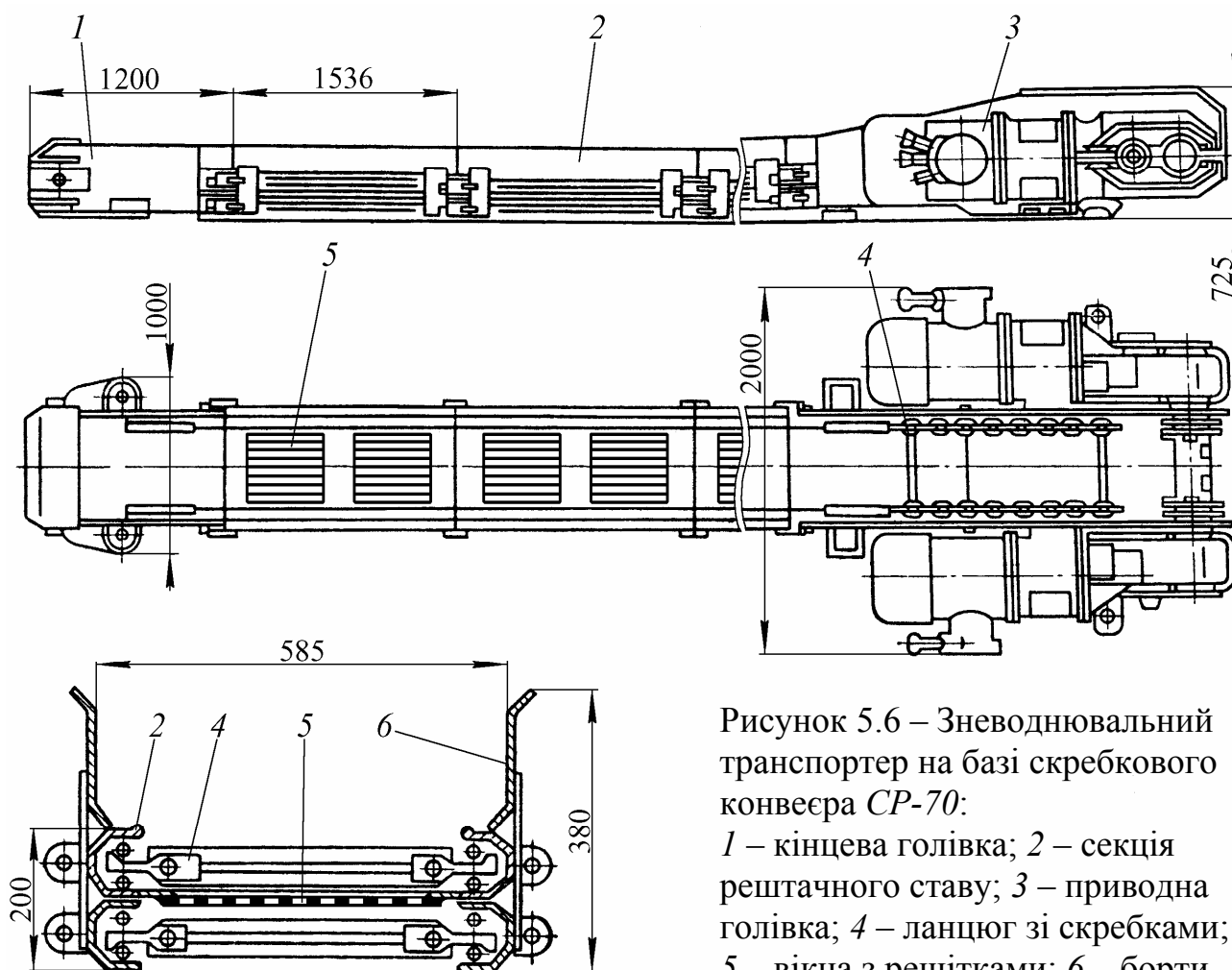


Рисунок 5.6 – Зневоднювальний транспортер на базі скребкового конвеєра CP-70:

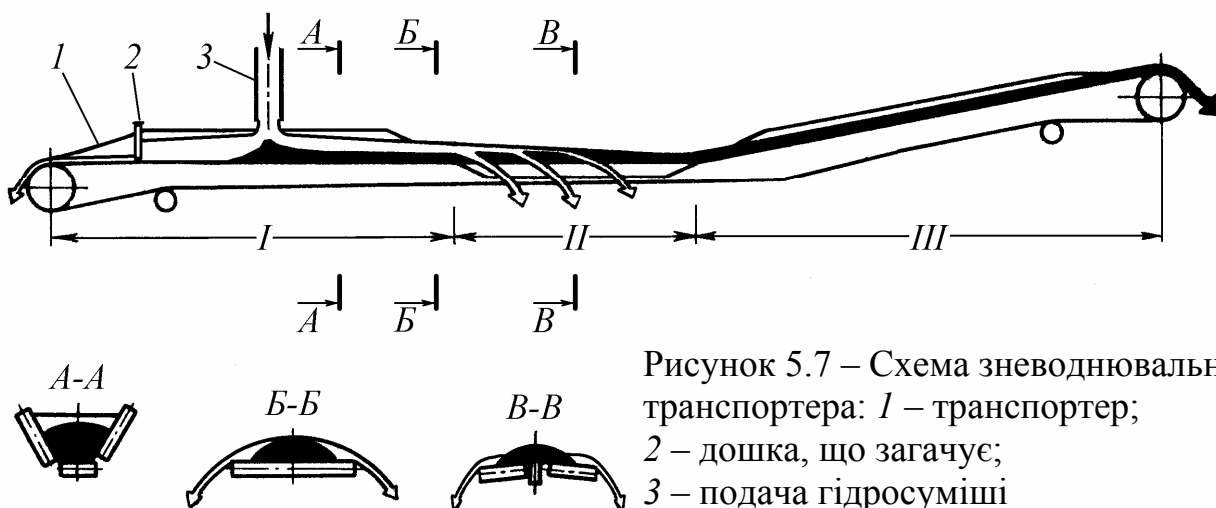
1 – кінцева голівка; 2 – секція рештачного ставу; 3 – приводна голівка; 4 – ланцюг зі скребками; 5 – вікна з решітками; 6 – борти

Зневоднювання гірської маси може здійснюватися за допомогою **стрічкового транспортера** спеціальної конструкції. Принципова схема транспортера, що зневоднює, показана на рис. 5.7.

Гідросуміш з патрубка 3 надходить на осаджувальну ділянку I, яка представляє собою лоток трапецеїдального перетину, утворений із транспортерної стрічки відповідно поставленими бічними роликками (перетин A–A). На початку цієї ділянки нерухомо встановлена загачувальна дошка 1, що перешкоджає зливу гідросуміші у зворотному напрямку. На осаджувальній ділянці випадають частки крупніше 0,1 мм. Частина води разом з оставшимися в ній у зваженому стані частками дрібніше 0,1 мм зливається через загачувальну дошку.

Подальше зневоднювання відбувається на ділянці II. Завдяки поступовій зміні кутів нахилу бічних роликів стрічка на ділянці зневоднювання поступово розпрямляється (перетин Б–Б) і навіть приймає опуклий обрис (перетин В–В), що сприяє стіканню води. Транспортна ділянка III аналогічна звичайним транспортерам. Ця ділянка робиться з підйомом $5 \dots 17^\circ$, що також сприяє зневоднюванню.

Основна область застосування транспортерів — зневоднювання гірської маси, видобутої з дна водойми ежекторним або ерліфтним снарядом, для подальшого її транспортування шаландою. Транспортери виробництва фірми «Деколт» мають ширину стрічки 650, 800, 1200, 1400 і 2000 мм. Швидкість руху стрічки невелика і не перевищує $0,3 \dots 0,4$ м/сек. Транспортер видає матеріал вологістю $10 \dots 15\%$. Продуктивність транспортерів по збезводненому матеріалі в залежності від ширини стрічки змінюється від 30 до 300 т/год.



5.1.5 Центрифуги

Осаджувальні шнекові центрифуги знайшли застосування при зневоднюванні пульпи, яка видається з гідрошахт, а також на вуглезбагачувальних фабриках для видалення води зі шламів.

Центрифуга, рис. 5.8, являє собою конічний ротор 1, що обертається усередині кожуха з частотою $750 \dots 900 \text{ хв}^{-1}$. На торцевій стінці ротора з боку його більшого діаметра симетрично розташовані круглі вікна 4 для зливу фугата (води з дрібними частками). Усередині ротора знаходиться шнек 2, що обертається з частотою, трохи меншою за частоту обертання ротора. Відносно ротора шнек обертається з частотою близько 20 хв^{-1} .

Гідросуміш подається по нерухомій трубі 5 усередину шнека, потім через вікна 3 попадає в ротор і заповнює розширену частину. Завдяки зливу надлишку проясненої води через вікна 4 рівень рідини завжди постійний. В міру просування гідросуміші до вікон 4 під дією відцентрових сил відбувається швидке осадження твердих часток на внутрішні стінки ротора. Звідти вони транспортуються шнеком у вузьку частину конуса і через вікна 6 вивантажуються в прийомну камеру корпуса центрифуги, а фугат надходить в іншу таку камеру. Частину ротора, яка заповнена водою, називають *зоною осадження*, а ділянку від зони осадження до крайок розвантажувальних вікон — *зоною зневоднювання*.

Промисловістю випускаються осаджувальні та осаджувально-фільтруючі центрифуги *УЦМ-1УТ*, *НОГШ-1350*, *НОГШ-1120Ф*, *НОГШ-1120С* та ін., табл. 5.6. Центрифуга *НОГШ-1120Ф*, рис. 5.9, служить для глибокого зневоднювання дрібного вугілля і флотоконцентрата з одночасним проясненням оборотної води на збагачувальних фабриках і поверхневих комплексах гідрошахт. Машина скла

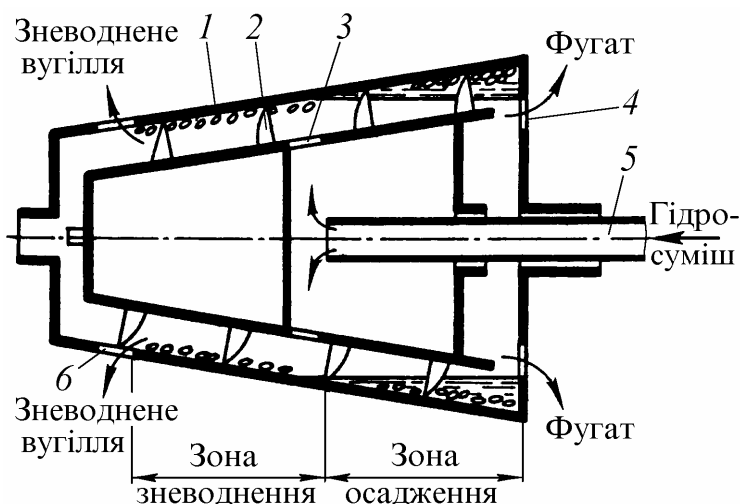


Рисунок 5.8 – Схема центрифуги, що осаджує:
1 – конічний ротор;
2 – шнек; 3, 4, 6 – вікна;
5 – подача гідросуміші

Таблиця 5.6 – Характеристики осаджувальних шнекових центрифуг

Параметри	Центрифуги			
	УЦМ-1УТ	НОГШ-1350	НОГШ-1120Ф	НОГШ-1320Ф
Продуктивність: по гідросуміші, м ³ /год по твердому, т/год	120 ... 150 15 ... 25	250 ... 300 35 ... 50	120 ... 150 25 ... 30	250 50
Максимальна частота обертання ротора, хв ⁻¹	900	800	750	800
Параметри ротора: максимальний діаметр, мм загальна довжина, мм кут конусності осаджувальної частини, град кут конусності фільтруючої частини, град шаг шнека конічної частини, мм шаг шнека циліндричної частини, мм напрямок навівання шнека	1100 1500 10 — 250 — правий	1350 1987 15 — 350 560 лівий	1120 2200 10 13 350 350 правий	1320 2000 15 15 350 450 лівий
Потужність електродвигуна, кВт	130	160	120	160
Габарити, мм: довжина ширина висота	4200 3625 1410	4100 3700 1830	5150 3690 1610	4250 3655 1450
Маса, кг	7 800	12 000	10 800	11 220

Примітка. Центрифуги УЦМ-1УТ і НОГШ-1350 — осаджувальні,
НОГШ-1120Ф і НОГШ-1320Ф — осаджувально-фільтруючі

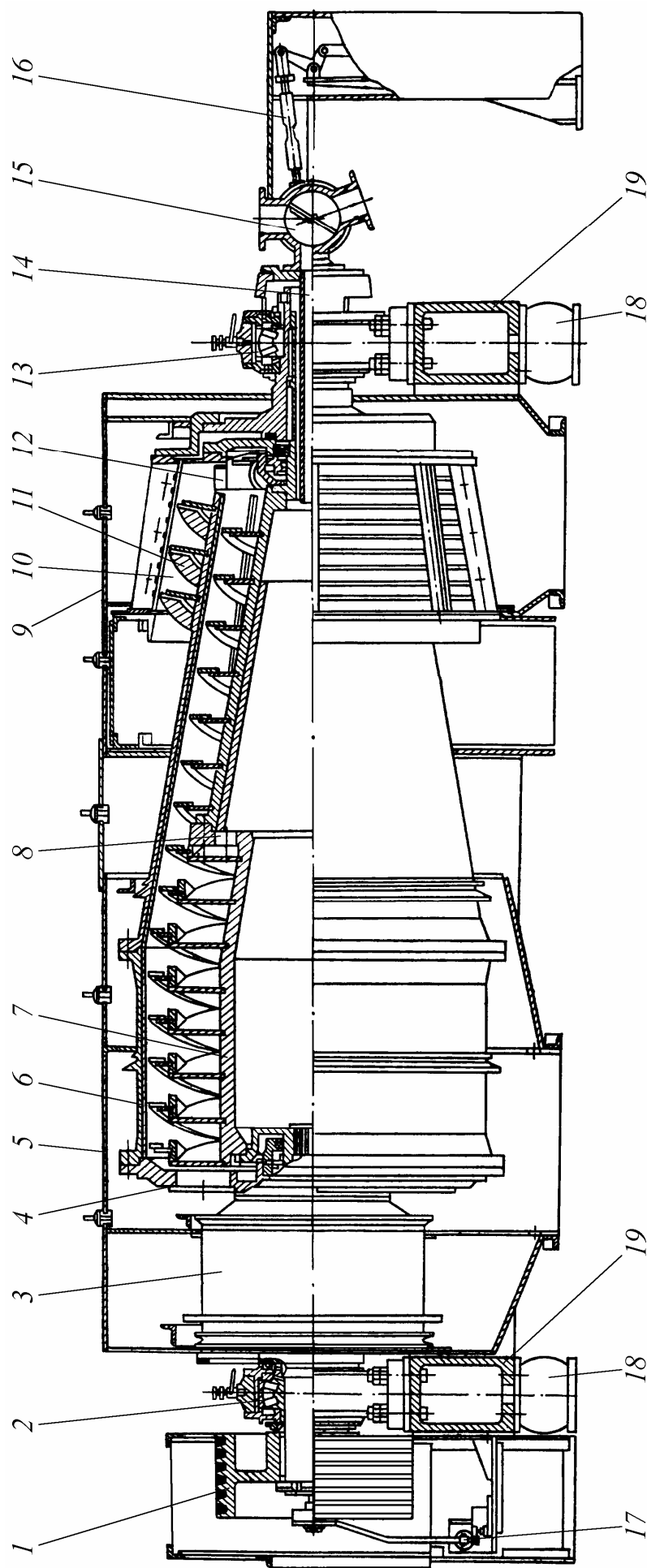


Рисунок 5.9 – Центрифуга *НОГШ-1120Ф*: 1 – клиноремінна передача; 2, 13 – підшипники; 3 – редуктор; 4 – зливний поріг; 5 – камера фугата; 6 – осаджувальний ротор; 7 – шнек; 8, 12 – розвантажувальні вікна; 9 – камера зневодненого осаду; 10 – фільтруючий ротор; 11 – шкребки; 14 – живильний патрубок; 15 – кран; 16 – авторегулятор живлення; 17 – датчик; 18 – віброізолятори; 19 – станина

дається з осаджувального ротора 6, всередині якого встановлений шнек 7. На одному валу з ним знаходиться фільтруючий ротор 10. Навколо ротора 6 і 10 розміщені камери прийому фугата 5 і збезводненого осаду 9. Ротор 6 одержує обертальний рух від електродвигуна через, клиноремінну передачу 1, а шнек — через редуктор 3, з'єднаний з ротором. Швидкість обертання шнека на 2,6 % менше, ніж ротора.

Гідросуміш підводиться до крана 15 і по патрубку 14 подається у внутрішню порожнину шнека, потім через розвантажувальні вікна 8 відцентровою силою викидається в простір між шнеком і ротором. Заповнення пульпою вільного обсягу продовжується, доки рівень води не досягне зливальних крайок порогів 4, після чого починається перелив проясненої рідини в камеру фугата. Осіла тверда фаза транспортується шнеком по внутрішній порожнині ротора 6 до розвантажувальних вікон 12 і під дією відцентрової сили викидається в ротор 10, де додатково збезводнюється. Потім матеріал шкребками 11 подається до розвантажувальної крайки фільтруючого ротора і надходить у бункер, що знаходиться під машиною. Для захисту центрифуги від перевантажень передбачений регулятор живлення 16 з датчиком 17.

Кінцева вологість збезводненого матеріалу для вугілля крупністю 0 ... 13 мм складає 10 ... 13 %, для флотаційного концентрату — 20 ... 25 %, хвостів — 22 ... 30 %, шламу — 17 ... 22 %. Перевагою машин є те, що вони можуть бути використані для одночасного зневоднювання твердого і прояснення води.

5.1.6 Згушувачі

Гідромеханізовані роботи іноді вимагають включення операції *згушення* гідросуміші, тобто видалення частини води, звичайно з метою підвищення ефективності гідротранспорту або зменшення укосів намиву та зниження початкової вологості ґрунту в гідровідвалі. Для цього застосовуються різні типи згушувачів, яких за принципом дії можна розділити на чотири типи: діафрагмові, колонкові, камерні і відцентрові.

У *діафрагмових згушувачах*, рис 5.10 а, згушення, тобто відділення частини води і дрібних часток від корисної маси гідросуміші, здійснюється за допомогою діафрагми 3, установленної на границі розділення верхнього і нижнього потоку гідросуміші. Гідросуміш з патрубка 1 надходить до камери 2, у якій рух рідини уповільнюється

до швидкості, дещо меншої за критичну. Тверді частки опускаються і, рухаючись в нижній частині камери, потрапляють у патрубок 5. Рідина з невеликою кількістю дрібних часток (розмір яких занадто малий, щоб вони осіли), виходить у зливний парубок 4. Діафрагмові згущувачі згущують гідросуміш до концентрації 30 ... 35 %, мають невелику ефективність згущення і піддані частим засміченням.

Колонкові згущувачі, рис 5.10 б, складаються з батареї вертикальних колон 6, виконаних із труб меншого, ніж пульпопровід, діаметра. Поділ і згущення гідросуміші відбувається у вертикальних висхідних потоках колон, у яких осаджуються частки з гідравлічною крупністю, що перевищує швидкість потоку води. Колонкові згущувачі більш ефективні, ніж діафрагмові, — концентрація згущеного продукту становить понад 40 %, однак для їхньої роботи необхідно, щоб гідравлічний опір в пульпопроводі зі згущеною гідросумішшю був більшим, ніж у скидальному трубопроводі.

Камерні згущувачі являють собою ємності-накопичувачі різної форми. Поділ і згущення гідросуміші відбувається за рахунок раптового розширення потоку гідросуміші і зменшення її швидкості нижче критичної. В результаті в накопичувачі відбувається випадання в осад часток визначеної крупності. Камерні згущувачі працюють циклічно. Після кожного циклу заповнення накопичувача твердими частками припиняють подачу гідросуміші в згущувач, видаляють гірничу масу, а потім знову запускають у роботу. Концентрація гідросуміші на виході з камерного згущувача може досягати 60 %.

Відцентрові згущувачі — гідроциклони, у яких кут конусності становить 10 ... 16°. Концентрація згущеної гідросуміші на виході з такого гідроциклону становить 60 ... 70 %, гранична крупність часток складає 50 ... 100 мкм, максимальний розмір твердого — 50 мм.

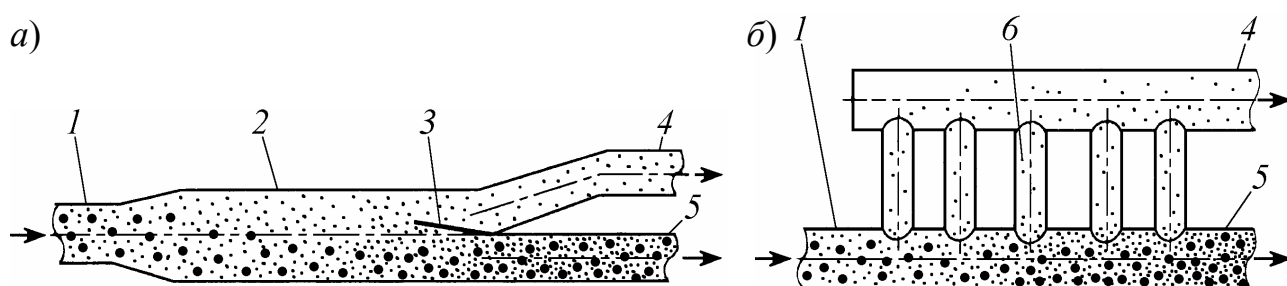


Рисунок 5.10 – Схеми діафрагмового (а) та колонкового (б) згущувачів:
1 – патрубок подачі гідросуміші; 2 – осаджувальна камера; 3 – діафрагма;
4 – зливальний патрубок; 5 – патрубок відводу згущеного продукту;
6 – колонки

5.2 Гідровідвали

5.2.1 Призначення, розташування і класифікація гідровідвалів

Гідровідвал є спеціальним гідротехнічним спорудженням, де здійснюються процеси *прийому* гідросуміші, *виділення* з неї та *складування* породи або корисної копалини, *освітлення* відпрацьованої води. При оборотному водопостачанні гідровідвали часто сполучують із водосховищем, і в цьому випадку вони виконують ще функцію *водонакопичення* та постачання водою гідроустановок.

Звичайно, гідровідвал складається з дамб початкового обвалування, що служать для його огородження і створення ємності, куди укладається пульпа, магістральних пульпопроводів, які передають гідросуміш до наливної ділянки, розвідних і наливних пульпопроводів, відстійних ставків, водоскидних колодязів або спеціальних водоскидних пристроїв, водовідвідних каналів. При оборотному водопостачанні на гідровідвалах, сполучених із водосховищами, розташовуються також водозабірні спорудження.

На рис. 5.11 показаний характерний перетин гідровідвала. Гідросуміш випускається з периферії відвала та рухається *пляжем 6* у напрямку ставка *7*. *Упорна призма 2* (периферична частина відвала) утворюється з найбільш великих часток породи, які першими випадають при русі гідросуміші через пляж. Після випадіння великих часток вода, забруднена дрібними пилюватими частками, потрапляє у *ставок-відстійник 7*, де відбувається осадження часток і прояснення води. Пилюгато-глинисті частки, які осідають на дно прудка, утворюють *ядро 4* гідровідвала. Частина гідровідвала, яка знаходиться між упорною призмою і ядром, та складається переважно з пилюгато-глинистих фракцій з невеликим вмістом піщаних часток (до 20 %), утворює *проміжну зону 3*. Прояснена вода забирається зі ставка за допомогою водоскидних колодязів *8* і відводиться з карти наливу трубопроводом *9*.

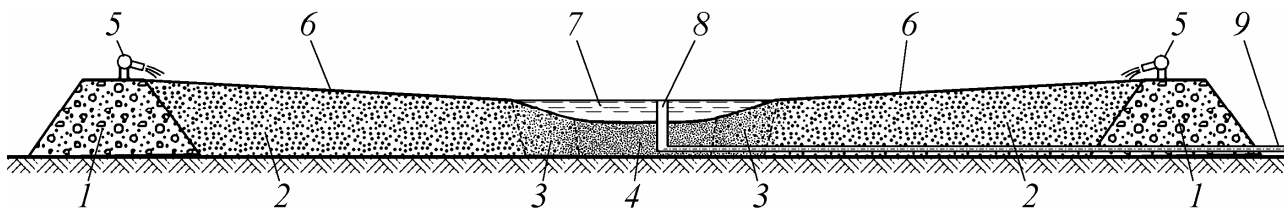


Рисунок 5.11 – Схема будови гідровідвала: 1 – дамба початкового обвалування; 2 – упорна призма; 3 – проміжна зона; 4 – ядро; 5 – наливні пульпопроводи; 6 – пляж; 7 – ставок; 8 – водоскидний колодязь; 9 – водовідвідний канал

Гідровідвали можуть розташовуватися на горизонтальних майданчиках, на майданчиках із невеликим ухилом та у ярах. Граничним ухилом території для влаштування гідровідвалу слід вважати 0,15 ... 0,20. Найчастіше, для гідровідвалу вибирають площадку з ухилом до 0,03, оскільки великі ухили місцевості приводять до втрат ємності відвалу і до ускладнень при спорудженні дамб початкового обвалування. Початкова і кінцева ємності відвалу мають бути якомога більшими при мінімальному об'ємі початкових дамб обвалування. У багатьох випадках доцільно розташовувати гідровідвали у заплавах річок, ярах та виробленому просторі кар'єра, що дозволяє здійснювати одно-, дво- або тристороннє обвалування, зменшуючи таким чином обсяги робіт з обвалування, рис. 5.12.

Гідровідвали мають бути розташовані в межах земель, мало придатних для сільськогосподарських цілей: на заболочених ділянках, у балках, ярах, виробленому просторі кар'єрів. Довжина транспортування і висота підйому порід від кар'єра до гідровідвала мають бути мінімальними. Також необхідно забезпечити зручну організацію водопостачання кар'єру та щонайкраще використовувати рельєф місцевості для самопливного або самопливно-напірного гідротранспорту. Необхідно також враховувати можливість використання порід, що залягають в районі відвалу, для відсипки початкового обвалування та можливість споруджень експлуатаційних дамб обвалування в процесі робіт із найбільш великих часток намівної породи. Породи основи гідровідвалу мають бути оцінені з метою забезпечення міцності і надійності гідровідвалу. Для запобігання запорошення атмосфери при укладці дрібних фракцій, при виборі місця розташування враховується напрямок пануючих вітрів. Слід звертати увагу також і на можливість подальшого використання відвальної території для зведення житлових і інших об'єктів, а також для потреб сільського господарства.

Гідровідвали класифікують за наступними ознаками:

1. За **призначенням гідровідвалу**:

— **гідровідвали** — власне відвали для складування розкривних порід родовищ корисних копалин;

— **хвостосховища** — для укладання хвостів, тобто відходів переробки і збагачення твердих корисних копалин;

— **шламосховища** — для накопичення відходів лісової, паперової або хімічної промисловості;

— **золівідвали** — для збору продуктів згоряння твердого палива на теплових електростанціях.

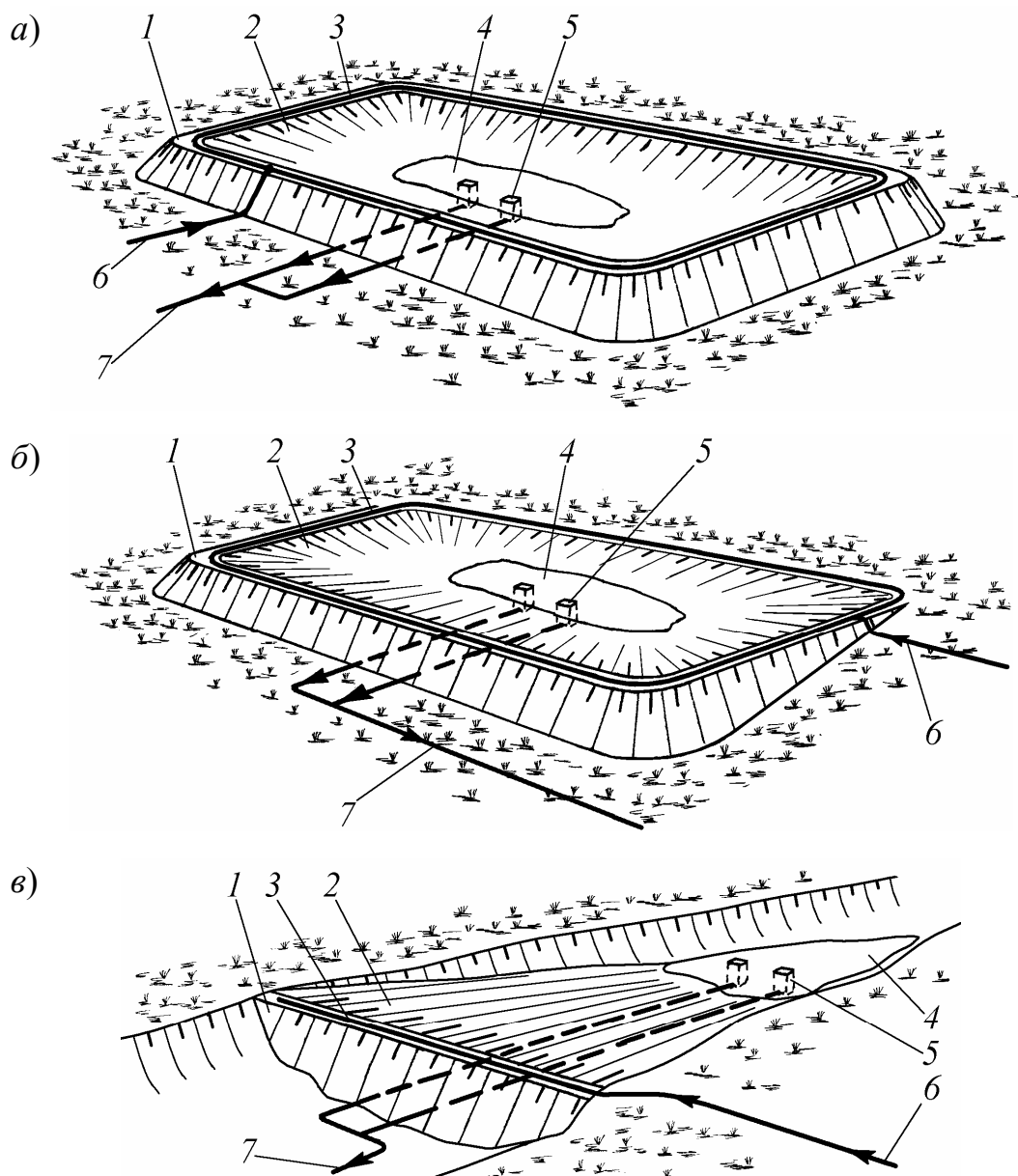


Рисунок 5.12 – Схеми розташування гідровідвалів: на рівнинній місцевості (а), на косогорі (б) та у яру (в): 1 – дамба; 2 – пляж; 3 – розподільний пульпопровід; 4 – ставок; 5 – водоскидні колодязі; 6 – пульпопровід; 7 – трубопровід для відведення води

2. За **місцем зведення** гідровідвали поділяють на такі, що *розташовані на рівнинній місцевості*, рис. 5.12 а, *на косогорі*, рис. 5.12 б та *у ярах*, балках або виробленому просторі кар'єрів, рис. 5.12 в.

3. В залежності від **висоти** гідровідвали підрозділяються на *низькі* – до 10 м, *середні* — 10 ... 30 м, і *високі* — більш 30 м.

4. За способом обвалування розділяють:

— **одnojарусні** — початкове обвалування відсипається на всю висоту гідровідвала;

— **багатоjарусні** — після наміву породи на висоту початкового обвалування зводиться обвалування наступного ярусу.

5. За **річною прийомною спроможністю** гідровідвали розділяються на чотири категорії:

I категорія — понад 5 млн. м³ породи за рік;

II категорія — від 2 до 5 млн. м³ за рік;

III категорія — від 1 до 2 млн. м³ за рік;

IV категорія — до 1 млн. м³ за рік.

6. За **ступнем відповідальності** гідровідвали для відкритих гірничих розробок розділяють на три класи: особливо відповідальні споруди I класу; відповідальні споруди II класу і гідровідвали III класу відповідальності.

Для встановлення класу відповідальності гідровідвалу необхідно враховувати умови розташування гідровідвалу по рельєфу місцевості; характеристику порід, що укладаються, і порід основи гідровідвалу; наявність водосховища при гідровідвалі і його ємність; особливості зведення гідровідвала і, зокрема, темпи наливних робіт; кінцеву висоту відвальних уступів; місце розташування гідровідвала щодо інших промислових і житлових об'єктів і джерел водопостачання; матеріал дамб обвалування, табл. 5.7.

Клас відповідальності гідровідвалу залежить від того, де він розташований — у рівнинній місцевості, на косогорі або у яру. При розташуванні на косогорі прорив дамб створює велику небезпеку аварій. Наявність водосховища при гідровідвалі збільшує імовірність прориву визначених об'ємів води за межі гідровідвалу.

Таблиця 5.7 – Поділ гідровідвалів на класи відповідальності

Характерна ознака відвалу	Клас відповідальності гідровідвалу					
	І (особливо відповідальні)		ІІ (відповідальні)		ІІІ	
	Групи					
	А	Б	А	Б	А	Б
1. Розташування гідровідвала по відношенню до населених пунктів і промислових об'єктів	Поблизу населених пунктів і промислових об'єктів		При прориві дамб можливе часткове пошкодження промислових об'єктів		Далеко від населених пунктів і промислових об'єктів	
2. Рельєф місцевості	Косогір	Рівнина	Косогір	Рівнина	Косогір	Рівнина та у яру
3. Наявність водосховища при гідровідвалі	Є	Немає	Є	Немає	Є	Немає
4. Надійність порід основи гідровідвала	Недостатня	Надійні породи	Недостатня	Надійні породи	Недостатня	Надійні породи

До недостатньо надійних порід в основі гідровідвалу відносять породи, що просідають, мули при їх вологості понад 45% та породи, що можуть легко бути вимиті при фільтрації.

Для віднесення до групи А або групи Б гідровідвалу даного класу необхідно, щоб проектований гідровідвал цілком відповідав наявності другої, третьої та четвертої ознак або мав не менше двох із них. При наявності надійних порід наживу, таких, як пісок, гравій, галька, грудкова дроблена порода, за інших рівних умов відповідальність гідровідвалу може бути знижена в межах даного класу з групи А у групу Б. При укладці глинистих, мулистих та інших порід, які важко укласти, клас відповідальності усередині даної групи може бути відповідно підвищений із групи Б у групу А.

Перехід проектованого відвалу з одного класу відповідальності в інший, вищий клас, можливий в таких випадках: при роботі на оборотному водопостачанні і необхідності тривалої зупинки гідромеханізованих розробок у випадку втрати води при аварійному прориві дамб; при замуленні ріки у випадку прориву дамб; при наявності особливої значимості об'єкта робіт; при наявності особливих ознак, не врахованих у табл. 5.7. При наявності ознак гідровідвалу, які не відповідають поділу, зазначеному в табл. 5.7, особливо враховуються головні ознаки поділу.

Всі гідротехнічні споруди гідровідвалів мають проектуватися за нормативами класності гідротехнічних споруджень, з урахуванням класу гідровідвалів. Це стосується водоскидних пристроїв, перемичок, дамб, відстійників тощо.

5.2.2 Ємність гідровідвалу і початкове обвалування

Необхідна ємність гідровідвалу визначається об'ємом породи, що укладається, її гранулометричним складом, інтенсивністю водовіддачі й ущільнення. Гравійно-піщані і супіщані породи швидко віддають воду (осаджуються у воді), дещо змінюючи свій об'єм на відвалі порівняно з початковим об'ємом у цілику. Глинисті породи мають малу водовіддачу і значно збільшують свій об'єм на відвалі в порівнянні з об'ємом у цілику. Об'єм відвалу встановлюється також з умови забезпечення освітлення оборотної води.

При можливості повного використання ємності гідровідвалу загальний його об'єм може бути визначений за формулою

$$V_{\Gamma} = k_{\text{н}} V_1 + V_{\text{в}} + V_{\text{с}}, \quad (5.13)$$

Таблиця 5.8 – Значення коефіцієнту збільшення об'єму порід

Порода	Коефіцієнт набрякання	Порода	Коефіцієнт набрякання
Важкі в'язкі глини	2,00 ... 1,50	Середні супіски	1,15
Звичайні пластичні глини	1,50	Супіски	1,15 ... 1,05
Важкі суглинки	1,50 ... 1,45	Пилуваті піски	1,10
Середні суглинки	1,45 ... 1,20	Пісок	1,00
Легкі суглинки	1,20		

де V_1 – об'єм порід, що укладаються у масиві; k_n – коефіцієнт набрякання (збільшення об'єму зволжених порід), табл. 5.8; V_v – об'єм води у відстійнику, який дорівнює 5 ... 10 -денній витраті гідросуміші, що подається у відвал; V_c – об'єм стоку водозбору.

Задача знаходження *оптимальної висоти укладання породи* зводиться до вибору такої висоти наміву, яка забезпечує максимальний об'єм породи, що укладається, при даному напорі гідроустановки. Схема для розрахунку оптимальної висоти наміву показана на рис. 5.13.

Припустимо, що пульпопровід виведений на граничну позначку *залишкового напору* H (напору гідросуміші у точці A). У цьому випадку площа поперечного перетину профілю наміву (фігура ABC) буде

$$S = \frac{H^2(\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha_1)}{2}, \quad (5.14)$$

де α – кут укладення намітої породи; α_1 – кут укосу початкового обвалування.

Піднявши випускну трубу на граничну позначку, ми одержимо найбільшу S . Однак у цьому випадку напір буде вже повністю використаний і не буде можливості нарощувати труби для подальшого наміву. Зниження висоти відвалу дозволяє нарощувати пульпопровід. Отже, завдання полягає в тому, щоб знайти таку висоту підйому H_1 , при якій буде наміватися найбільший об'єм породи при повному використанні залишкового напору H .

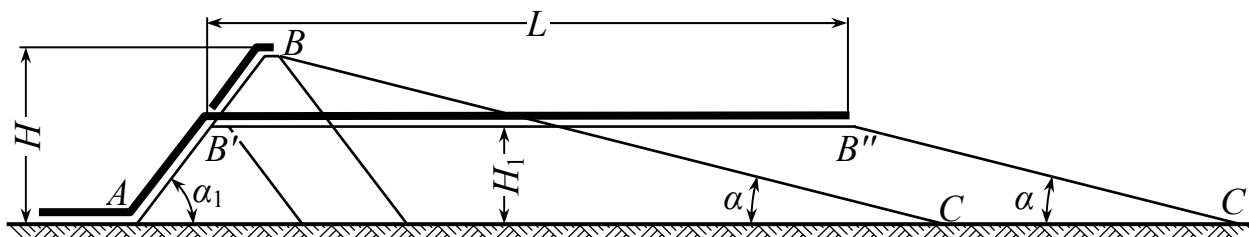


Рисунок 5.13 – Схема для розрахунку оптимальної висоти наміву відвалу

При висоті відвалу H_1 гранична дальність нарощування труб

$$L = \frac{H - H_1}{i_T}, \quad (5.15)$$

де i_T – гідравлічний ухил при транспортуванні гідросуміші (втрати напору на одиницю довжини трубопроводу).

Нехтуючи укосами початкового обвалування, одержимо площу перетину профілю намиву (фігура $AB'B''C'$):

$$S_1 = H_1 \frac{H - H_1}{i_T} + \frac{H_1^2 \operatorname{ctg} \alpha}{2}. \quad (5.16)$$

Визначимо, якому значенню H_1 відповідає максимальне значення площі S_1 , а отже, і об'єм відвалу. Після диференціювання цієї функції одержуємо, що максимальне значення S_1 буде при висоті намиву

$$H_1 = \frac{H}{2 - i_T \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (5.17)$$

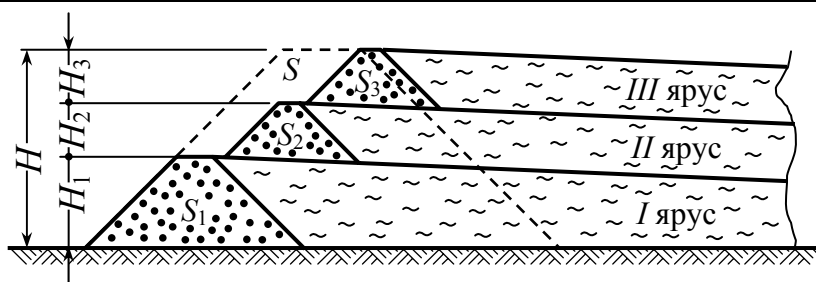
Оконтурювання відвалу робиться таким чином, щоб вартість відвалоутворення за весь період існування кар'єру була мінімальною. Витрати на спорудження дамб обвалування складають значну долю (понад 30 %) від загальних витрат на укладання порід.

Форма оконтурювання відвалу має забезпечити мінімальну протяжність дамб обвалування. При розташуванні гідровідвалу на рівнинній місцевості найбільш вигідною формою оконтурювання є кругова, оскільки вона забезпечує найменшу довжину дамб при найбільшій ємності відвалу. Якщо неможливо розташувати гідровідвал за цією формою, розглядають можливість оконтурювання з утворенням у плані послідовно багатокутника, квадрата, прямокутника. Пересічений рельєф місцевості максимально використовують для зменшення об'єму робіт із початкового обвалування. Розташування гідровідвалу у яру або виробленому просторі дозволяє обмежитися обвалуванням з однієї або двох сторін, див. рис. 5.12 в.

Зі збільшенням висоти дамби площа її перетину, а відповідно і обсяг ґрунту, який треба пересунути, зростають квадратично: збільшення висоти удвічі потребує вчетверо більшої кількості матеріалу. Суттєво зменшити обсяги обвалування високих відвалів можна застосуванням **багатоярусного укладання порід**, рис. 5.14.

Для зведення відвала на висоту H треба відсипати дамбу з площею поперечного перетину S , контур якого показаний пунк-

Рисунок 5.14 – Схема багатоярусного укладання порід



тирною лінією. Замість цього зводять дамбу висотою H_1 зі значно меншою площею перетину S_1 . Після заповнення ємності, створеної цією дамбою (ярус I), з матеріалу першої дамби або з намитого матеріалу відсипається наступна дамба висотою H_2 з площею перетину S_2 (ярус II) і т. д. Сумарна площа перетинів усіх дамб $S_1 + S_2 + S_3 + \dots$ буде в кілька разів меншою, ніж площа S . Відповідно зменшується обсяг ґрунту, потрібного для відсипки обвалування, суттєво знижуються трудовитрати.

Дамби обвалування розділяються на *дамби початкового обвалування*, споруджені до початку наміву, і *дамби, споруджені в процесі наміву*.

При підготовці території гідровідвалу до будівництва, в межах основи дамби первинного обвалування і по трасі водовідвідних труб водоскидних колодязів роблять корчування пнів і видалення чагарнику. Верхній майданчик уступу кар'єра, звідки доставляється порода для укладання в тіло дамби, має бути очищений від рослинного ґрунту, коріння і чагарнику. Укладання породи в дамби гідровідвалів має робитися тільки після підготовки його основи відповідно до проекту.

Дамби початкового обвалування звичайно зводяться з порід основи гідровідвалу. Якщо ці породи непридатні для створення дамби, її складають з порід, що доставляються на відвал колісним транспортом. Часто дамби зводять наливним способом у сполученні із сухим способом укладання порід. Якщо порода, що розмивається в кар'єрі, містить частки, більші 0,1 мм у кількості більш 75%, то з намітої породи порівняно легко проводити нарощування дамб.

Для відсипки дамб обвалування не допускаються породи, що містять більше 5 ... 7 % легкорозчинних солей, а також торф і мулисті породи. У випадку укладання в гідровідвал глинистих і мулистих порід при малій кількості пісків, дамби зводяться сухим способом або одразу до проектної відмітки, або поступово, у міру підвищення відміток наливних робіт. Дамби мають утримувати рівень води у

ставку-відстійнику, і якщо глибина цього ставка понад 1,5 м, то вони зводяться з необхідним ущільненням.

Після визначення висоти дамби робиться розрахунок її перетину, розміри якого визначаються залежно від матеріалу дамби, її висоти і фільтраційної спроможності, питомої ваги пульпи, висоти підйому прудка і ступеня відповідальності гідровідвалу.

Параметри перетинів дамб обвалування з різних матеріалів наведені у табл. 5.9.

Перевищення гребеня дамб обвалування над рівнем води у ставці має бути не меншим, ніж 0,85 ... 1 м для I класу відповідальності відвала, 0,75 ... 0,85 м для II класу і 0,7 м для III класу.

Для попереднього визначення об'єму початкового обвалування гідровідвала можна користуватися формулою

$$V_{\text{по}} = k_{\text{по}} V_{\text{в}} / 1000, \quad (5.18)$$

де $V_{\text{в}}$ – загальна ємність відвала; $k_{\text{по}}$ – коефіцієнт початкового обвалування; для гідровідвалів, що розташовуються в яру, $k_{\text{по}} = 5 \dots 10$; на рівнинній місцевості $k_{\text{по}} = 10 \dots 20$, на косогорі $k_{\text{по}} = 30 \dots 35$.

При укладці порід у гідровідвал у початковий період наживу має бути передбачене зведення зовнішньої утримуючої призми, здатної сприйняти гідростатичний тиск, що виникає при наявності ставка-відстійника і текучих порід. Орієнтовні значення закладання зовнішніх укосів призми наведені в табл. 5.10. Мінімальне перевищення гребеня призми над рівнем води в ставці для I класу відповідальності відвала 1,3 м, для II класу — 1,0 м і для III класу — 0,8 м.

Якщо по гребеню дамби початкового обвалування укладається пульпопровід, ширина гребеня встановлюється з умови можливості укладки необхідного числа ниток пульпопроводу і розміщення крана-трубоукладача. Для більш високих дамб у випадку, коли обвалування зводиться одразу на повну висоту, вона визначається відповідно до технічних умов зведення земляних гребель.

Таблиця 5.9 – Параметри перетинів дамб обвалування

Породи дамби обвалування	Висота дамби, м	Закладання укосів		Ширина гребеня, м
		внутрішніх	зовнішніх	
Пісок середньої крупності	До 4	1:1,5	1:1,75...2	2...2,5
	4...7	1:1,5	1:2	
Пісок з домішками глинистих порід Суглинок	До 4	1:1,5	1:1,5...1,75	2...2,5
	До 5	1:1,5	1:2,5	2...2,5
	5...10	1:2	1:3	2,5...3
Суглинок льосоподібний	До 5	1:1,5	1,5	4

Таблиця 5.10 – Закладання зовнішнього укусу призми

Висота призми, м	Породи			
	Дрібнозернистий пісок	Середньозернистий пісок	Крупнозернистий пісок	Гравій
До 10	1:3	1:2,75	1:2,5	1:2
10 ... 20	1:3,5	1:3	1:2,75	1:2,25
Більше 20	1:4	1:3,5	1:3	1:2,5

Таблиця 5.11 – Значення коефіцієнта усадки

Породи	Глини	Супісі	Піски та гравійно-піщані суміші
k_y	1,15...1,2	1,1...1,15	1,05...1,1

Перевищення гребеня дамби при гідровідвалах I і II класів відповідальності над рівнем води у відстійнику слід перевіряти додатково за формулою

$$h_1 = c_x + h_3, \quad (5.19)$$

де c_x – висота вітрової хвилі, що утвориться у відстійнику гідровідвалу при найбільш сильному вітрі; при глибині відстійника до 5 ... 7 м $c_x = 0,073v_B$, м (по Д. Соловійову); v_B – швидкість вітру, м/с; h_3 – запас висоти; для споруд II класу $h_3 = 0,3 \dots 0,5$ м; для споруд I класу $h_3 = 0,75$ м.

Дамби обвалування можуть зводитися за допомогою бульдозерів, екскаваторів, а також спеціальними обвалувачами. Виїмка породи для дамби робиться з *внутрішньої сторони контуру відвала*. По-перше, це збільшує ємність відвалу за рахунок котловану, що утворюється, а по-друге, розташування котловану поблизу від дамби на зовнішній стороні знижує її стійкість і може призвести до прориву. При роботі бульдозера початок резерву розташовується в 8 ... 10 м від нижньої брівки укусу дамби і звичайно має ширину до 25 м.

Після зведення дамб обвалування передбачається відвід скупчень води з резерву до водоскидних колодязів.

При зведенні дамб обвалування висотою понад 2,0-2,5 м застосовують екскаватори-драглайни. Для механізації операцій з підйому дамб обвалування проектно-конструкторською конторою Гідромехпроект тресту Гідромеханізація запроектований обвалувач *ОМП-4*, рис. 5.15. Обвалувач являє собою багатоківшевий екскаватор, ковшова рама *1* якого підвішена на поворотній платформі *7*, яка, у свою чергу, закріплена на гусеничному шасі *5*. Машина оснащена також бульдозерним ножем *3*.

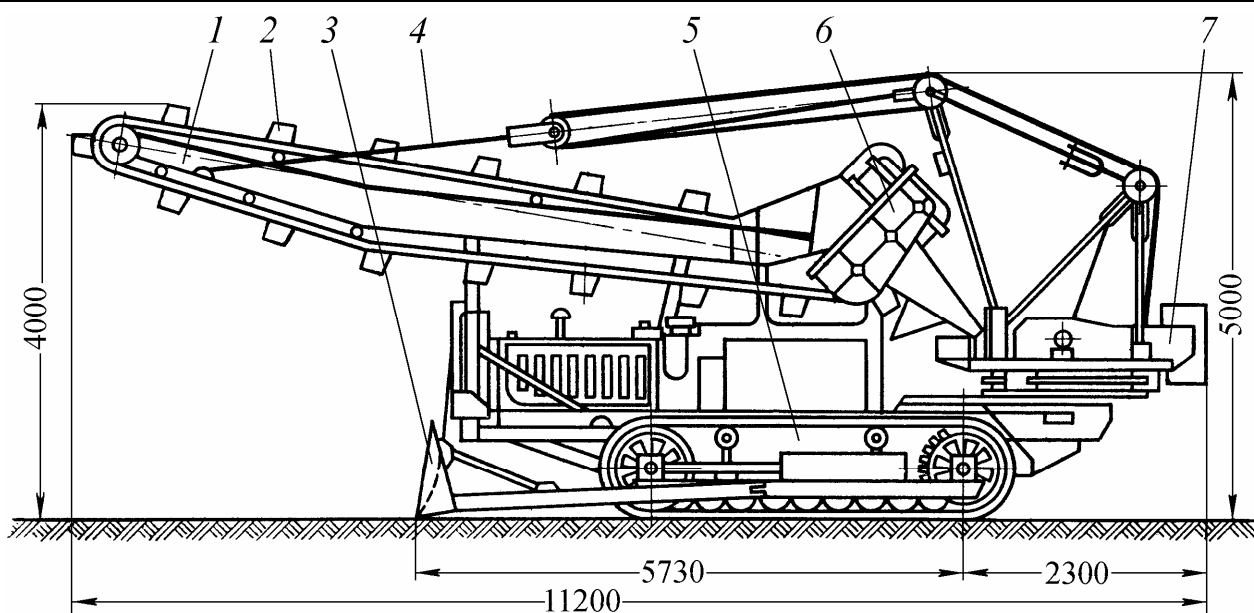


Рисунок 5.15 – Обвалувач ОПМ-4: 1 – ковшова рама; 2 – ковші; 3 – бульдозерний ніж; 4 – підвіска ковшової рами; 5 – ходова частина; 6 – привод ковшового ланцюга; 7 – поворотна платформа

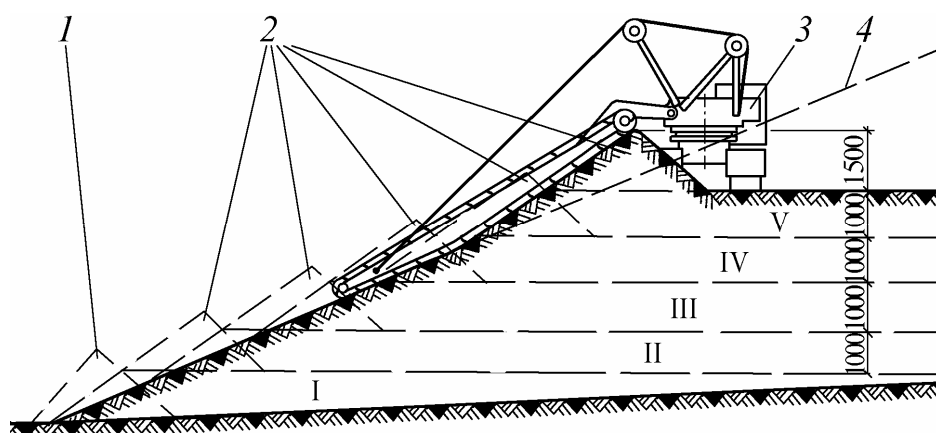


Рисунок 5.16 – Схема підйому обвалування: 1 – первинне обвалування; 2 – вторинне обвалування, 3 – обвалувач; 4 – проектний ухил спорудження; I ... V – яруси наміву

Схема роботи обвалувача при зведенні обвалування показана на рис. 5.16. Дамба первинного обвалування зводиться звичайним способом. Після наміву I ярусу обвалувач, рухаючись по верху уздовж дамби, піднімає ґрунт з зовнішньої сторони відвалу, створюючи нову дамбу висотою близько 1,5 м. У межах цієї дамби здійснюється намів наступного ярусу на висоту 1 м, після чого знову робиться обвалування.

Розрахункова продуктивність обвалувача 125 ... 400 м³/год. Застосування обвалувача дозволяє звести до мінімуму витрати праці та часу на зведення обвалування. Машина може бути використана також у якості крана вантажопідйомністю 5 т.

5.2.3 Розрахунок параметрів укладання породи при наміві

1) Ухил укладання порід

Ухил укладання порід має велике значення для формування відвала. Від ухилу суттєво залежать ємність і глибина відстійника та особливості зведення дамб обвалування, послідовність та інтенсивність пересувок основних наливних комунікацій та порядок проведення наливних робіт. Орієнтовне значення середнього ухилу наливу (у процентах) можна визначити за формулою

$$j_{\text{ср}} = \frac{a \sqrt[3]{S_G}}{\sqrt{1,6 \frac{Q_{\text{гс}}}{L}}}, \quad (5.20)$$

де a – коефіцієнт, що залежить від складу породи; для дрібних і середніх пісків $a = 3 \dots 3,5$, для різнозернистих і крупних пісків $a = 4,5 \dots 5$; $Q_{\text{гс}}$ – витрата гідросуміші, що подається на відвал, л/с; L – довжина укусу наливу; S_G – вагова консистенція гідросуміші:

$$S_G = \frac{\rho_{\text{гс}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{гс}}} \cdot \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} 100\%; \quad (5.21)$$

$\rho_{\text{т}}$, $\rho_{\text{гс}}$, $\rho_{\text{в}}$ – відповідно щільності твердого, гідросуміші і води.

За даними В. А. Мелентьєва, для породи з розміром часток, що відповідає 50% вмісту, $d_{50} < 1,5$ мм, середній ухил порід, що укладаються, визначається за формулою

$$j_{\text{ср}} = 0,15 \frac{q_{\text{т}}^{\frac{1}{3}}}{q_{\text{в}}^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{v_0^2}{g d_{50}} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (5.22)$$

де v_0 – гідравлічна крупність часток, см/с; $q_{\text{т}}$ і $q_{\text{в}}$ – відповідно витрата твердого і води, кг/с, що приходяться на 1 м фронту наливу; у випадку випуску гідросуміші з торця пульпопроводу і наявності розтікання гідросуміші у плані

$$q_{\text{т}} = \frac{0,5 Q_{\text{т}}}{b_{\text{ср}}}; \quad q_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в}}}{b_{\text{ср}}}; \quad (5.23)$$

0,5 – коефіцієнт, що враховує осадження часток з потоку гідросуміші по довжині укусу; $Q_{\text{т}}$, $Q_{\text{в}}$ – витрати твердого і води на випуску з пульпопроводу; $b_{\text{ср}}$ – середня ширина потоку гідросуміші; $b_{\text{ср}} = 0,63 L$.

Профіль укусу має форму увігнутої кривої і добре апроксимується степеневою залежністю. Значення ухилу на відстані x від випуску пульпи, за даними В. А. Мелентьєва, складає

Таблиця 5.12 – Середні ухил поверхні намиву

Породи	Ухил поверхні при намиві	
	надводному	підводному
Гравійно-піщана суміш	0,70...0,50	1,0...0,7
Пісок грубозернистий	0,20...0,10	0,30...0,20
Пісок середньозернистий	0,07...0,06	0,20...0,15
Пісок дрібнозернистий	0,04...0,03	0,15...0,10
Супесь легка	0,03...0,01	0,07...0,015
Глинисті породи	0,015...0,007	

$$j = 0,2 S_0^{\frac{1}{3}} \left(\frac{d_{50}}{h_{\Pi}} \right)^{\frac{1}{6}} \left(1 - \frac{x}{L} \right)^{\frac{1}{3}}; \quad (5.24)$$

де S_0 – початкова консистенція гідросуміші; h_{Π} – глибина потоку:

$$h_{\Pi} = \frac{Q_{\text{гс}}}{b_{\text{ср}} v_1}; \quad (5.25)$$

v_1 – швидкість потоку, при якій не відбувається розмиву породи.

Д. Л. Меламут рекомендує визначати середній ухил поверхні пляжу при породах крупністю 0,05 ... 20 мм, витраті пульпи 5 ... 70 л/с і консистенції 8 ... 12% по формулі

$$j_{\text{ср}} = C_j d_{\text{ср}} \sqrt[3]{\frac{g}{q_{\text{ср}}}}, \quad (5.26)$$

де $d_{\text{ср}}$ – середній діаметр часток породи, що намивається; $q_{\text{ср}}$ – середня питома витрата пульпи; C_j – коефіцієнт, що враховує ступінь розтікання пульпи:

$q_{\text{ср}}, \text{ л/с}$	5	8	11	15	35	44	50...70
C_j	0,264	0,234	0,210	0,156	0,063	0,035	0,028

Наближені значення ухилу поверхні при намиві з витратами 80 ... 400 л/с для різних порід наведені у табл. 5.12.

2) Фракціонування часток породи

Розподіл часток порід по крупності при намиві називається **фракціонуванням**. Явище фракціонування має велике значення при намиві споруджень, тому що розподіл часток по фракціях визначає міцність і щільність спорудження, що намивається, а також його

фільтраційні властивості. Не менш важливе значення фракціонування має при намиві складів будівельних пісків.

Фракціонування порід при намиві залежить від ряду факторів. При надводному намиві воно залежить від гранулометричного складу, консистенції і питомої витрати потоку, способу і технологічних умов намиву, довжини фронту намиву. У випадку підводного намиву, крім зазначених факторів, на фракціонування впливає швидкість руху води у відстійнику. Великий вплив на фракціонування робить різнозернистість порід. Якщо порода однорідна ($d_{90}/d_{10} < 4 \dots 5$) фракціонування відбувається менш інтенсивно. При зведенні греблі з однорідної породи без ядра звичайно скидаються за межі спорудження частки породи розміром $d < 0,01$ мм, а при зведенні греблі з ядром — частки розміром $d < 0,005$ мм.

У випадку укладання фракцій з неоднорідної породи можна керуватися наступними положеннями. На стадії технічного проекту для гідровідвалів і земляних споруджень, що намиваються, I і II класів відповідальності розкладка фракцій визначається в результаті дослідного намиву з дотриманням умов виробничого намиву й узяттям проб у різних точках профілю, що намивається. При складанні проектного завдання (в окремих випадках і технічному проекті для споруджень III класу) розкладка фракцій визначається за аналогією з намівом споруджень з порід подібного гранулометричного складу.

Для окремих випадків фракціонування може визначатися **графічним методом В. Н. Маслова**, який враховує фракції, осаджені на надводному укосі, у відстійному ставку і що скидаються з відвала. При повному осадженні враховуються фракції на підводному укосі й у ставку. Графік до розрахунку розкладки фракцій породи показаний на рис. 5.17. По осі абсцис відкладається мінімальний діаметр $d_{\min}$ часток, що укладаються в гідровідвал. Частки менше цього діаметра будуть скинуті з відвала. Точку, що відповідає $d_{\min}$, відзначимо по осі

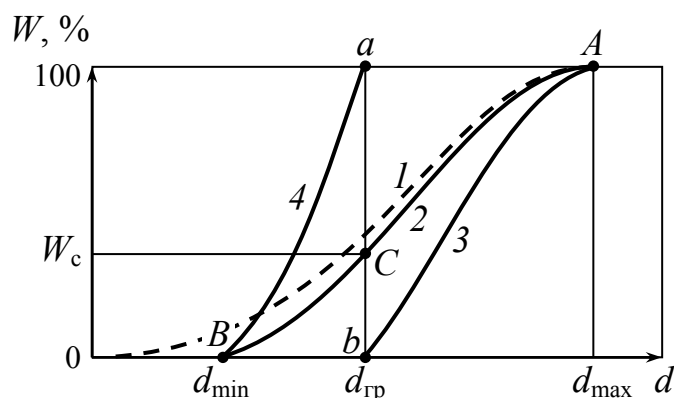


Рисунок 5.17 – Графік до розрахунку розкладення фракцій (за В. Н. Масловим) з кривими гранулометричного складу:
 1 – ґрунту, що намивається;
 2 – ґрунту, що залишається у відвалі;
 3 – ґрунту, що відкладається в упорній призмі;
 4 – ґрунту, що відкладається у ставку

абсцис буквою B . Графік гранулометричного складу (крива 1) повертають проти годинної стрілки до точки B . Крива AB (крива 2) характеризує склад породи, що залишається після скидання дрібних фракцій, які видаляються. Вміст W_c дрібних фракцій, що залишаються у ставці, відкладають по осі ординат. Від цієї точки проводять горизонталь до перетинання з кривою AB у точці C , проекція якої на вісь абсцис визначає граничну крупність $d_{гр}$. Частиці розміром більше $d_{гр}$ відкладаються на пляжі і формують тіло упорної призми; менші – потрапляють у ставок, осаджуються і утворюють ядро. Через точку C проводять вертикаль до перетинання з лінією 100%-ного вмісту фракцій і одержують точку a . Перетинання вертикалі з віссю абсцис дає точку b . Повертаючи криву AB (крива 2) навколо точки A проти годинної стрілки до точки b , одержують криву Ab (крива 3). Ця крива характеризує склад породи зовнішньої утримуючої призми. Поворот кривої 2 навколо точки B проти годинної стрілки до перетинання з точкою a дає криву aB (крива 4), що характеризує гранулометричний склад порід, які укладаються у ставковій частини гідровідвала (ядро відвала).

Більш точним є **метод П. І. Гордієнко**. На кривій гранулометричного складу породи AB , рис. 5.18, аналогічно рис. 5.17 визначається точка C та її проекції a і b . Лівіше від точки B , що відповідає мінімальному розміру часток d_{min} береться допоміжна точка M , з якої на осі абсцис проводяться промені у точки a та C . Точка a відповідає 100% вмісту часток ядра. Для побудови кривої гранулометричного складу ядра точки 1 і 2 кривої AB переносяться у точки $1'$ і $2'$. Наприклад, з точки 2 проводимо горизонталь, яка перетинає промінь MC у точці 2^* ; з точки 2^* проводимо вертикаль до перетину з

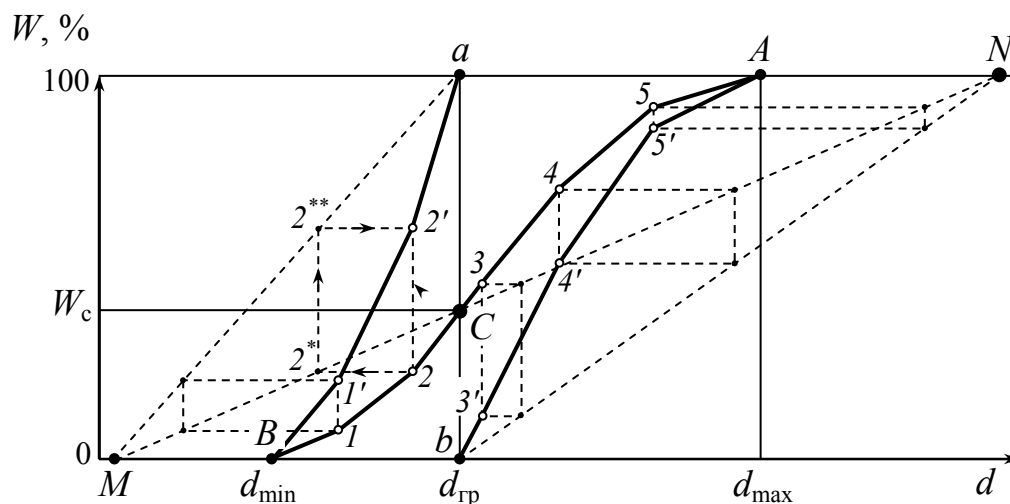


Рисунок 5.18 – Графік до розрахунку розкладення фракцій (за П. І. Гордієнко)

променем Ma у точці 2^{**} ; через останню знов проводимо горизонталь. Точка $2'$ перетину цієї горизонталі з вертикальною лінією, проведеною з точки 2 , буде належати кривій гранулометричного складу ядра aB .

Для побудови лінії гранулометричного складу породи, яка відкладається на укосі і утворює упорну призму, слід взяти допоміжну точку N на лінії 100%-ного вмісту фракцій вправо від точки A , яка відповідає максимальному розміру часток $d_{\max}$. Точки $3'$, $4'$ і $5'$ кривої Ab гранулометричного складу укладеної на укосі породи визначаються аналогічним способом, спираючись на промені CN та bN .

Описані методи є орієнтовними і виходять з припущення про повне розділення часток за крупністю. Методи не враховують можливість влучення дрібних часток у зовнішню призму і попадання великих часток у ядро. З інших слід зазначити методи Є. А. Гаврошенка, А. П. Тихомірова, І. А. Шнеєра, І. Я. Русинова. Перші три методи засновані на урахуванні параметрів наливного потоку. Так, метод Є. А. Гаврошенка заснований на урахуванні динаміки зміни твердої витрати потоку, а метод А. П. Тихомірова — на визначенні відстані від випуску пульпи центра розсіювання окремих фракцій. Метод І. А. Шнеєра враховує транспортуючу здатність і розподіл мутності по глибині потоку. Метод І. Я. Русинова відрізняється від інших методів тим, що він враховує не потік гідросуміші, а в основному характер руху твердих часток. Усі ці методи цікаві тим, що торкаються фізичної суті процесу наливу, однак їх технічне використання є складним через труднощі визначення параметрів, які входять у розрахункові залежності.

3) Щільність намитих порід

Щільність порід зовнішньої упорної призми визначає стійкість гідровідвала, його фільтраційні властивості і величину усадки. Щільність порід зовнішньої призми залежить від складу порід і технології наливу. Для прогнозу щільності скелету піщаних порід можна використовувати формулу, отриману з формули К. Терцагі для відносної щільності.

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{\rho_{\text{грп}} \rho_{\text{грщ}}}{\rho_{\text{грп}} \delta + \rho_{\text{грщ}} (1 - \delta)}, \quad (5.27)$$

де $\rho_{\text{ск}}$ — щільність скелету породи в упорній призмі при заданому значенні відносної щільності δ , яка змінюється в залежності від фракційного складу в межах 0,3 ... 0,6, табл. 5.13; $\rho_{\text{грп}}$ і $\rho_{\text{грщ}}$ — відповідно

Таблиця 5.13 – Значення відносної щільності скелету порід

Коефіцієнт неоднорідності	Розмір основних часток, мм	Вміст основних часток, %	Кут природного укусу, градуси	Відносна щільність
2	0,1 ... 0,25	60	25	0,30...0,32
3	0,1 ... 0,25	50	28	0,33...0,35
4	0,1 ... 0,5	50	30	0,35...0,40
5	0,1 ... 0,5	50	32	0,45...0,60

щільність скелету гранично пухкої і гранично щільної породи.

Величина $\rho_{\text{грп}}$, т/м³, визначається по формулі В. Н. Маслова,

$$\rho_{\text{грп}} = \frac{1,75}{(100\sqrt{k})^{0,05}}; \quad (5.28)$$

$$k = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{100 \text{Lg} \frac{d_{\text{max}}}{d_{\text{min}}}} \sum \frac{\beta_i}{d_{i \text{ max}} - d_{i \text{ min}}} \text{Lg} \frac{d_{i \text{ max}}}{d_{i \text{ min}}}, \quad (5.29)$$

де d_{max} , d_{min} – відповідно максимальний і мінімальний діаметр часток у даній породі; β_i – вміст i -ї фракції у породі, %; $d_{i \text{ max}}$, $d_{i \text{ min}}$ – різниця діаметрів часток i -ї фракції.

В. А. Мелентьев у результаті аналізу дослідних даних побудував графік щільності скелету порід в залежності від параметра крупності Π , рис. 5.19.

Питання прогнозування щільності скелету суглинних і супіщаних порід розроблено значно слабкіше. Б. А. Волніним при обстеженні гідровідвалів на кар'єрах вогнетривких глин встановлено, що на щільність скелету порід пляжу найбільш впливає вміст у ньому часток розміром менш 0,05 мм. Щільність скелету визначається за залежностями

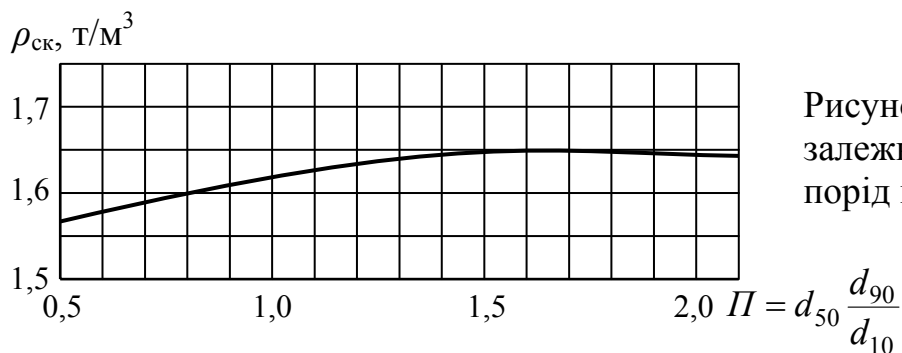
$$\rho_{\text{ск}} = \begin{cases} 1,7 - (\alpha - 11)^2 10^{-3}, & \text{якщо } \alpha < 18\%; \\ 1,445 - 5,84(\alpha - 41)10^{-3} + 0,012(\alpha - 41)^2 10^{-3}, & \text{якщо } \alpha > 18\%, \end{cases} \quad (5.30)$$

де α – вміст часток розміром $d < 0,05$ мм, %.

Якщо в намитому ґрунті міститься більше 50% фракції 0,05 ... 0,25 мм, щільність скелету визначається за формулою

$$\rho_{\text{ск}} = 1,819 - 0,414 \cdot 10^{-2} \beta, \quad (5.31)$$

де β – вміст часток $d = 0,05 \dots 0,25$ мм, %.

Рисунок 5.19 – Графік залежності щільності намитих порід від параметра Π

4) Вологість намитих порід

Вологість породи має вирішальне значення для її міцності. Вологість порід пляжу збільшується в напрямку намиву від периферії до центра гідровідвала. Поблизу випуску гідросуміші вологість мінімальна, оскільки тут укладаються найбільш великі частки. З віддаленням від випусків розмір часток зменшується, а вологість збільшується. При цьому в ділянки пляжу біля ставка волога надходить з більш високих периферичних ділянок. Після закінчення періоду намиву, коли утрата вологи відбувається в основному за рахунок випару, можна приблизно вважати, що вологість порід пляжу змінюється в залежності від його довжини за лінійним законом

$$W = W_0 + \Delta W \frac{x}{L}, \quad (5.32)$$

де W_0 – вологість біля випуску гідросуміші; ΔW – приріст вологості на кінці пляжу; x – відстань ділянки, що розглядається, від випуску гідросуміші; L – довжина пляжу. Значення W_0 та ΔW змінюються в залежності від складу порід, технології намиву і метеорологічних факторів у межах $W_0 = 8 \dots 15 \%$ і $\Delta W = 20 \dots 25 \%$.

Опір зсуву і кут внутрішнього тертя намитой на пляжі породи у залежності від вологості можна визначити з табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – Опір зсуву і кут внутрішнього тертя намитой породи

Вологість, %	Суглинок		Супісь	
	Опір зсуву, кПа	Кут внутрішнього тертя, градуси	Опір зсуву, кПа	Кут внутрішнього тертя, градуси
8...20	4...3	17...15	2...1,5	24...20
20...25	3...2	15...13	1,5...1	20...17
25...30	2...1	13...10	1...0,7	17...15
30...35	1...0,5	10...8	0,7...0,3	15...14
35...40	0,5...0,3	8...6	0,3...0	14...10

5.2.4 Технологія гідровідвалоутворення

Способи гідравлічного укладання порід у відвали або в земляні спорудження вибирають з урахуванням призначення останніх, класу їх відповідальності, характеристики порід, що укладаються, об'єму робіт, розміру і рельєфу гідровідвальних територій.

Способи гідровідвалоутворення на кар'єрах класифікуються за наступними ознаками:

1. За розташуванням намивного пульпопроводу розрізняють:

— **низькоопорний намив** — пульпопровід розташований на опорах висотою до 1,5 м, рис. 5.20 а, г;

— **естакадний намив** — пульпопровід розташований на естакаді висотою понад 1,5 ... 2 м, рис. 5.20 е;

— **безестакадний намив** — пульпопровід прокладений безпосередньо по дамбі у межах ярусу намиву, рис. 5.20 д, або здійснюється безупинне кранове переукладення намивного трубопроводу у процесі намиву, рис. 5.20 в.

2. За способом випуску гідросуміші з пульпопроводу буває:

— **зосереджений намив** — гідросуміш випускається з торця пульпопроводу, 5.20 а, б, в;

— **розосереджений намив** — гідросуміш випускається одночасно з багатьох випусків, які відходять від намивного пульпопроводу, рис. 5.20 г, д, е.

3. За порядком заповнення ємності відвалу розрізняють:

— **односторонній намив** — здійснюється з однієї сторони відвала;

— **двосторонній намив** — здійснюється з двох (звичайно протилежних) сторін відвала;

— **кільцевий намив** — по декількох сторонах або по всьому периметру відвала.

4. За характером переміщення фронту робіт виділяють:

— **паралельний намив**, рис. 5.21 а;

— **віяловий намив**, рис. 5.21 б;

— **змішаний намив**.

Способи намиву характеризуються сукупним впливом основних технологічних ознак. Розглянемо технологічні процеси намиву за умовами розміщення намивного пульпопроводу на відвальному фронті і особливостями випуску пульпи на відвал. Пульпопроводи, які доставляють пульпу на гідровідвал, розділяються на *магістральні*,

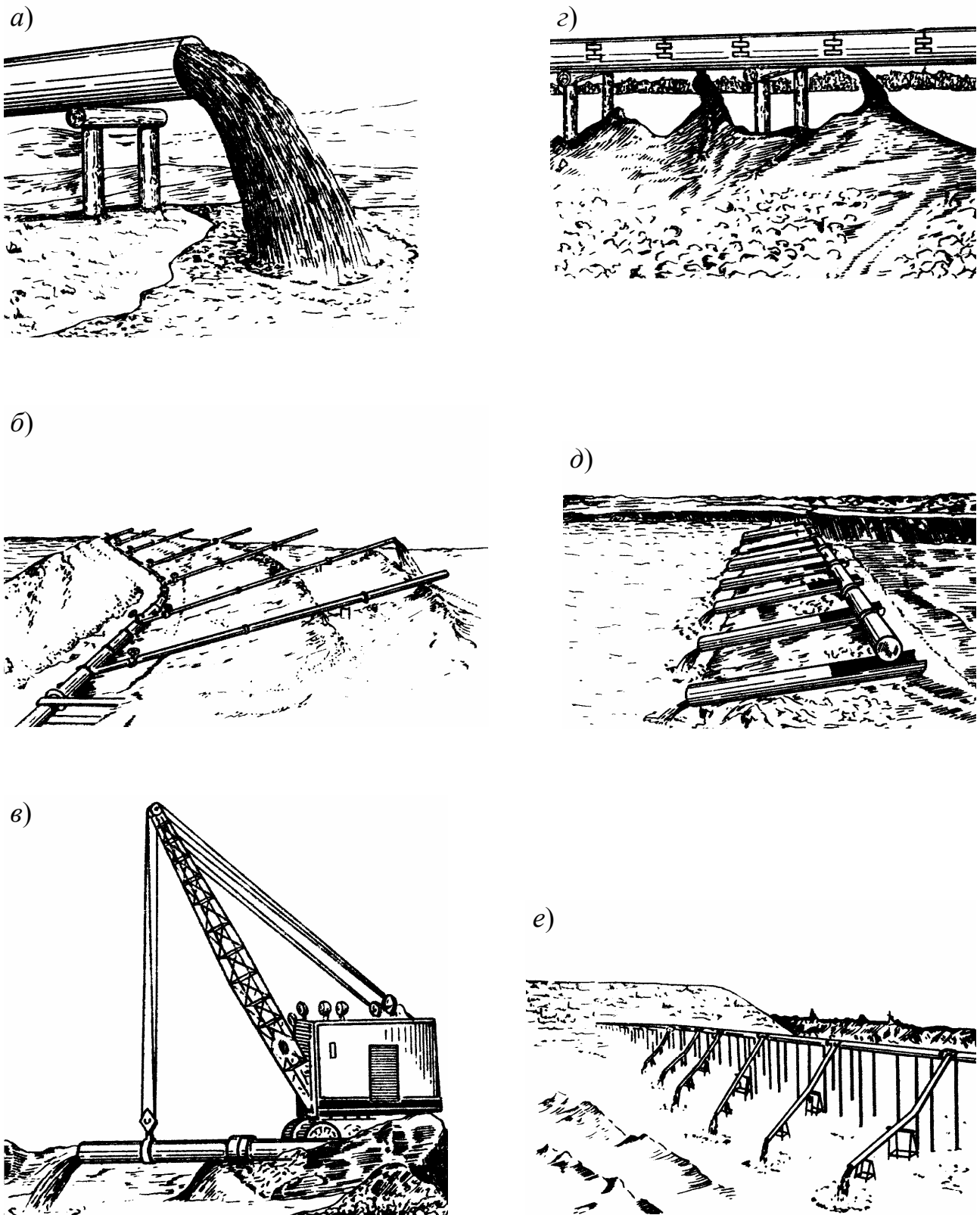


Рисунок 5.20 – Способи наміву порід: зосереджений низькоопорний (а); зосереджений безестакадний (б); зосереджений безестакадний з безперервним переукладенням пульпопроводу (в); розосереджений низькоопорний (г); розосереджений безестакадний (д); розосереджений естакадний (е)

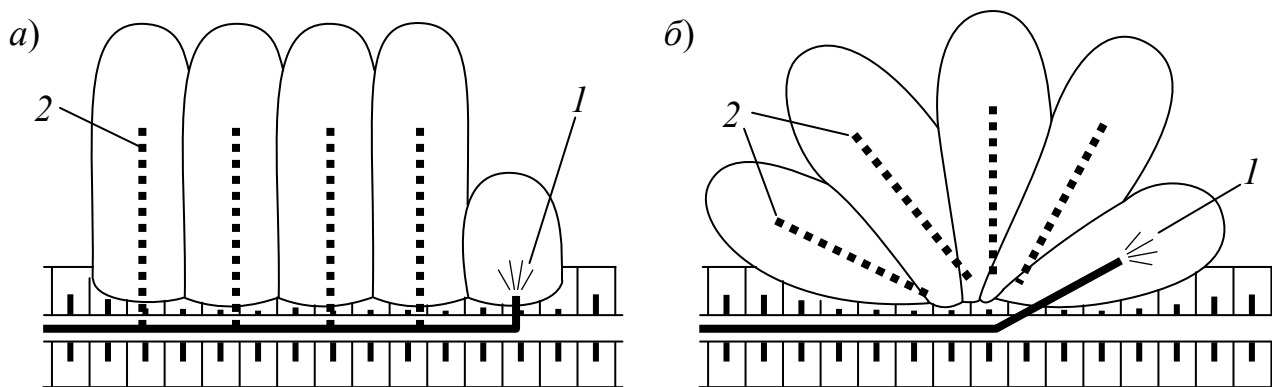


Рисунок 5.21 – Паралельний (а) та віяловий (б) способи наміву: 1 – поточне положення намівного пульпопроводу; 2 – попередні положення пульпопроводу

розвідні, розподільні і намівні. Магістральними пульпопроводами гідросуміш транспортується до відвала; розвідні подають гідросуміш до ділянок наміву, розподільні — до намівних пульпопроводів, які безпосередньо або за допомогою випускних пристроїв передають гідросуміш на відвал.

При намівних роботах, які здійснюються з ухилом до ставка-відстійника, великі фракції укладаються безпосередньо біля гребеня наміву, а дрібні відводяться до ставка. При цьому позначка поверхні наміву біля дамби, яка періодично нарощується, має бути вище рівня води у відстійнику не менше, ніж на 0,75 м.

Спосіб випуску пульпи з *торця пульпопроводу*, рис. 5.20 а, б, в, часто застосовується при укладенні піщаних і супіщаних порід. У місці випуску пульпи з торця пульпопроводу з часток породи утворюється конус. Коли він досягає такої висоти, при якій подальший намів породи ускладнюється, кінець пульпопроводу нарощують у напрямку розвитку гідровідвалу. Послідовними нарощуваннями досягається заповнення породою необхідного простору відвалу. Перевага цього способу наміву полягає в можливості укладання максимального об'єму породи без частих переміщень пульпопроводу при мінімальній його протяжності. Основний недолік полягає в ускладненні нарощування дамб, віддалених від місць випуску гідросуміші, через концентрацію великих фракцій біля випуску.

При *безстакадному способі*, рис. 5.20 в, для наміву застосовуються пульпопроводи з труб із швидкорознімними з'єднаннями, рис. 5.22. Намив робиться зосереджено з торця намівного пульпопроводу. При цьому приймається такий порядок робіт.

По довжині фронту наміву за допомогою бульдозера без зупинки намівних робіт зводиться невелика дамба побіжного обвалування.

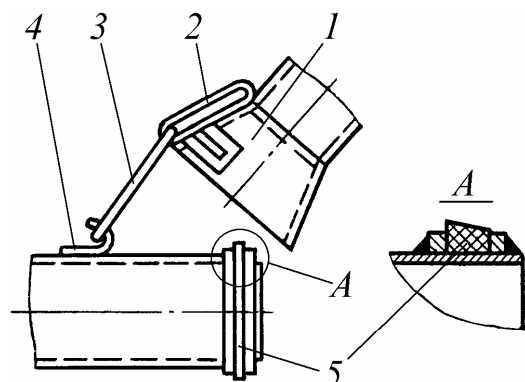


Рисунок 5.22 – Швидкорознімне з'єднання:
1 – конічний розтруб; 2 – скоба; 3 – кільце;
4 – гак; 5 – гумова прокладка

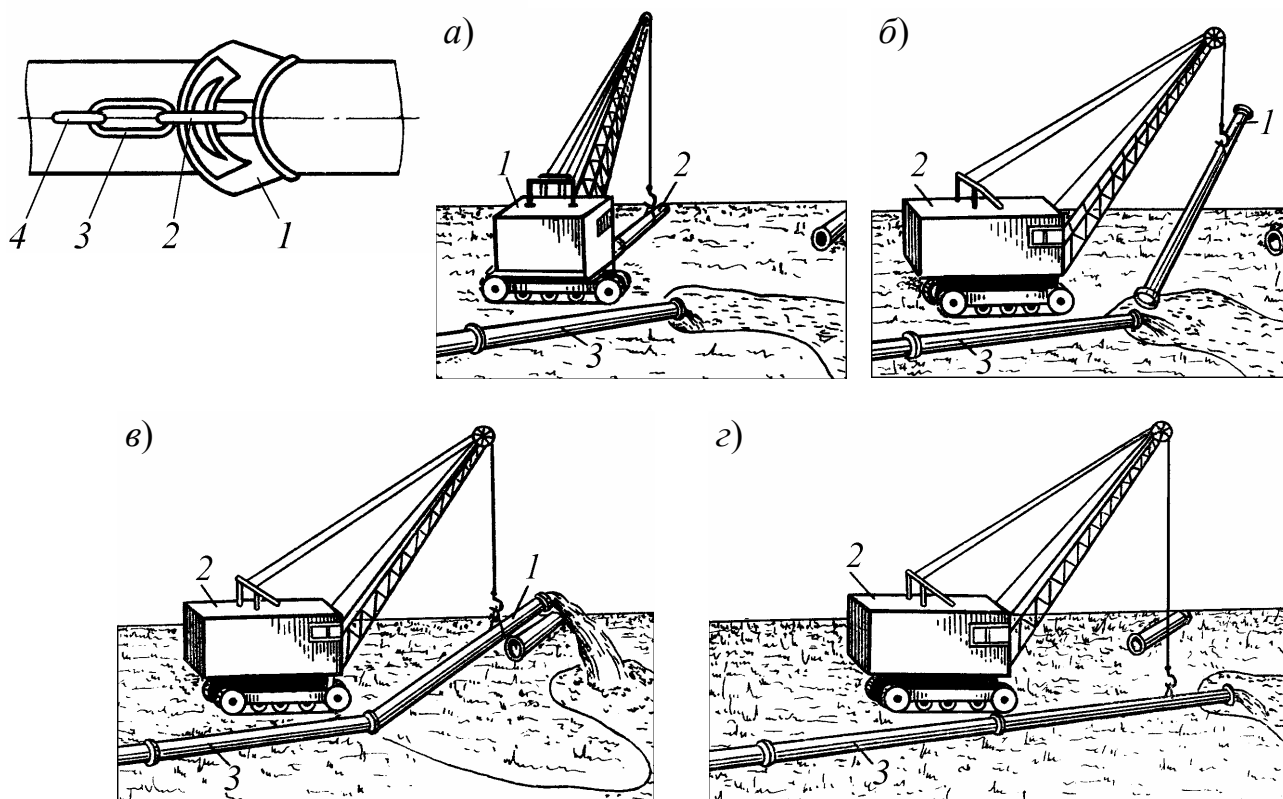


Рисунок 5.23 – Безстакадний налив: послідовність операцій при крановому переукладенні трубопроводу з використанням швидкороз'ємних з'єднань

Резервна висота такої дамби становить 0,6 ... 0,8 м. Налів починається з торця останньої ланки пульпопроводу, що підтримується краном. Гідросуміш, яка випускається з труби, укладається шаром в 25 ... 30 см при гідротехнічних роботах, та до 1,0 ... 1,5 м при гідровідвальних роботах. Коли шар породи намитий, за допомогою крана і швидкорознімного з'єднання, *без зупинки робіт* нарощується наступна труба. На рис. 5.23 показані послідовні положення труби, що нарощується, при цьому способі робіт.

Після наливу шару кран опускає останню ланку пульпопроводу на наміту породу. Потім кран піднімає заздалегідь підготовлену наступну ланку труби і приєднує його до працюючого пульпопроводу

без зупинки робіт. Далі операція нарощування трубопроводу робиться з тою ж послідовністю. Коли пульпопровід досягає межі укладання, починають вести роботи в зворотному порядку, з послідовним від'єднанням крайніх труб. Торець крайньої труби, що залишився на породі, піднімають на 25 ... 30 см, а намів продовжують від кінцевої до початкової межі відвалу. Такий спосіб наміву дозволяє зменшити трудомісткість і вартість відвальних робіт, скоротити простої гідроустановок.

При *низькоопорному способі* розміщення пульпопроводів, їх основою є інвентарні дерев'яні або металеві опори висотою до 1,5 м, рис. 5.20 а. При цьому монтаж намівного пульпопроводу робиться на швидкокорозійних з'єднаннях. Гідросуміш часто випускають безпосередньо з торця пульпопроводу. Намив регулюють з'єднанням або роз'єднанням секцій труб і їхнім відповідним зсувом для випуску гідросуміші.

Після відсіпки обвалування, установки опор і монтажу труб робиться намів на висоту опор. Після наміву ярусу труби відкочують з опор, знімають поперечини і висмикують стійки, відсіпають обвалування і знову монтують опори і пульпопровід. Низькоопорний намів може робитися також із розосередженим випуском пульпи, як це показано на рис. 5.20 г.

При *естакадному способі* наміву, рис. 5.20 е, гідросуміш від магістрального пульпопроводу передається на розподільні пульпопроводи, які укладаються на дерев'яних або металевих естакадах висотою до 6 м. Намив гідровідвалу звичайно робиться ярусами, висота яких залежить від річного підвищення гідровідвалу.

На дерев'яних естакадах основні опори виконуються у вигляді П-подібних рам, заглиблених у ґрунт на 0,9 ... 1,2 м. Дерев'яні естакади малоекономічні і менш ефективні порівняно з металевими.

Гідросуміш випускається з отворів діаметром 150 ... 250 мм, обладнаних спеціальними затворами або простими шиберами. Відстані між випусками приймаються від 6 до 10 м. Гідросуміш випускається на відвал за допомогою розподільних лотків, які можуть бути стаціонарними, див. рис. 5.20 е, або поворотними. Поворотні лотки дозволяють керувати процесом наміву, більш рівномірно розподіляти ґрунт та охоплювати з одного випуску більшу ділянку відвала. Тому випуски з поворотними лотками можуть бути розташовані з більшими інтервалами. Схема поворотного лотка для випуску пульпи показана на рис. 5.24.

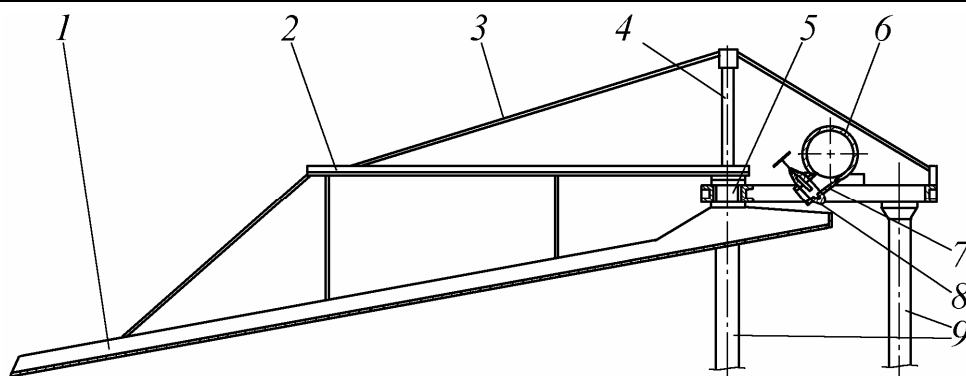


Рисунок 5.24 – Схема поворотного лотка на естакаді: 1 – лоток; 2 – балка; 3 – підвісні дроти; 4 – стійка; 5 – шарнір; 6 – наливний пульпопровід; 7 – випуск; 8 – засувка; 9 – стійки естакади

Схема естакадного кільцевого наміву показана на рис. 5.25. Намивні роботи вздовж фронту робіт ведуть у межах даного ярусу окремими ділянками. Розміри таких ділянок і кількість одночасно працюючих випусків визначаються продуктивністю і напором землесоса, характеристикою порід, які наминаються, і консистенцією гідросуміші, висотою естакади та іншими особливостями, що характеризують гідровідвал.

При одночасній інтенсивній укладці порід у вузькопрофільні споруди в два яруси, на кожний землесос (земснаряд) закріплюється дві ділянки наливних робіт: на одній ділянці робиться налив, на іншій ведеться підготовка до наливних робіт у наступному ярусі або ж у межах першого ярусу. Після закінчення наміву на даному ярусі труби демонтують, а інвентарні естакади витягають із ґрунту, роблять монтаж наливного устаткування і починають налив на іншому ярусі.

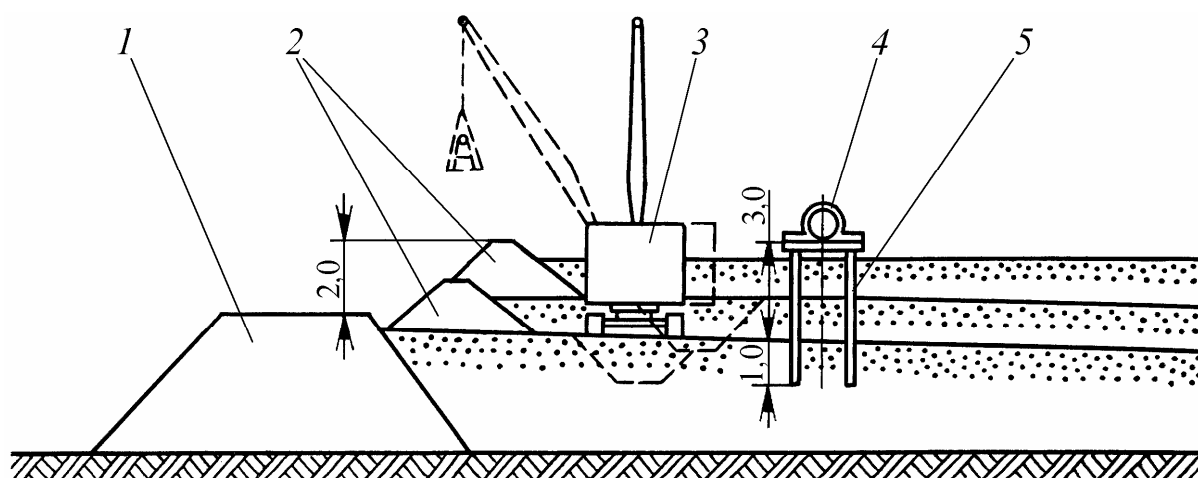


Рисунок 5.25 – Схема естакадного наміву: 1 – початкове обвалування; 2 – обвалування з намітої породи; 3 – екскаватор (кран); 4 – пульпопровід; 5 – естакада

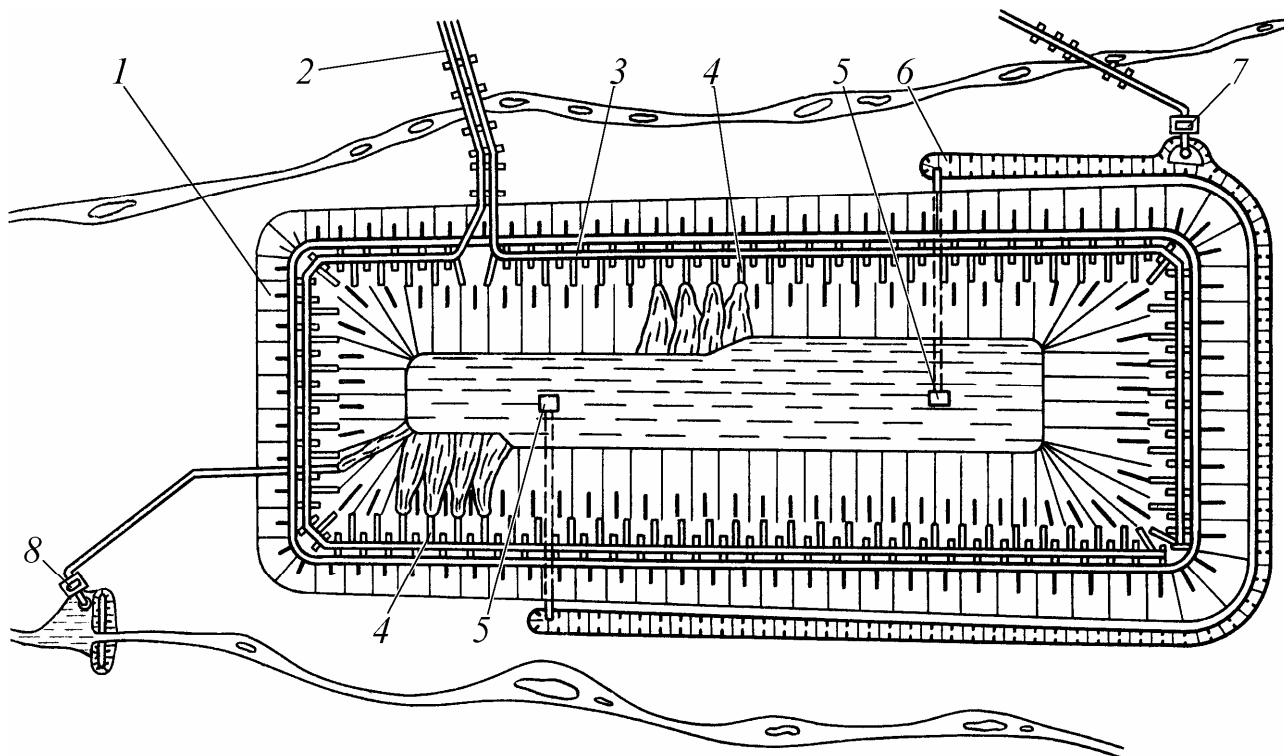


Рисунок 5.26 – Схема кільцевого наміву гідровідвала, розташованого на рівнинній місцевості: 1 – дамба початкового обвалування; 2 – магістральні пульпопроводи; 3 – намівні пульпопроводи; 4 – випуск гідросуміші; 5 – водоскидні колодязі; 6 – водовідвідна канава; 7 – насосна станція робочої води; 8 – насосна станція підживлення

Вибір способу заповнення ємності і переміщення фронту робіт залежить від гірничотехнічних умов. Переміщення фронту робіт може бути прийняте в напрямку від греблі або дамби до зовнішніх меж гідровідвалу, або в зворотному порядку. Перевагою переміщення фронту робіт за першою схемою є зміцнення огорожувальної дамби породою, що намивається, і полегшення умов підйому обвалування з намітої породи. Такий спосіб переміщення фронту робіт іноді ускладнюється в зв'язку з необхідністю прокладки пульпопроводів великої довжини від відвалів до дамби. На вугільних кар'єрах застосовується головним чином цей спосіб переміщення фронту робіт.

При розташуванні гідровідвалу на рівнинній території часто застосовують кільцеве розташування пульповоду (кільцевий намів). При наявності глинистих порід випуск пульпи в цьому випадку роблять розосереджено, рис 5.26. При укладці порід у відвал, розташований на косогорі, див. рис 5.12 б, застосовують кільцевий намів із скиданням пульпи з окремих випусків або з торця труби.

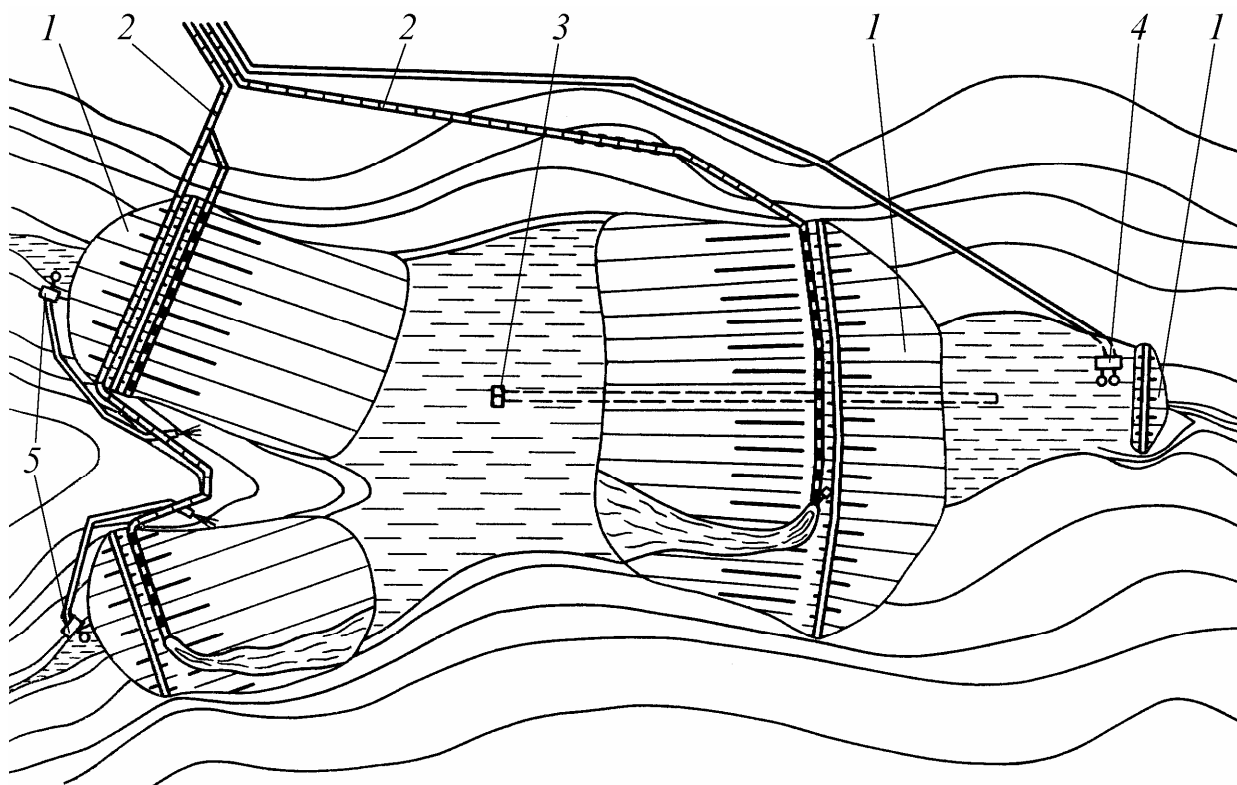


Рисунок 5.27 – Схема двостороннього наміву гідровідвала, розташованого у яру: 1 – дамба початкового обвалування; 2 – намівні пульпопроводи; 3 – водоскидні колодязі; 4 – насосна станція робочої води; 5 – насосні станції підживлення

Особливість гідровідвалів, які розташовані у яру, див. рис 5.12 в, полягає у відносно невеликому об'ємі робіт по створенню початкового обвалування. При цьому слід враховувати, що відвал має забезпечити пропуск паводкових вод. Намив може здійснюватися як з одного, так і з двох протилежних напрямків. Приклад двобічного наміву показано на рис 5.27.

Намив *гребель* і *дамб* робиться за різними схемами залежно від їх призначення, класу відповідальності, гірничогеологічних умов зведення і характеристики порід, що наміваються. Ці особливості відбиваються при виборі профілю греблі і способу організації намівних робіт. Рекомендуються наступні схеми наміву, рис. 5.28.

Схема *а* використовується переважно для піщано-гравелістих порід. Намив робиться безстакадним способом із пульпопроводів, розташованих паралельно осі греблі. При наміві однорідних пісків застосовують схему *б*, відмінність якої полягає в більш близькому розташуванні відстійного прудка до верхівкового укосу греблі. Схема *в* дозволяє прискорити темп намівних робіт за рахунок одночасного наміву з кількох випусків. Її відмінністю є розташування намівних пульпопроводів нормально до осі греблі. Схема *г* відрізняється тим,

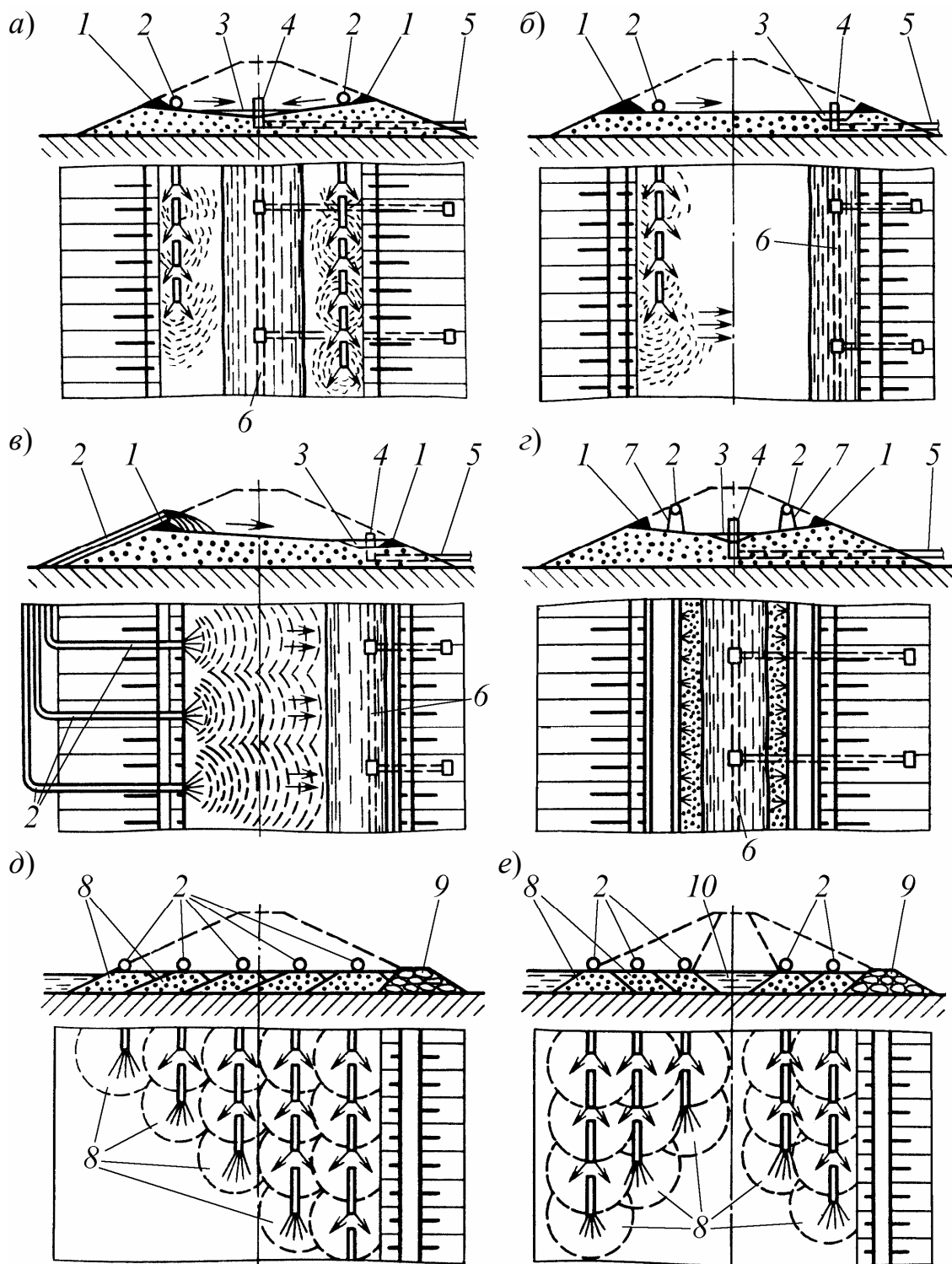


Рисунок 5.28 – Схеми надводного (а, б, в, г) та підводного (д, е) наміву гребель:
 1 – дамба обвалування; 2 – наливний пульпопровід; 3 – ставок-відстійник;
 4 – водоскидний колодязь; 5 – відвідна труба; 6 – колектор; 7 – естакада;
 8 – конуси наміву; 9 – банкет; 10 – ядро

що тут передбачений естакадний налив із розосередженим випуском пульпи. Така схема може бути прийнята тільки при спеціальному обґрунтуванні, оскільки застосування естакад є менш економічним.

Схеми *a ... г* можуть прийматися при зведенні однієї і тієї ж греблі для окремих її позначок. Так, наприклад, для нижніх позначок може бути обрана схема *б*, для верхніх — схема *а* і т.д.

Схеми *д* та *е* застосовуються для зведення гребль при укладці порід частково під воду в руслі ріки. За схемою *д* зводять без'ядерні греблі з однорідного піску. За способом *е* спочатку наминають бічні призми до позначки вище горизонту води, потім наминається з дрібнозернистої породи центральна — ядерна частина. Після того як намина підводна частина греблі, намин надводної частини може робитися за схемами *а ... в*.

5.2.5 Прояснення та видалення відпрацьованої води

Прояснення відпрацьованої води в умовах гідровідвалів здійснюється за рахунок осадження часток породи у ставок-відстійник. Основною задачею розрахунку є визначення *шляху осадження часток*, тобто відстані, на якій випадуть частки породи даної маси і розміру, а також кількості і розміру часток, що будуть винесені з відпрацьованою водою.

При випуску пульпи в ставок відвала частка, разом зі збереженням руху в напрямку потоку, починає падати. Траєкторія руху частки зображена на рис. 5.29. Шлях, пройдений часткою до її осадження, може бути приблизно знайдений з пропорції

$$\frac{H_B}{L_{oc}} \approx \frac{v_{oc}}{v_{\pi}}, \quad (5.33)$$

де L_{oc} — шлях осадження частки; H_B — глибина відстійника; v_{oc} — вертикальна складова швидкості осадження частки; v_{π} — горизонтальна складова швидкості потоку в активній частині відстійника:

$$v_{\pi} = \frac{Q_k}{B_B H_B}; \quad (5.34)$$

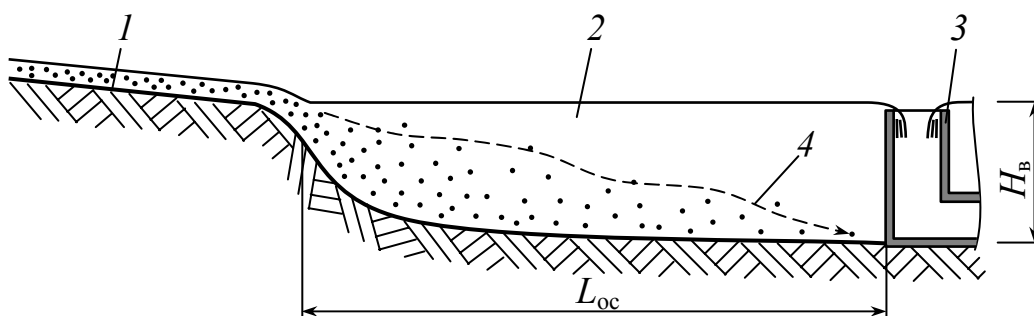


Рисунок 5.29 — Схема осадження часток породи у ставок-відстійник: 1 — пляж; 2 — ставок-відстійник; 3 — колодязь; 4 — траєкторія руху частки, що осаджується

Q_k – витрата води, що скидається колодязем; B_v – активна ширина ставка-відстійника.

Оскільки швидкість руху води у відстійнику мала, і турбулентність не оказує визначального впливу на процес осадження, середнє значення вертикальної складової швидкості частки буде близьким до її гідравлічної крупності v_0 .

Гідравлічну крупність часток, які осаджуються у ставку-відстійнику, можна визначити за залежністю

$$v_0 = \alpha v_{\text{п}} \frac{H_v}{L_v}, \quad (5.35)$$

де $\alpha = 1,2 \dots 1,6$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірні умови осадження; L_v – довжина відстійника. За гідравлічною крупністю визначається граничний розмір $d_{\text{гр}}$ часток, що осаджуються (див. рис. 1.1). За кривою гранулометричного складу породи визначається вміст $W_{\text{ск}}$ часток, що скидаються через колодязь (розмір яких менший, ніж $d_{\text{гр}}$).

Концентрація зважених твердих часток у потоці, що скидається, становить

$$K_{\text{зв}} = \frac{\rho_t Q_t W_{\text{ск}}}{Q_k}, \quad (5.36)$$

де ρ_t – щільність твердих часток; Q_t – об'ємна витрата твердого, що скидається у відвал. Концентрація зважених твердих часток не повинна перевищувати допустимої, табл. 5.15.

Значення допустимої концентрації часток у воді, що скидається у водні об'єкти (річки, озера, водоймища) регламентується нормативними вимогами. Обмеження концентрації часток у оборотній воді зумовлене зносом обладнання (насосів, труб, арматури, гідромоніторів) і залежить від розмірів та абразивності часток.

Таблиця 5.15 – Допустима концентрація зважених твердих часток

Призначення води	Допустима концентрація
Централізоване господарсько-питне водопостачання	0,25 мг/л
Водойми для купання, водойми у населених пунктах	0,75 мг/л
Оборотна вода гірничих підприємств при крупності часток до 0,05 мм	5 г/л
Те ж, при вмісті глинистих неабразивних часток	30 г/л

Якщо концентрація часток у воді, що скидається, перевищує допустиму, необхідно зменшити швидкість руху води у відстійнику, збільшивши розміри його активного перетину, або ж збільшити довжину відстійника. Необхідну довжину відстійника можна визначити за залежністю

$$L_{\text{в}} = \alpha H_{\text{в}} \frac{v_{\text{п}}}{v_0}, \quad (5.37)$$

де v_0 – гідравлічна крупність найменших часток, які мають бути осажені у відстійнику, щоб забезпечити необхідну якість води.

Водоскидні пристрої гідровідвалів мають забезпечити повне видалення відпрацьованої води і не допускати її накопичення понад розрахункові межі більш ніж на 2 ... 3 %. Ці споруди розраховують на пропуск паводкових, зливних та інших вод, а також на повне спорожнення прудка-відстійника. Необхідність повного випуску води може виникнути в аварійних випадках.

Для відводу відпрацьованої води застосовують **водоскидні колодязі** шандорового типу і **плавучі насосні станції**. У табл. 5.16. наведені характеристики водоскидних колодязів.

При спорудженні водоскидного колодязя рекомендується враховувати наступне. У слабких породах влаштовується пальова основа з глибиною забивання паль не менше 2 м, рис. 5.30 а. При наявності щільних порід із припустимим навантаженням більш 1 кг/см² колодязі можуть встановлюватися без забивання паль у породу, але з обов'язковим привантаженням їх породою або зі спеціальним закріпленням проти спливання, рис. 5.30 б. При малій висоті наміву колодязі виконуються звичайно з однієї секції. В інших випадках вони виконуються з двох і більше секцій, які установлюються послідовно в міру підйому відвалу.

Таблиця 5.16 – Характеристика водоскидних колодязів

Тип колодязя	Умови застосування
Колодязі малої висоти спрощеної конструкції	Відвали висотою до 6 м для III класу відповідальності гідровідвалу
Колодязі з вертикальним стояком	Відвали висотою більш 6 м для I і II класу відповідальності
Односекційний колодязь	Пропускна спроможність до 2000 м ³ /год
Двосекційний колодязь	Пропускна спроможність 2000 ... 4000 м ³ /год
Трисекційний колодязь	Пропускна спроможність понад 4000 м ³ /год

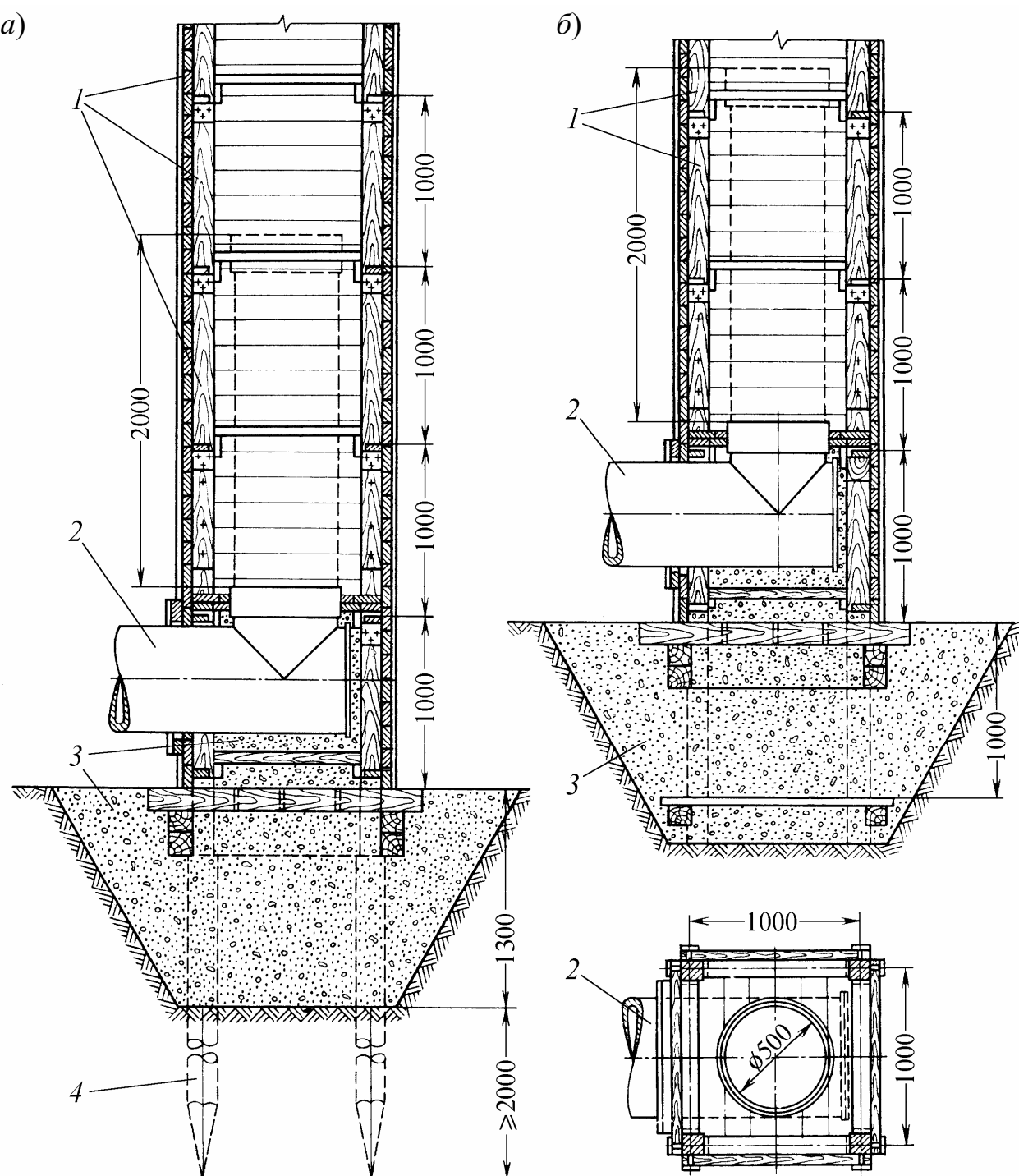


Рисунок 5.30 – Конструктивні схеми водоскидних колодязів на пальовій (а) та зрубовій (б) основах: 1 – секції; 2 – водовідвідна труба; 3 – гравійна засипка; 4 – палі.

Днище колодязя виконується у вигляді подвійної дерев'яної підлоги з основою із шару гравію і піску. При наявності проникної ґрунтової основи під дном колодязя роблять зворотний фільтр і отвори в днищі колодязя. При великій висоті наміву іноді застосовуються водоскидні колодязі спеціальних конструкцій.

Плавучі насосні станції, див. рис. 3.23, забирають відпрацьовану воду безпосередньо зі ставка-відстійника і подають її в кар'єр для розмиву. Плавучі насосні станції підключають до сухопутного водопроводу з використанням плавучого трубопроводу.

Для забезпечення належної безпеки робіт і умов пропуску паводкових вод на гідровідвалах, крім основної плавучої насосної станції, у проекті мають бути передбачені *резервні станції* і *контрольні водоскидні колодязі*.

До розрахунку відводу відпрацьованої води з гідровідвалу входить визначення кількості одночасно працюючих і резервних колодязів, їх пропускної спроможності, діаметра водоскидних труб.

Кількість колодязів, що одночасно працюють на площадці наміву, визначається за формулою

$$n_k = \frac{k_y Q_{\text{гс}}}{Q_k}, \quad (5.38)$$

де k_y – коефіцієнт, який враховує утрати води; $k_y = 0,80 \dots 0,85$; $Q_{\text{гс}}$ – витрата гідросуміші, що подається на карту наміву; Q_k – витрата води, що скидається одним колодязем:

$$Q_k = m P \Delta H \sqrt{2g\Delta H}; \quad (5.39)$$

P – периметр водозливної частини колодязя, рис. 5.31; ΔH – перевищення рівня води у відстійнику над стінкою шандора, звичайно приймається $\Delta H = 0,1 \dots 0,15$ м; m – коефіцієнт витрати водозливу; $m = 0,30 \dots 0,55$.

Кількість *резервних колодязів* слід приймати залежно від класу відповідальності гідровідвалу і розрахункової кількості колодязів, що працюють, табл. 5.17.

Таблиця 5.17 – Кількість резервних колодязів

Клас відповідальності гідровідвала	Кількість резервних колодязів при розрахунковій кількості колодязів		
	1	2	3
I	2	2	3
II	1	2	2
III (група А)	1	1	2
III (група Б)	1	1	1

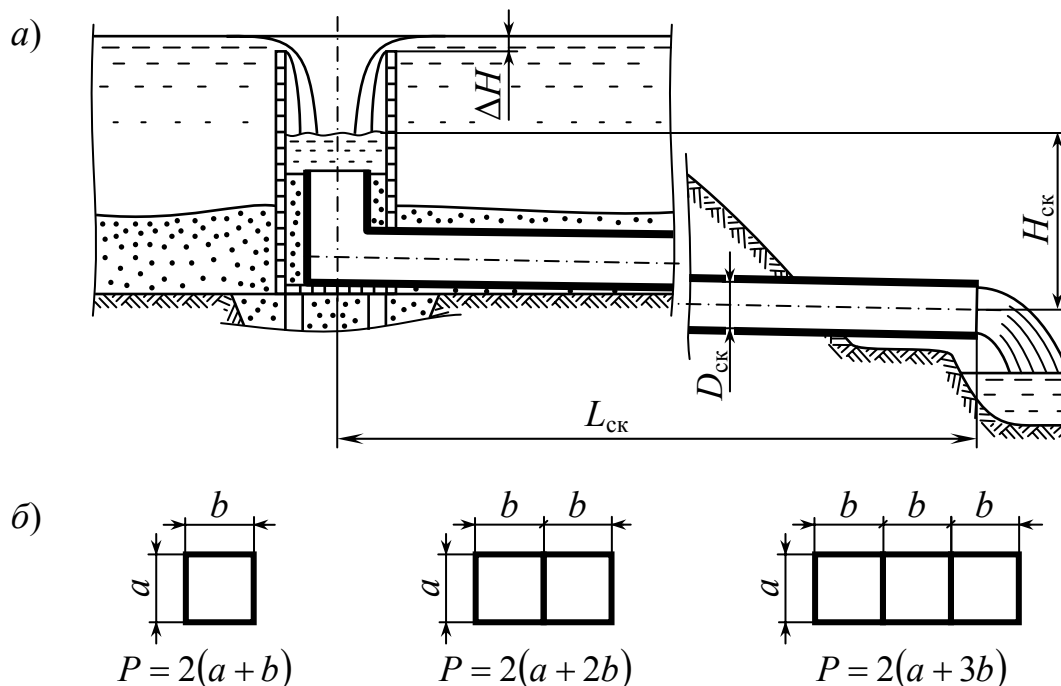


Рисунок 5.31 – Схема до розрахунку водоскидного колодязя (а) та схема визначення периметру водозливної частини односекційного, двосекційного та трисекційного колодязів (б)

Витрата води через водоскидну трубу колодязя становить

$$Q_{\text{тр}} = \frac{\pi D_{\text{ск}}^2}{4} \sqrt{\frac{2gH_{\text{ск}}}{1 + \lambda \frac{L_{\text{ск}}}{D_{\text{ск}}}}}, \quad (5.40)$$

де $L_{\text{ск}}$ і $D_{\text{ск}}$ – довжина та внутрішній діаметр водоскидної труби; $H_{\text{ск}}$ – різниця висот між рівнем води у колодязі та випуском водоскидної труби; λ – коефіцієнт опору трубопроводу, табл. 5.18.

При виборі місця розташування колодязів враховують, що вони повинні знаходитися від місця випуску пульпи на відстані

$$L_{\text{к}} = 2L_{\text{о}} - B_{\text{в}}, \quad (5.41)$$

де $L_{\text{о}}$ – довжина ділянки, на якій відбувається повне осадження часток гідросуміші; $B_{\text{в}}$ – ширина робочої зони відстійника.

Таблиця 5.18 – Значення коефіцієнту опору для металевих труб

Труби	Значення коефіцієнта опору λ для труб діаметром, мм				
	200	250	300	400	500
Нові	0,0258	0,0239	0,0225	0,0205	0,0190
Середньозношені і забруднені	0,0333	0,0309	0,0291	0,0264	0,0240

Таблиця 5.19 – Розміри засипання водовідвідних труб

Розміри засипання	Умовний діаметр водовідвідної труби, м						
	400	500	600	700	800	900	1000
Ширина по верху, м	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8	1,9	2,2
Висота над трубою, м	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6

Найменша відстань між водоскидними колодязями приймається також рівною L_k . Відстань від водоскидного колодязя до основи призми, що утримує воду, повинна бути не менше 5 ... 10 м.

При розташуванні колодязів враховують також напрямок пануючих вітрів із тим, щоб напрямок руху води до колодязя був би по можливості протилежним їх напрямку. Це необхідно для скидання найбільш освітленої води.

Залежно від рельєфу місцевості водовідвідні труби водоскидних колодязів можуть бути покладені без опор або з опорами. У першому випадку труби укладають окремими ланками, довжиною 6 ... 12 м, безпосередньо на поверхню відвалу або ж у спеціальну траншею. Щоб запобігти спливанню порожніх труб у початковий період ведення наливних робіт їх необхідно засипати ґрунтом. Необхідні розміри засипання труб наведені у табл. 5.19.

Опори водоскидних труб найчастіше виконують П-подібної форми. На них установлюють розвантажувальний майданчик. Труби кріплять до опор за допомогою хомутів, після чого їх засипають породою, яка має коефіцієнт фільтрації не менший, ніж коефіцієнт фільтрації основи гідровідвалу.

Після закінчення наливних робіт необхідно замити водоскидні труби породою; частину поперечного перетину труби, що залишилася незамитою, заповнюють цементним розчином, а кінець труби — бетонною пробкою. Водоскидний колодязь засипають ґрунтом.

Для забезпечення нормальних умов функціонування гребель або дамб гідровідвалів необхідне спорудження дренажних пристроїв в їх основі. До основних типів дренажних пристроїв наливної частини гребель і дамб відносяться тюфячний дренаж, дренажні призми, стрічковий і трубчастий горизонтальний дренаж та похилий дренаж, рис. 5.32. Для дренажів наливної частини дамби застосовуються тюфячний дренаж, дренажні призми і похилий дренаж у першому ярусі дамб нарощування, а стрічковий і трубчастий горизонтальний — через 6 ... 10 м по висоті в наступних ярусах наливу.

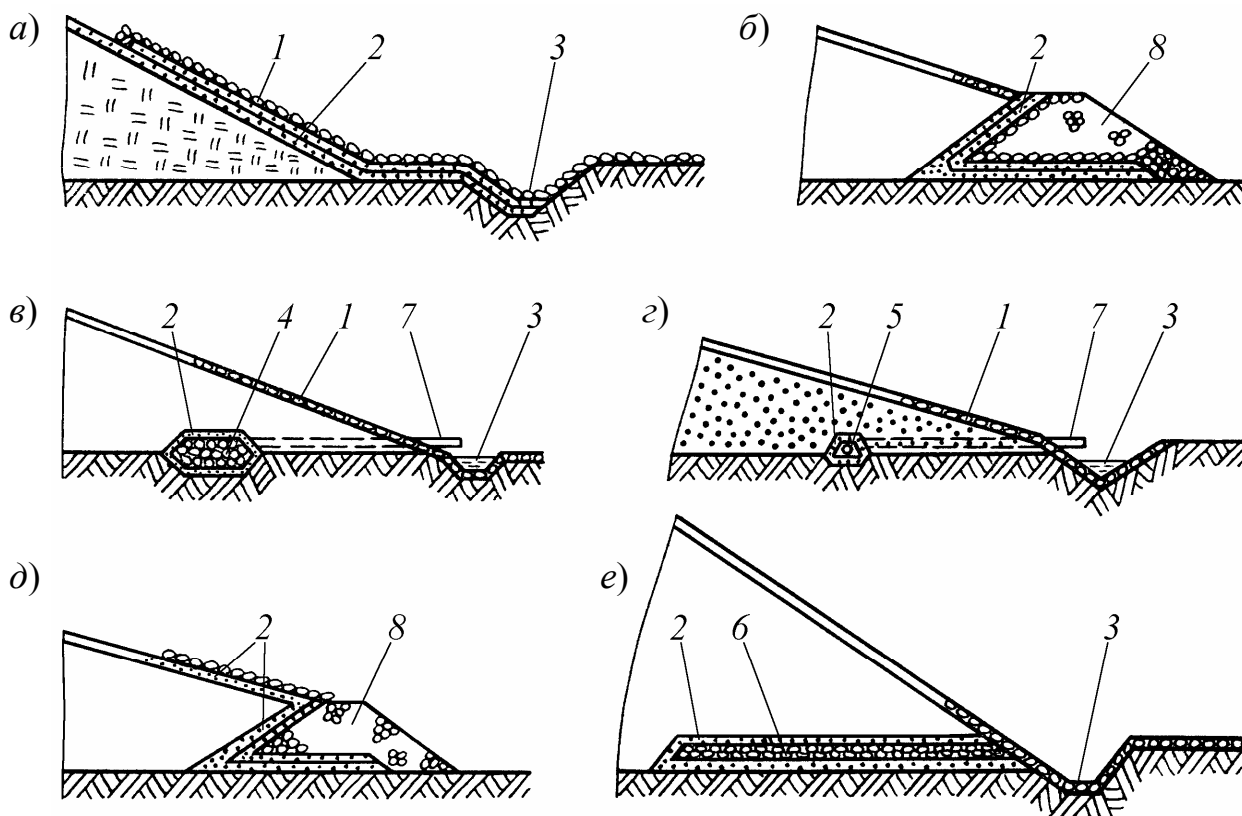


Рисунок 5.32 – Дренажні пристрої гребель і дамб: похилий дренаж (а); дренажна призма (б); стрічковий дренаж (в); трубчастий дренаж (г); комбінований дренаж (д); тюфячний дренаж (е); 1 – кам’яне мощення; 2 – зворотний фільтр; 3 – кювет; 4 – дренажна стрічка зі щебеню; 5 – подовжня дренажна труба; 6 – дренажний тюфяк зі щебеню; 7 – відвідна труба; 8 – кам’яне насипання

5.2.6 Особливості наміву шламосховищ

Шламосховища (хвостосховища) являють собою комплекс гідротехнічних споруджень, призначених для складування відходів гірничо-збагачувальних підприємств (т. зв. “хвостів”). При значних продуктивностях і тривалих термінах експлуатації підприємства потребують великих місць для розміщення хвостів.

Залежно від кількості шламів, що поступають від ГЗК, і особливостей експлуатації шламосховищ, терміну їх існування, всі шламосховища поділяються по класах капітальності, табл. 5.20. При терміні експлуатації більше 5 років шламосховища відносяться до *постійних*, а менше цього терміну — до *тимчасових*.

Розрізняють рівнинні шламосховища, балково-рівнинні, балкові, заплавні, косогірні, котлованні. Рівнинні шламосховища звичайно обгороджують дамбами з усіх боків, косогірні — з трьох сторін. Доцільним є розміщення шламосховищ у старих кар’єрах, розрізах,

Таблиця 5.20 – Клас капітальності шламосховищ

Клас споруди	Відповідальність споруди
I	Особливо відповідальні споруди, аварія яких супроводжується катастрофічними наслідками для населених пунктів і підприємств
II	Відповідальні споруди, аварія яких не супроводжується катастрофічними наслідками для населених пунктів і підприємств
III	Маловідповідальні споруди, руйнація яких не може викликати серйозних аварій у населених пунктах і на підприємствах
IV	Шламосховища в незабудованій місцевості
V	Споруди тимчасового призначення

котлованах, оскільки такі шламосховища не тільки не потребують зведення дамб та відчуження земель, придатних до сільськогосподарського використання, але й спрощують рекультивацію старих виробок.

Хвости, що відводяться зі збагачувальної фабрики, не можуть бути спущені у відкриті водойми, оскільки вони можуть містити розчинні солі важких металів, ціаністі й інші отруйні з'єднання. При правильній організації хвостового господарства досягається виділення механічних домішок і розкладання шкідливих реагентів, що містяться в хвостах.

Іноді хвости містять деяку кількість рідких кошовних металів, які вчасно не були виявлені аналізами і виділення яких не передбачено схемою збагачення. Це особливо важливо при наступному використанні хвостів з метою витягу з них кошовних металів. Шламосховища вуглезбагачувальних фабрик містять значну кількість високозольного вугілля, яке при застосуванні сучасних технологій (наприклад, спалювання у циркулюючому шарі, що кипить) може бути використане як паливо для ТЕС та котелень.

У комплекс споруд шламового господарства входять: землесосні станції, пульпопроводи, дамби шламосховища, відстійники, аварійні ємності, безнапірні пульпопроводи, що служать для подачі пульпи до землесосних станцій й аварійної ємності, споруди по відводі і скиданню освітлених і паводкових вод, водозабірні споруди, насосні станції оборотної води, земснаряди для розчистки аварійної ємності і гідротранспорту шламу, дренажні споруди, споруди по поверненню фільтраційних вод.

Необхідну ємність шламосховища визначають за формулою

$$V_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{д}} n T_{\text{н}}}{\rho_{\text{т}} (1 - m) \eta_3} + V_{\text{в}}, \quad (5.42)$$

де $V_{\text{д}}$ – обсяг породи, що укладається у відвал за добу; n – число робочих днів на рік; $T_{\text{н}}$ – термін наміву в роках; $\rho_{\text{т}}$ – щільність породи; η_3 – коефіцієнт заповнення шламосховища, що характеризує практичну можливість заповнення його геометричного об'єму (без урахування ємності, яку займає у відвалі відстійник); m – шпаристість відкладень на гідровідвалі, табл. 5.21; $V_{\text{в}}$ – об'єм води у відстійнику, необхідний для освітлення пульпи, який дорівнює 5 ... 10-денній витраті пульпи, що подається у відвал.

Звичайно місце, відведене для скидання хвостів, обгороджують первинною насипною дамбою висотою 4 ... 6 м, яку зводять із природного ґрунту. Дамба утворює ємність шламосховища на 2 ... 4 роки роботи збагачувальної фабрики. Тип первинної дамби приймають у залежності від наявності в районі місцевих матеріалів. Дамби можуть бути земляними, з кам'яного накидання і змішаного типу.

Конструкції дамб вибираються залежно від інженерно-геологічних, гідрогеологічних і гідрологічних умов, продуктивності наміву і фізико-механічної характеристики шламів. Зводяться насипні, намівні дамби, а також виконані частково першим, частково другим способом. Часто дамби шламосховищ наміваються зі шламів, при цьому приймаються способи наміву, аналогічні способам наміву дамб на гідровідвалах кар'єрів, див. рис. 5.28.

Фільтраційні води спрямовуються до найближчої природної водойми за допомогою кюветів, розташовуваних уздовж підошви низового укосу. Доцільним є спорудження у тілі дамби дренажних призм, див. рис. 5.32 б.

Після утворення первісної дамби обгороджений простір заповнюють хвостами збагачувальної фабрики. З хвостів, що відклалися і просохнули, зводять дамбу вторинного обвалування. Потім робиться друге наповнення, зводиться наступна дамба і т. д.

Таблиця 5.21 – Шпаристість відкладень порід на гідровідвалі

Середньозважена гідравлічна крупність часток, що укладаються, мм/сек	> 0,15	1,15...0,10	1,10...0,06	< 0,06
Шпаристість відкладень	0,38	0,42	0,45	0,50

Таблиця 5.22 – Фізико-механічні характеристики шламів, намитих у шламосховищах

Види шламів	Питома вага, т/м ³	Об'ємна вага кістяка природного складу, т/м ³	Шпаристість у природному стані, %	Середня відносна щільність	Кут внутрішнього тертя, град:		Коефіцієнт фільтрації, м/добу
					в сухому стані	під водою	
Середньозернисті	3,14	1,75...2,15	44	0,500	35	30	4,6
Дрібнозернисті	3,14	1,77...2,10	40	0,700	34	30	3,7
Пилуваті	3,11	1,75...2,10	43	0,832	37	29	2,4
Супіщані	3,03	1,74	—	0,540	33	30	1,2
Піщані:							
крупнозернисті	2,94...2,99	1,59...1,89	40...44	0,460	37	34	8,0
середньозернисті	2,93...3,23		30...47		38	32	

Нарощування дамби супроводжується звичайно розбивкою відвала по довжині огороження на ділянки, число яких залежить від розмірів відвала і зручності роботи. Першу ділянку після заповнення хвостами виключають з роботи і спуск хвостів роблять на другу; одночасно на першій ділянці нарощують дамбу. У випадку значного вмісту в хвостах грубозернистого матеріалу можливе нарощування дамби шляхом безпосереднього випуску хвостів на дамбу.

Спосіб заповнення ємності і переміщення фронту робіт на шламосховищах аналогічний до способу зведення звичайних гідровідвалів. Заповнення ємності здійснюється від дамб або з наливом ділянок, розташованих поза дамбою. Залежно від розміщення наливного пульпорповоду, в зазначених схемах застосовується естакадний, безестакадний та інші способи наливу. Характеристика шламів, які наминаються у шламосховищах, наведена в табл. 5.22.

Транспортування хвостів до відвала може здійснюватися *напірним, самотливим і змішаним* (напірно-самотливим) способами.

При *напірному* способі хвости насосом подаються по трубах у відвал. У випадку, якщо недостатньо напору одного насоса, ставлять перекачувальну станцію, що подає хвости далі. Спосіб потребує значних капітальних та експлуатаційних витрат.

Схема подачі хвостів по трубах представлена на рис. 5.33 а. Уздовж земляної дамби 1 покладені два трубопроводи 3. Один трубопровід знаходиться в роботі, інший нарощується. До труб у місцях

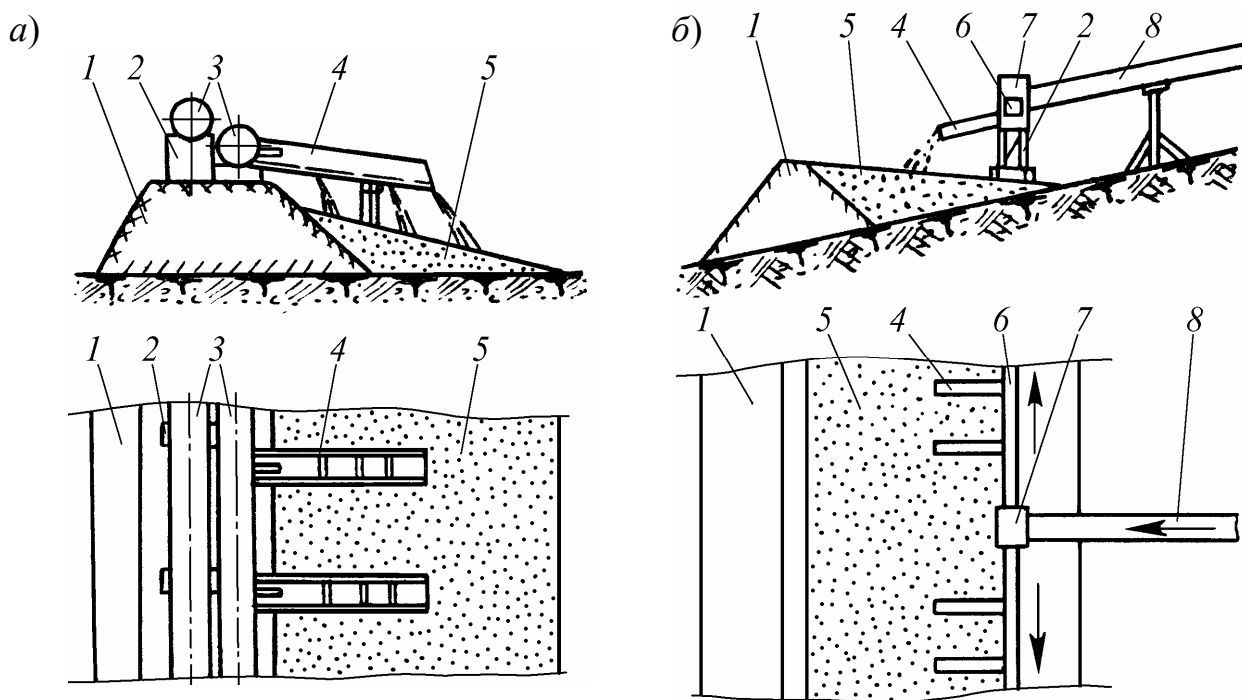


Рисунок 5.33 – Схема транспортування хвостів у відвал по трубах (а) та по жолобам (б): 1 – дамба; 2 – опори; 3 – труби; 4 – розвідні лотки; 5 – хвости; 6 – розподільні жолоби; 7 – розподільна ємність; 8 – головний жолоб

установки насадок підводять розвідні лотки 4 довжиною 2 ... 4 м, на дні яких доцільно зробити два-три отвори для усунення сильних потоків. Хвости надходять по лотках у відвал і не розмивають дамбу. У деяких випадках роблять зосереджений випуск хвостів через повний перетин трубопроводу.

Для *самопливного* способу необхідні відповідні топографічні умови. Устаткування при цьому способі досить просте і складається головним чином з жолоба на естакаді, по якому, при достатньому ухилі, можливо транспортувати у відвал густу пульпу, рис. 5.33 б. Хвости, подані по головному жолобу 8, надходять в розподільну ємність 7, звідки направляються в протилежні сторони уздовж дамби по двох розподільних жолобах 6. Розподільні жолоби мають через кожні 5 ... 6 м вирізи, що закриваються щитками. До вирізів підводять лотки 4 довжиною 1,5 ... 2 м, по яких хвости можуть бути подані в будь-яке місце дамби. Нагляд за роботою всіх транспортуючих пристроїв нескладний, вартість експлуатації незначна.

При *змішаному* способі хвости насосами подаються на гранично можливу висоту, і звідти спускаються по жолобу у відвал. Така система добре себе виправдує, якщо близько від фабрики розташована сопка, пагорб.

5.2.7 Контрольні заходи і запобігання аварій

Аналіз аварій на гідровідвалах показує, що вони відбувалися внаслідок нерівномірної осадки основи гідровідвалу, зсувних явищ у масиві гідровідвалу, посиленої фільтрації води через тіло огорожуючої дамби, несправної роботи водоскидних колодязів, низької якості дамб обвалування та порушення послідовності наміву, передбаченої проектом.

Осадка основи гідровідвалу може бути пов'язана з недостатньою надійністю основи, якщо це не було вчасно виявлено при проведенні розвідницьких робіт.

Зсувні явища на гідровідвалах можуть мати місце при невірному виборі кута укосу обгороджуючи дамби, наявності великих скупчень рідкої пульпи в безпосередній близькості від дамб початкового обвалування, через скупчення атмосферних вод на проміжних бермах гідровідвалу і при розмиві дамби з нещільних стиків пульпопроводу.

Основною метою контрольних спостережень є перевірка правильності ведення намівних робіт, а також контроль стану і якості будівлі, що споруджується. Спостереження слід вести:

- за *виходом фільтраційного потоку* на укосах спорудження, що намівається;
- за *технікою наміву і станом намитой частини гідровідвалу*;
- за *скиданням освітленої води і зміною рівня води у ставку-відстійнику*;
- за *заповненням об'єму гідровідвалу і зміною об'ємної ваги породи*, що укладається в тіло споруди.

Контроль за технікою наміву включає спостереження за положенням і поведінням ставка-відстійника, його формою, глибиною і ємністю, та спостереження за укладкою масиву, що намівається, (окремо для бічних призм і для поверхні, що знаходиться під водою).

Характеристика породи, що укладається в тіло споруди, яка намівається, контролюється методом добору проб для встановлення щільності і гранулометричного складу породи, межі пластичності. Кількість спостережень і їх послідовність встановлюються конкретно для кожного проекту з урахуванням класу відповідальності гідровідвалу й умов його зведення.

При наміві якісних споруд проводять спеціальні спостереження за розподілом намитой породи за крупністю фракцій шляхом добору проб через визначені відстані. Для більш повної оцінки якості намитой породи додатково визначають коефіцієнт фільтрації й опору

зрушенню намитой породи. Спостереження за ущільненням намитой породи в часі роблять за допомогою глибинних реперів телескопічного типу, які встановлюють у місцях спостережень.

Контроль за скиданням освітленої води включає встановлення її витрати через водоскидні пристрої, визначення характеристики і кількості дрібних фракцій породи, що містяться в ній. Ведуться також спостереження на водоскидних колодязях за дотриманням заданої висоти переливного шару.

У зв'язку з тим, що шламосховища приймають великі об'єми шламів, їх дамби є середньо- і високонапірними гідротехнічними спорудами. У процесі зведення дамб і шламосховищ здійснюється контроль за якістю пульпи, подаваної на налив, якістю шламів, наливних у межах зовнішньої призми, за технікою наливу, кривою депресії в тілі дамби і за рівнем води в шламосховищі.

При контролі технології наливу шламів визначають фракціонування матеріалу, щільність масиву, що наливається, питому витрату і консистенцію гідросуміші. Спеціально вивчаються фізико-механічні характеристики наливних порід, ухили масиву наливу, а також інтенсивність водовіддачі наливних порід.

Важливе значення мають контрольні спостереження за положенням кривої депресії і за роботою дренажних споруд. Протягом усього періоду робіт ведуться візуальні спостереження за станом укосів дамб із реєстрацією в спеціальному журналі робіт місць виходу фільтраційної води. При контрольних спостереженнях за роботою дренажних пристроїв періодично відбираються проби води з дренажних колекторів і робиться спостереження за витратою води та вмістом у ній зважених речовин.

Визначення об'єму чистої води у відстійнику на кар'єрах, що працюють із використанням відпрацьованої води, слід робити не рідше одного разу на місяць. Рівень води в гідровідвалі встановлюють звичайними водомірними рейками із сантиметровими поділками.

Контрольні спостереження записують у спеціальні форми контрольних вимірів, затверджені головним інженером кар'єру. Техніка вимірів, їх точність встановлюються залежно від типу споруди. Кількість спостережень за зазначеними вище напрямками встановлюється залежно від типу і класу відповідальності споруд.

5.3 Зневоднювання гірської маси та прояснення технологічної води у підземних умовах

5.3.1 Основні вимоги

На підставі досвіду промислового застосування гідромеханізації на шахтах зі звичайною технологією видобутку встановлена необхідність рішення питань зневоднювання вугілля і породи й прояснення технологічної води в підземних умовах. Це зумовлено потребою повторного використання технологічної води при обмеженій можливості її поповнення, а також санітарними нормами наявності твердого у технологічній воді. За даними закордонного і вітчизняного досвіду, кількість твердого, що виноситься водою при гідрозакладних роботах, змінюється у межах 40 ... 60 г/л, при гідромеханізації прохідницьких робіт зі зневоднюванням вугілля і породи на грохотах вона складає 20 ... 50 г/л, а на нерухомих колосникових решітках — 70 ... 80 г/л.

Досвід промислового застосування гідромеханізації в Донбасі при проведенні підготовчих вироблень на шахтах зі звичайною технологією видобутку показав, що ефективність використання способу багато в чому залежить від надійності і працездатності засобів зневоднювання й прояснення технологічної води в підземних умовах. Вони мають бути надійні в експлуатації і прості за конструкцією.

До засобів підземного зневоднювання й прояснення висувають наступні вимоги: малі габарити і маса; надійність; максимальне навантаження на 1 м² площі виробки, яку займає пристрій; висока якість зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води; механізація навантаження збезводненого і згущеного продукту у транспортний засіб. Використання засобів зневоднювання й прояснення має забезпечити мінімальні витрати при їх установці й експлуатації. При роботі засобів мають забезпечуватися санітарно-гігієнічні умови праці робітників, зайнятих на їхньому обслуговуванні.

5.3.2 Устаткування для зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води

Для зневоднювання вугілля і породи у підземних умовах застосовуються *вібраційні грохоти*, *рухомо-колосникові грохоти* (типів ГПК та ПКО) та *зневоднювальні конвеєри* на базі скребкових конвеєрів, конструкція і принцип дії яких розглянуті в п. 5.1.

В умовах шахт Донбасу високу ефективність виявили зневоднювальні конвеєри на базі скребкових, див. рис. 5.6. Ці пристрої легко виготовляються шляхом незначної переробки секцій серійних скребкових конвеєрів. Висока надійність базового конвеєра, який спеціально випускається для експлуатації у підземних умовах, зумовлює надійну і безаварійну роботу пристрою, малу трудомісткість його обслуговування.

Процес прояснення технологічної води полягає у видаленні з неї зважених твердих часток, дрібний розмір яких не дозволяє відділити їх разом з гірською масою. Прояснення технологічної води при гідромеханізації гірничих робіт у більшості випадків здійснюється відстоюванням її в спеціальних горизонтних, дільничних і головних **відстійниках**.

Звичайно відстійник, рис. 5.34, має форму усіченої піраміди. Ширина дзеркала води в ньому на 20 ... 30% менше ширини виробки, у якій він споруджується. Забруднена вода надходить у відстійник підвідною канавкою. Через значне зменшення швидкості руху рідини у відстійнику тверді частки осідають і накопичуються у нижній частині відстійника (зумпфі). Вода у верхньому шарі стає проясненою і відводиться зливною канавкою.

Для якісного прояснення води відстійник повинен мати певні розміри. Ширина відстійника B_v звичайно обмежується розмірами перетину виробки, у якій споруджується відстійник.

Середня швидкість руху води в активній зоні відстійника

$$v = \frac{Q}{B_v h_k}, \quad (5.43)$$

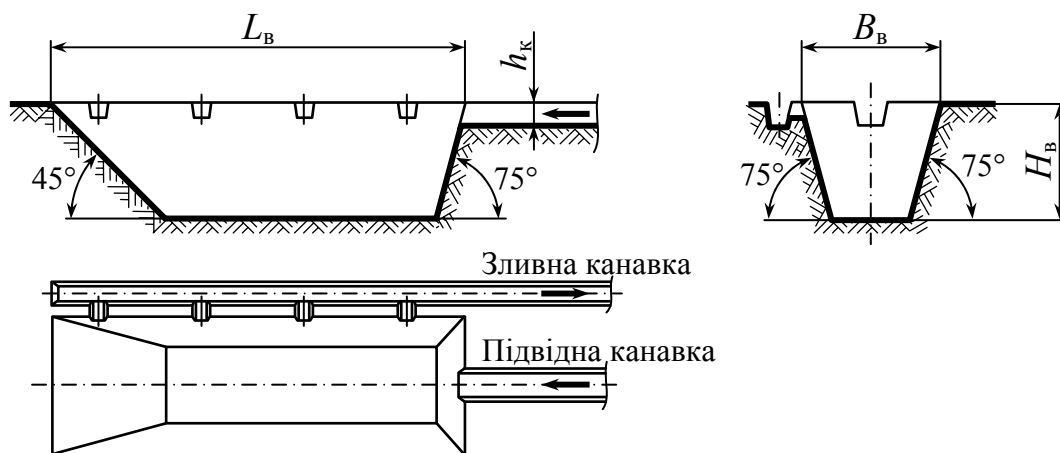


Рисунок 5.34 – Схема відстійника

де Q – витрата води; h_k – глибина проточного шару, яка дорівнює глибині потоку води у підвідній канавці. Небезпечними для насосів є частки розміром більш 0,1 мм. Для осадження таких часток швидкість руху води у відстійнику не повинна перевищувати 0,1 м/с.

Довжина відстійника має бути не меншою, ніж

$$L_B = \alpha \frac{v}{v_0 - w} h_B, \quad (5.44)$$

де v_0 – гідравлічна крупність часток розміром 0,1 ... 0,2 мм, яку можна приймати рівною $9,6 \cdot 10^{-3}$ м/с, α – коефіцієнт, що враховує наявність у гідросуміші часток різної крупності; для вказаного діапазону розмірів часток можна приймати $\alpha = 1,4$; w – вертикальна складова швидкості турбулентного руху рідини, що заважає осадженню часток; при $v < 0,09$ м/с слід приймати $w = 0,01 v$; при $v = 0,09 \dots 0,13$ м/с — $w = (0,03 \dots 0,05) v$.

Обсяг зумпфа (нижньої частини відстійника), призначеного для збору шламу, повинен бути не меншим, ніж

$$V_3 = 1,5 T_q S Q, \quad (5.45)$$

де T_q – період часу між чищенням відстійника (для ручного чищення приймається доба, для механізованого – зміна); S – об'ємна концентрація твердого в воді, що прояснюється; для шахтної води приймають $S = 0,0015 \dots 0,0050$; для води, що надходить з установки зневоднювання гідросуміші – згідно характеристиці цієї установки.

Для механізації видалення з відстійника осаду застосовують шламові конвеєри, шламові насоси, гідроелеватори та ерліфти. **Шламовий конвеєр** (багер-зумпф) забезпечує безупинне видалення шламу, що осідає у відстійнику, з наступним його зневоднюванням і навантаженням у вагонетки або на конвеєр.

Шламовий конвеєр *БЗ-1*, рис. 5.35, складається з п'яти секцій: секції 2, що включає приводну голівку 1 і редуктор з електродвигуном; двох проміжних секцій 3, 5 і двох секцій 4, 6, які містять ролики, що відхиляють, 7, 8. Секції охоплені конвеєрним скребковим ланцюгом, що рухається зі швидкістю не більш 0,1 м/с. У процесі його руху похилою частиною конвеєра відбувається одночасно і зневоднювання шламу, що вивантажується з попереднього відстійника.

З метою уніфікації і стандартизації приводна голівка, ролики що відхиляють, і скребковий ланцюг використовуються від серійно виготовленого конвеєра *СП63*, а електродвигун і редуктор — від лебідки типу *ЛРУ1-2М*. Конвеєр має продуктивність по шламу 15 т/год.

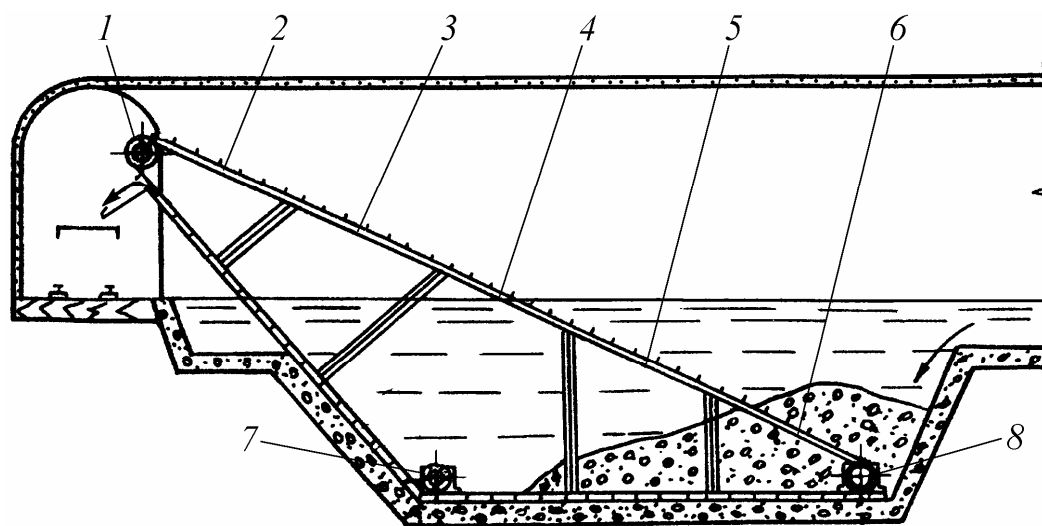


Рисунок 5.35 – Схема шламowego конвеєра (багер-зумпфа):
1 – привідна голівка; 2 ... 6 – секції; 7, 8 – ролики, що відхиляють

У пересувних установках застосовують відстійник, який виготовлено з листової сталі у вигляді лотка, нижня частина якого має форму усіченої піраміди, рис. 5.36. Ширина та довжина відстійника виконуються максимальними, виходячи з умов його транспортування і місця установки (відстійник монтується на шасі вагонетки). Глибина проточного шару відстійника повинна бути не більш 100 ... 120 мм. У нижній частині відстійника передбачають люк для видалення твердого матеріалу, що осідає.

Звичайні горизонтальні, вертикальні та радіальні відстійники для якісного осадження часток повинні мати значні габарити, оскільки ламінарна структура плинку не досягається у них навіть при невеликих швидкостях потоку. Турбулентний режим плинку рідини не тільки заважає осадженню, але й призводить до того, що осілі на дно відстійника частки знову зважуються під впливом пульсації потоку. Ламінарний режим руху рідини реалізується у **тонкошарових прояснювачах**.

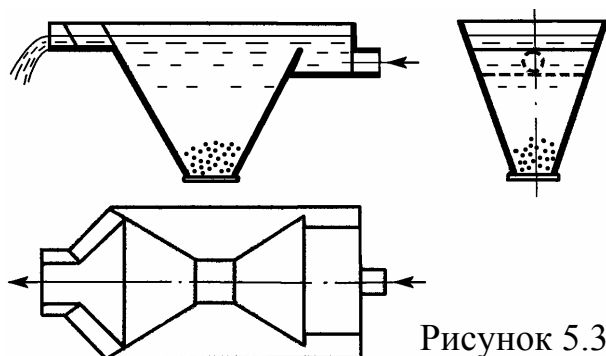


Рисунок 5.36 – Схема пересувного відстійника

В останніх вода пропускається крізь камеру прояснення, яка складається з великої кількості пластин, розташованих під кутом близько 60° до горизонталі, на відстані 10 ... 30 мм одна від одної. Під час руху рідини між пластинами утвориться ряд осередків, гідравлічний радіус кожного з яких не перевищує 5 ... 10 мм. Отже, ламінарна структура потоку може бути отримана при швидкостях в 100 ... 400 разів більших, ніж у горизонтальних відстійниках.

Прояснювач **ОПШ** конструкції ВНДГідровугілля, змонтований на візку шахтної вагонетки *УВГ-1,4*, рис. 5.37, складається з камери прояснення 6 та камери накопичення і видалення осаду 10, герметично з'єднаних між собою. Камера прояснення є прямокутною звареною конструкцією, у яку під кутом 60° до горизонталі встановлені листи 5 з хвилястого склопластику розміром $1385 \times 990 \times 2$ мм. Відстань між листами по нормалі складає 10 мм. У верхній частині бічних стінок камери прояснення є коробчасті кишені-жолоба 7 з похилим днищем, ухил якого спрямований до камери зливу проясненої води 8.

До камери прояснення за допомогою болтових з'єднань кріпиться камера накопичення і видалення осаду 10 з похилими стінками і трубчастим днищем, у якому встановлений шнек 13 з електроприводом 11. Під днищем торцевої частини камери з боку живлення кріпиться гідроелеватор 14 верхнього завантаження зі шлангом, що відводить. Для огляду й очищення камери накопичення і видалення осаду служать оглядові люки 12.

Технологічна вода, що підлягає проясненню, надходить через живильний патрубок 1 та засувку 2 у прийомний короб 3, потім піднімається нагору по похилих комірках камери прояснення 6. При русі води в похилих комірках тверді частки випадають. Осілі частки сповзають по похилих листах у камеру накопичення осаду 10, оскільки кут нахилу листів 60° перевищує кут природного укосу. З камери накопичення осілий шлам подається шнеком до камери розвантаження, звідки видаляється гідроелеватором 14. Прояснена вода з камери прояснення зливається в коробчасті кишені-жолоба 7 і видаляється через зливальний патрубок 9.

Прояснювач забезпечує очищення води, забрудненої частками розміром до 0,5 мм у кількості до 40 г/л. Забруднення зливу без застосування флокулянта не перебільшує 5 г/л, а із застосуванням флокулянта ПАА — не більше 0,3 г/л. Продуктивність прояснювача становить $150 \text{ м}^3/\text{год}$.

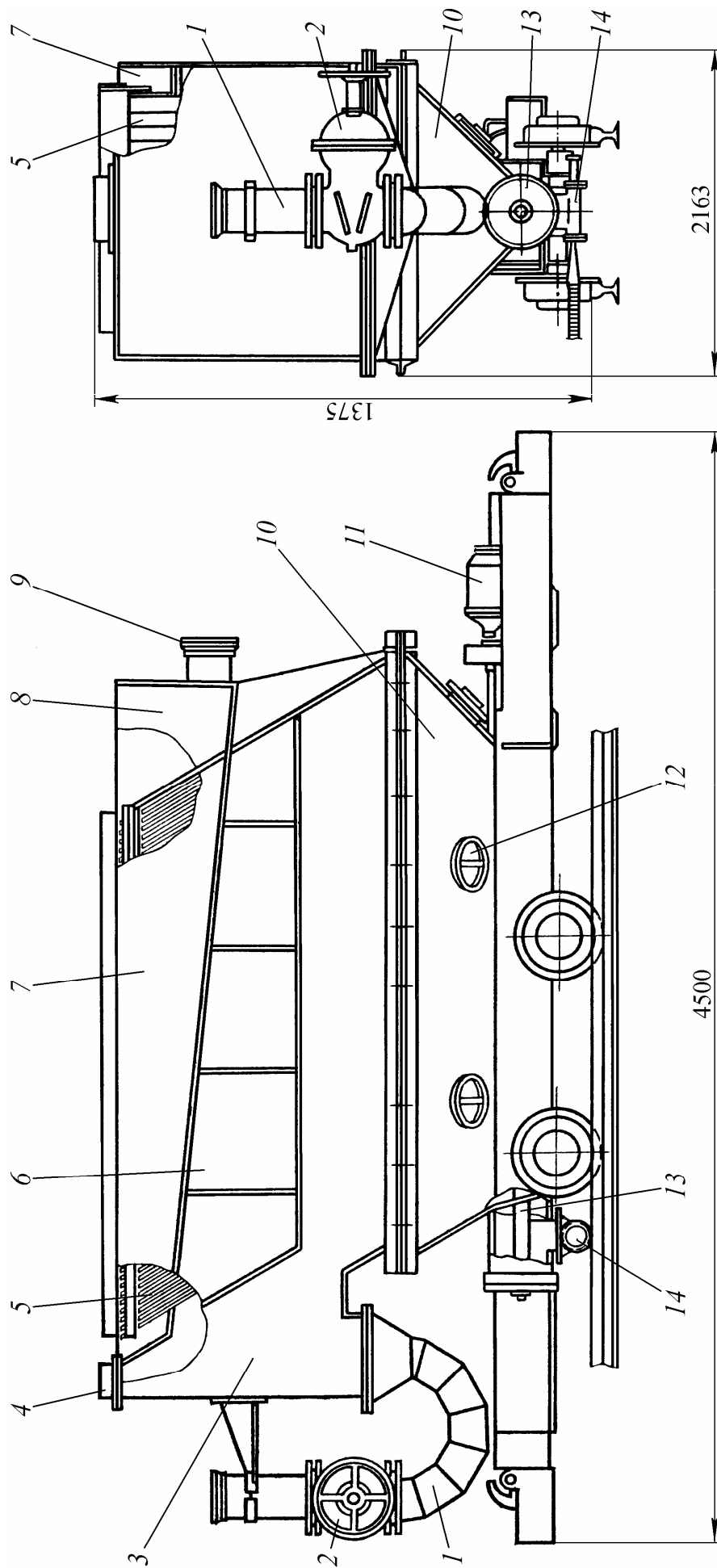


Рисунок 5.37 – Пересувний прояснювач ОПШ: 1 – живильний патрубок; 2 – засувка; 3 – прийомна камера; 4 – повітровипускний патрубок; 5 – листи склопластику; 6 – камера прояснення; 7 – зливний жолоб; 8 – камера зливу; 9 – зливний патрубок; 10 – камера накопичення та видалення осаду; 11 – привод шнека; 12 – оглядовий лючок; 13 – шнек; 14 – гідроселектор

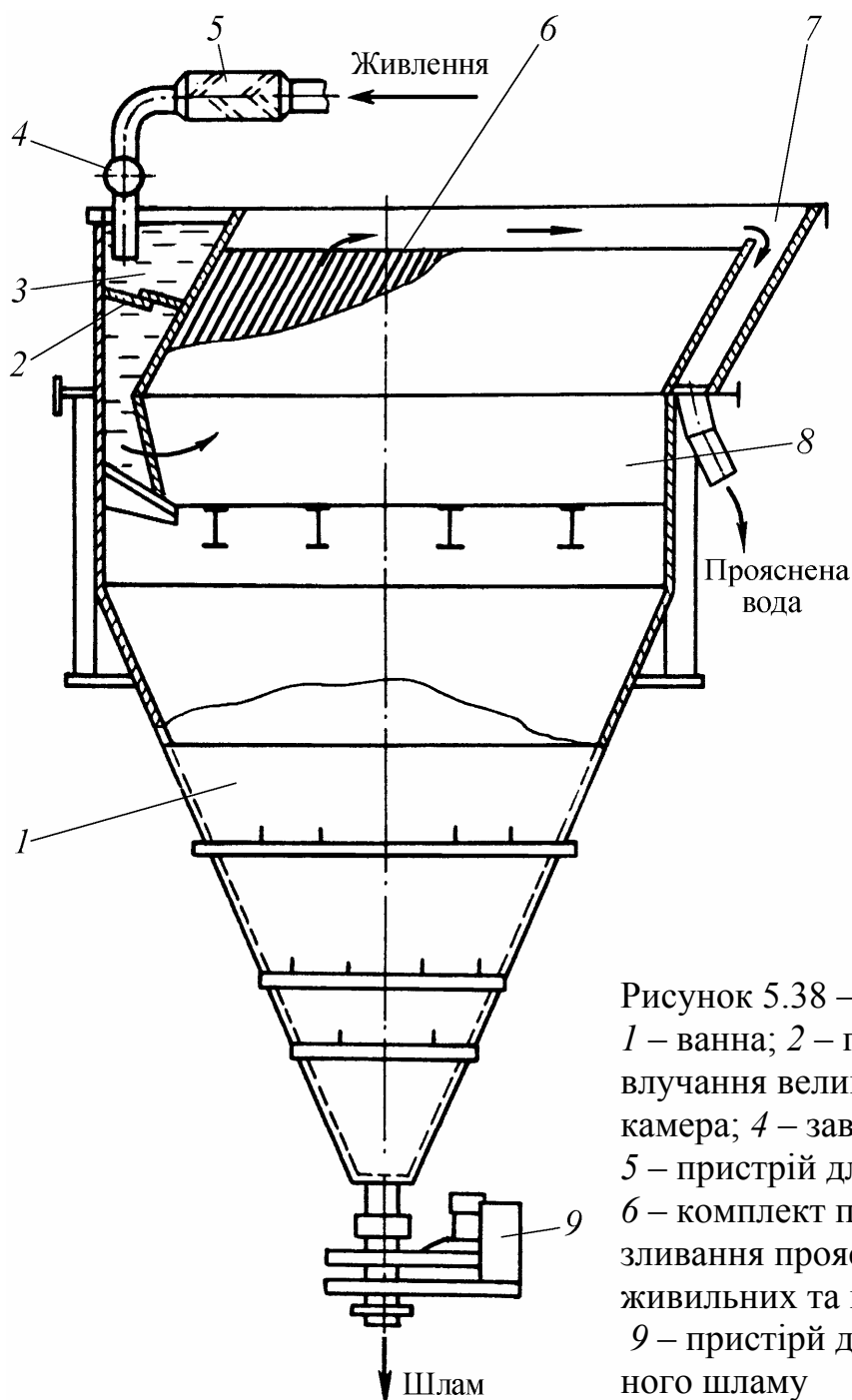


Рисунок 5.38 – Прояснювач *ОТ-600*:
 1 – ванна; 2 – пристрій для захисту від влучання великих часток; 3 – приймальна камера; 4 – завантажувальний пристрій; 5 – пристрій для додавання флокулянта; 6 – комплект пластин; 7 – жолоб для зливання проясненої води; 8 – система живильних та шламівідвідних каналів; 9 – пристрій для вивантаження згущеного шламу

Для прояснення шламових технологічних вод, класифікації, згущення і акумулювання шламів на гідрошахтах та вуглезбагачувальних фабриках ВНДГідровугіллям розроблений *тонкошаровий прояснювач-шламонакопичувач ОТ-600*.

Прояснювач, рис. 5.38, складається з ванни 1, приймальної ємності 3, завантажувального пристрою 4, пристрою для перемішування пульпи з флокулянтом 5, камери прояснювання з комплектом пластин б, системи живильних та шламівідвідних каналів 8 та пристрою для вивантаження згущеного шламу 9 з електрогідравлічним приводом.

Таблиця 5.23 – Технічна характеристика прояснювачів *ОПШ* і *ОТ-600*

Параметри	Прояснювач	
	<i>ОПШ</i>	<i>ОТ-600</i>
Продуктивність по воді, м ³ /год	150	600
Вміст твердого у воді, що прояснюється, кг/м ³	До 40	До 120
Розмір часток у воді, що прояснюється, мм	До 0,5	До 1
Вміст твердого у проясненій воді, кг/м ³ :		
із застосуванням флокулянта ПАА	0,3	1
без застосування флокулянта ПАА	5	10
Розміри однієї пластини, мм	1385×990×2	1400×500×1
Форма пластини	Хвилеподібна	
Відстань між пластинами по нормалі, мм	10	30
Потужність приводу розвантажувального пристрою, кВт	1,5	1,6
Габаритні розміри, мм		
довжина	4 500	5 800
ширина	1 375	1 280
висота	2 163	5 800
Маса, кг	3 570	56 000

Принцип дії прояснювача *ОТ-600* аналогічний *ОПШ*. Прояснювач забезпечує продуктивність по пульпі до 600 м³/год. Технічна характеристика прояснювачів *ОПШ* та *ОП-600* наведена у табл. 5.23.

Тонкошаровий прояснювач **ОП-1** конструкції ДонНТУ, рис.5.39, містить відстійну ємність 4, жолоб 1 для підведення пульпи, жолоб 4 для збору і відводу проясненої води, пакет модулів 9 тонкошарового прояснювача, патрубок 11 для відводу води, вузол розподілу пульпи, виконаний у вигляді лотка 2 з отворами, площа яких збільшується в міру віддалення потоку від входу пульпи на жолоб, ємність 5 для накопичення осаду, трубопровід 8 для видалення осаду з дозуючим пристроєм 7.

Забруднена вода надходить по жолобу 1 на розподільний жолоб 2, де відбувається її рівномірний розподіл по поверхні тонкошарового прояснювача. Далі вода рухається униз між модулями і потрапляє у відстійну зону 5, де осаджуються великі класи твердого продукту (понад 0,5 мм). З відстійної зони вода потрапляє у модулі 9 і рухається ними угору. Дрібні класи, проходячи між пластинами модулів, осідають на них, сповзають униз і направляються у відстійну зону 6 ємності 1, де на них впливає потік великих класів твердого матеріалу,

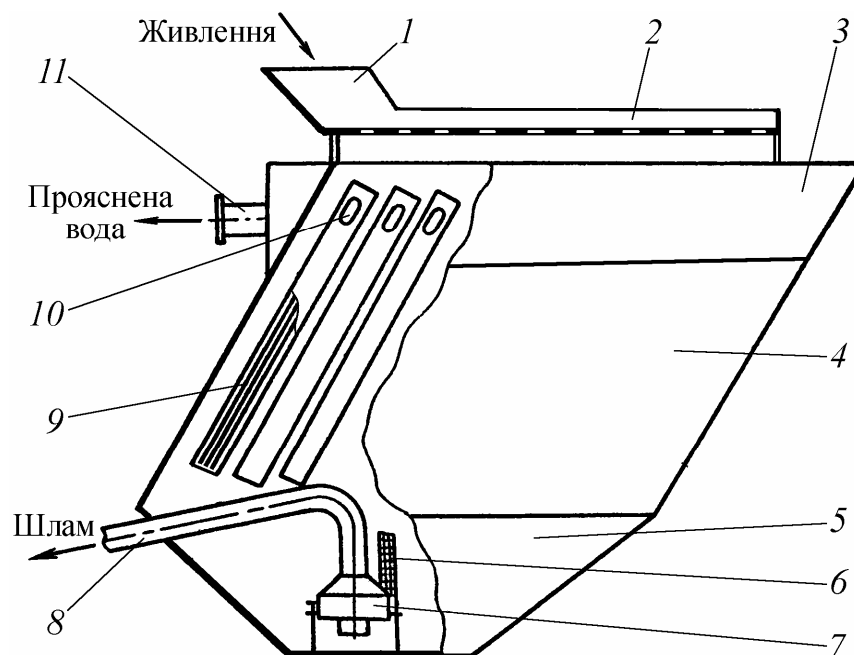


Рисунок 5.39 – Прояснювач ОП-1: 1 – жолоб живлення; 2 – лоток для розподілення пульпи; 3 – зливний жолоб; 4 – відстійна ємність; 5 – ємність для накопичення осаду; 6 – патрубок підживлення; 7 – дозуючий пристрій; 8 – усмоктувальний трубопровід шламового насоса; 9 – тонкошарові модулі; 10 – зливні вікна модулів; 11 – зливний патрубок

що осаджуються, додатково ущільнюючи згущений продукт. Прояснена вода крізь бічні вікна 10 витікає у жолоби 3, що розташовані з боків від відстійної ємності, і видаляється через патрубок 11. Для видалення осаду застосовується шламовий насос ШН-50, усмоктувальний патрубок якого підключений до труби 8. При включенні насоса дозуючий пристрій 7 екранує зону усмоктування та забезпечує необхідну консистенцію пульпи за рахунок підживлення водою з патрубку 6. Така схема дозволяє забезпечити рівномірне завантаження модулів тонкошарового прояснювача, скорочує час обробки гідросуміші, дозволяє одержати високу якість прояснення води, забезпечує ефективне видалення згущеного продукту.

Параметри тонкошарового прояснювача визначаються, виходячи з навантаження Q_3 (витрати забрудненої рідини), концентрації часток у потоці S_3 та гідравлічної крупності v_0 граничного зерна відстійника. Необхідна робоча площа камер прояснювача становить

$$F_k = \frac{\alpha Q_3 h}{v_0 L \cos \beta \sin \beta}, \quad (5.46)$$

де α – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження та наявність осаду на пластинах; h – відстань між пластинами, яку

приймають у межах 10 ... 50 мм з умови забезпечення ламінарного режиму руху рідини; L – довжина пластин модуля (звичайно приймають 1 ... 1,5 м); β – кут нахилу пластин, який має знаходитися у межах 50 ... 60°, щоб частки сповзали по пластинах. Кількість пластин, що утворюють канали, визначається за залежністю

$$n_{\pi} = \frac{F_k}{h b} + 1, \quad (5.47)$$

де b – ширина пластини.

Необхідна ємність камери накопичення осаду становить

$$V_{\pi} = Q_3 T_{\pi} \frac{S_3 - S_{\pi}}{S_o}, \quad (5.48)$$

де T_{π} – час накопичення осаду (інтервал часу між чищеннями); S_{π} – концентрація часток у проясненій воді, яка визначається за гранулометричним складом часток та значенням граничної крупності; S_o – концентрація часток у осаді.

Ефективність прояснення можна суттєво підвищити, якщо додати у потік забрудненої рідини **флокулянт** — органічну речовину, невелика концентрація якої призводить до злипання дрібних часток та їхнього осадження. Зазвичай, у якості флокулянта для очищення шахтних вод застосовується *поліакриламід* (ПАА).

Для готування розчину гелеобразного флокулянта необхідної концентрації та рівномірної подачі в апарати для прояснення або у напірний трубопровід УкрНДГідровугіллям розроблений автоматичний розчинник флокулянта АРФ, рис. 5.40, що складається з корпусу 5, кришки 7 з розділювальною решіткою 6 і ручкою, конуса 3, патрубків з вентилями 9. Кришка і конус кріпляться до корпусу швидко-роз'ємними з'єднаннями 4. Підведення напірної води і відвід розчину флокулянта здійснюється по шлангах 2 і 10, приєднаних до вставки 1, яка кріпиться до трубопроводу за допомогою швидкокороз'ємних з'єднань. Для створення перепаду тиску, необхідного для руху води крізь пристрій, у вставку 1 уварене кільце, до якого кріпляться змінні дросельні шайби 11.

Процес готування розчину флокулянта здійснюється за рахунок безупинної подачі знизу нагору води, яка, проходячи крізь шар поліакриламід, розчиняє його і виносить через шланг 10 у трубопровід. Питома витрата поліакриламід залежить від витрати води, що регулюється вентилем 9. Технічна характеристика авторозчинника флокулянта АРФ наведена у табл. 5.24.

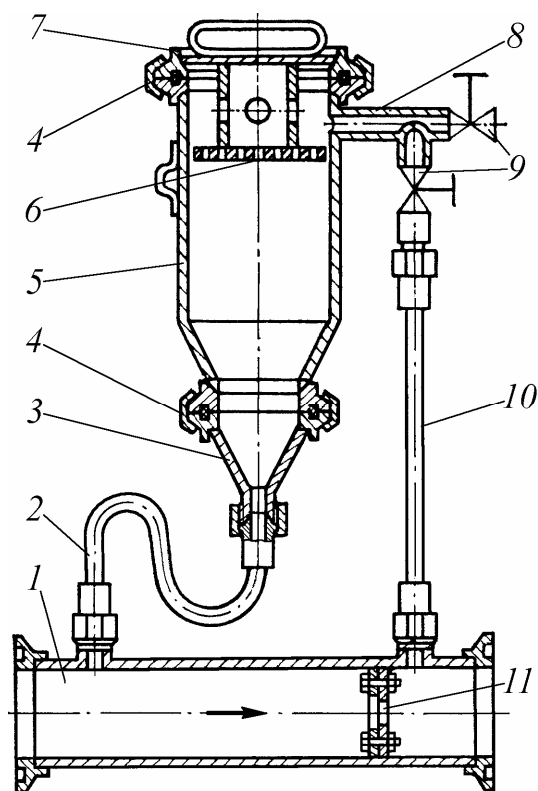


Рисунок 5.40 – Автоматичний розчинник флокулянта АРФ:

1 – вставка; 2 – підвідний шланг;
3 – конус; 4 – швидкороз'ємне з'єднання; 5 – корпус; 6 – розділювальна решітка; 7 – кришка; 8 – патрубок;
9 – вентилі; 10 – відвідний шланг;
11 – дросельна шайба

Таблиця 5.24 – Характеристика авторозчинника флокулянта АРФ

Параметри	Значення
Внутрішній діаметр корпуса, мм	300
Максимальний тиск напірної води, МПа	1,0
Витрата води, м ³ /год	1,0 ... 1,8
Маса ПАА, що завантажується, кг	50
Концентрація розчину ПАА при 10 ... 15° С, %	0,003 ... 0,005
Висота без вставки, мм	1400
Маса установки, кг	150

Авторозчинник флокулянта АРФ простий по конструкції, не вимагає постійного обслуговування і забезпечує необхідну концентрацію розчину поліакриламід. Промислові зразки АРФ використовувались для підвищення ефективності прояснення відпрацьованої води в шахтному пересувному прояснювачі ОПШ і дільничних відстійниках. АРФ може використовуватися також для готування і подачі розчину в напірний трубопровід з метою поліпшення якості струменя гідромонітора і, отже, підвищення ефективності гидровідбійки. Крім того, відомі позитивні ефекти додавання ПАА в систему гідротранспорту.

В даний час для класифікації, збагачення, згущення, прояснення і ряду інших процесів у різних галузях промисловості (гірничій, металургійній, хімічній, нафтовидобувній, харчовій та ін.) широко застосовуються *гідроциклони*. Установлено, що гідроциклони можуть успішно застосовуватися для згущення твердого при концентрації вихідного матеріалу 20 ... 30 г/л та крупності 0 ... 13 мм. Для збільшення терміну служби застосовують гідроциклони із ситаловим конусом конструкції УкрНДІвуглезбагачення. Як показала практика промислової експлуатації, термін служби гідроциклона із ситаловим конусом у 10 разів більше, ніж звичайного металевого гідроциклона.

Для освітлення води, що містить значну кількість твердих часток з широким діапазоном крупності (наприклад, оборотну воду з системи гідротранспорту), ефективним є застосування гідроциклонів разом з тонкошаровими прояснювачами. Забруднена вода спочатку проходить гідроциклон, де з неї видаляються відносно великі фракції (більше 0,2 ... 0,5 мм), потім подається на тонкошаровий прояснювач для очищення від дрібних фракцій.

5.3.3 Технологічні схеми зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води

Досвід застосування гідромеханізації при проведенні підготовчих вироблень показує, що наявність ухилу, необхідного для безнапірного гідротранспорту пульпи, дозволяє успішно вирішувати з представленим вище устаткуванням питання зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води *у підземних умовах*. У процесі промислового застосування гідромеханізації були випробувані наступні технологічні схеми.

При застосуванні технології гідромеханізації для *проведення горизонтальних виробок*, коли не забезпечується безнапірне гідротранспортування вугілля з вибою, виникає необхідність у зневоднюванні відбитого вугілля у вибої з наступним транспортуванням його звичайними засобами. Для цього перед початком робіт з розмиву в 4 ... 5 м від вибою установлюють дерев'яний щит, що обгороджує, висотою 0,4 ... 0,5 м. Відбите вугілля затримується щитом, а вода переливається через нього. При проведенні відкаточних штреків на шахті ім. Артема вода після щита прояснювалась до 22,5 г/л. По водовідвідній канавці технологічна вода надходить в дільничний відстійник, звідки після прояснення — в шахтний водозбірник.

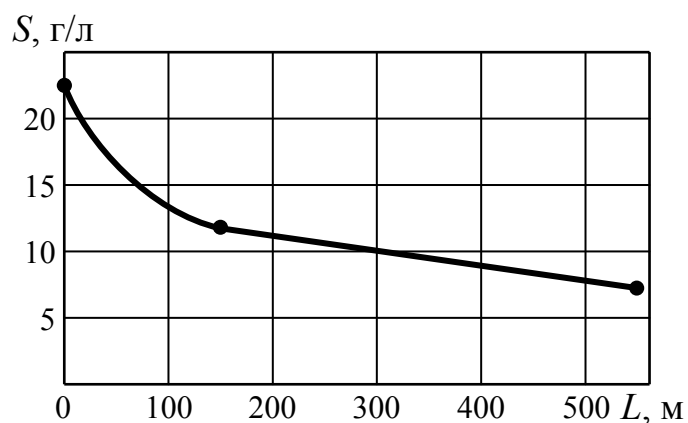


Рисунок 5.41 – Залежність вмісту твердого в технологічній воді від відстані транспортування

На рис. 5.41 приведена залежність вмісту часток від відстані руху води від щита, що обгороджує, до дільничного відстійника, з якої видно, що найбільш інтенсивне випадіння твердого відбувається на ділянці довжиною 150 м (з 22,5 до 12 г/л), а надходить у відстійник, розташований на відстані 560 м, вода зі вмістом твердого 6,6 г/л. Таким чином, у водовідвідних канавках і виробленнях на довжині 560 м осідає 70 % твердого, а у відстійнику — 30 %. Зі збільшенням відстані від вибою до відстійника це співвідношення змінюється у бік зменшення виносу твердого в дільничний відстійник.

На підставі проведених шахтних випробувань встановлено, що при даній технології ведення робіт доцільніше буде споруджувати дільничні відстійники менших обсягів ($100 \dots 120 \text{ м}^3$) при максимальному віддаленні вибоїв штреків від відстійника не більш, ніж на $500 \dots 600 \text{ м}$, оскільки роботи з вимивання випереджальних порожнин і гідровідбійки вугілля робляться, як правило, у 2...3 прийоми по $3 \dots 10 \text{ хв.}$ кожний з інтервалами між прийомами до 10 хв., а кількість води, що надходить у відстійник протягом одного прийому, складає від 3 до 12 м^3 . Тому при площі дільничного відстійника в 100 м^3 очищення технологічної води від часток відбувається повністю.

На шахті “Новодружівська” відбиті гідромонітором вугілля і порода транспортувалися відпрацьованим потоком води по емальованих жолобах. Пульпа попадала на жолоб, що зневоднює, який складався з двох пар рештаків із щілинами у днищі довжиною 600 мм і шириною 4 мм, крізь які з водою проходили дрібні частки твердого, а великі шматки вугілля і породи навантажувалися на скребковий конвеєр і далі звичайними засобами підйому видавалися на поверхню. Відстійник, куди надалі попадала пульпа, являв собою частину виробки, відгородженої на всю її висоту бетонною перемичкою, місткістю 300 м^3 . У відстійнику відбувалося прояснення води, яка через патрубки діаметром 100 мм, вмонтовані в перемичку, виливалася з

відстійника і надходила в шахтний водозбірник, звідки відкачувалась на поверхню.

На шахті “Пролетарська” об’єднання “Первомайськвугілля” вугілля і порода з вибою транспортувалися по жолобах і направлялися по вуглеспускному відділенню в пристрій, що зневоднює. Спочатку пульпа попадала на розташований на бремсбергу дуговий щілинний грохот, на якому відокремлювалися великі класи вугілля і породи для видачі із шахти звичайним способом, а підрешітний продукт транспортувався до спеціального бункера, а потім у відстійник. Бункер був споруджений у відкаточному штреку над відстійником. Прояснена вода насосами головного водовідливу відкачувалась у відстійник на поверхні.

Зневоднювання вугілля і породи на шахті ім. Менжинського об’єднання “Первомайськвугілля” здійснювалось на нерухомих колосникових решітках з розмірами щілини 5 мм, встановлених над навантажувальним бункером. Пульпа, що утворювалась в результаті руйнування вугілля струменем води гідромонітора, самопливом транспортувалась по жолобах до вузла зневоднювання, який складався з нерухомих колосників, на яких відбувалося основне відділення води, навантажувального бункера і двох відстійників для прояснення технологічної води. Відстійники корисною місткістю 730 м² кожний були улаштовані на ділянці відкаточного штреку. Прояснена вода з відстійників попадала в шахтний водозбірник, а шлам, що залишився, вантажився породонавантажувальною машиною ППМ-4 у вагонетки.

На підставі досвіду застосування і промислових іспитів устаткування і технології зневоднювання вугілля і породи та прояснення технологічної води в підземних умовах при проведенні підготовчих вироблень на шахтах “Карбоніт”, ім. Артема, “Новодружівська”, ім. Менжинського і гідрошахти ім. 50-річчя СРСР розроблені наступні технологічні схеми.

Для проведення способом гідромеханізації *горизонтальних виробок по викидонебезпечним пластам* за схемою, зображеною на рис. 5.42 а, пульпа, що утвориться під час вимивання випереджальних порожнин і гідровідбійки вугілля, зневоднюється безпосередньо у вибої, у 4 ... 5 м від якого встановлюється перший дерев’яний щит, що обгороджує, 2 висотою 0,5 ... 0,6 м, потім нижче від нього в 4 ... 5 м встановлюється щит 3, що служить для попереднього прояснення води і спрямованого відводу її у водовідвідну канавку 4. Після закінчення робіт з вимивання порожнин і гідровідбійки вугілля

щити знімаються і породонавантажувальною машиною збирають вугілля, яке осіло перед щитами. При цьому прояснення технологічної води можливе в такий спосіб. Технологічна вода, що виходить з-за щита, що направляє, по водовідвідній канавці направляється в дільничний відстійник 5. У відстійнику зважені частки твердого випадають в осад, а прояснена вода по водовідвідній канавці 6 надходить у шахтний водозбірник.

У результаті промислової експлуатації встановлено, що при проведенні відкаточних штреків перетином $7,5 \text{ м}^2$ по пластах потужністю $0,6 \dots 1,5 \text{ м}$ питома витрата води складає $6 \dots 9 \text{ м}^3/\text{м}$ виробки.

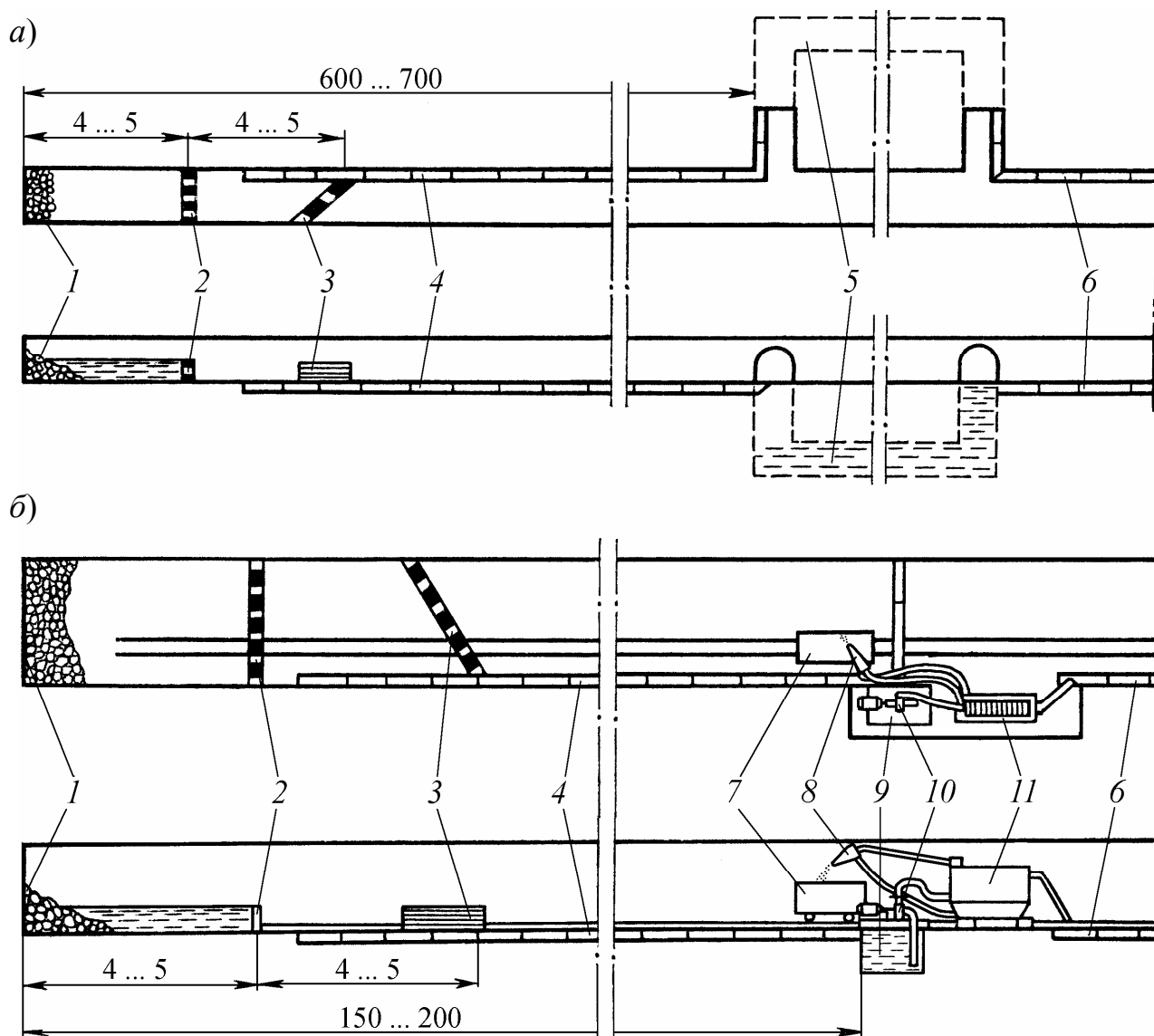


Рисунок 5.42 – Схеми зневоднювання вугілля та прояснення технологічної води у дільничному відстійнику (а) та при транспортуванні їх на штрек (б):

1 – відбита гірнична маса; 2 – щит, що огорожує; 3 – щит, що направляє; 4, 6 – канавки; 5 – дільничний відстійник; 7 – вагонетка; 8 – гідроциклон; 9 – зумпф-колодязь; 10 – шламовий насос; 11 – прояснювач ОПШ

При цьому тверде, що міститься в технологічній воді, осідає у дільничному відстійнику. В міру віддалення вибою штреку від відстійника зростає кількість твердого, що осідає у водовідвідній канавці і безпосередньо на ґрунті виробок. При віддаленні вибою від відстійника на 600 м у водовідвідній канавці і на ґрунті виробки осідає до 70 % твердого, що міститься в технологічній воді. Таким чином, рекомендується приймати відстань між дільничними відстійниками не більше 500 ... 600 м.

За схемою, зображеною на рис. 5.42 б, прояснення технологічної води в кількості не більше $150 \text{ м}^3/\text{год}$ здійснюється за допомогою прояснювача *ОПШ*. Для роботи за цією схемою необхідно при однокопійній виробці улаштувати нішу для розміщення устаткування для прояснення, і зумпфа-колодязя місткістю $0,8 \dots 1,0 \text{ м}^3$. Вода, що надходить з вибою по канавці 4, забирається з зумпфа-колодязя 9 шламовим насосом 10 і подається в прояснювач 11. Прояснена вода по патрубку іде у водовідвідну канавку 6, а згущений продукт *ОПШ* гідроелеватором подається в гідроциклон 8, згущений продукт якого вантажиться у вагонетки 7, а злив води повертається в прояснювач.

Для проведення *підняттяєвих підготовчих і нарізних вироблень* способом гідромеханізації розроблені наступні технологічні схеми.

За схемою, зображеною на рис. 5.43 а, транспортування породи і вугілля робиться на пластовий штрек, зневоднювання вугілля і породи, що надходять по жолобу 1, здійснюється на грохоті *ПКО-1* 2. Зневоднені вугілля і порода конвеєром 4 подаються на штрек у вагонетки, а підрешітний продукт із бункера 3 по трубопроводу 5 направляється в дільничний відстійник 6, що являє собою ділянку штреку, обгороджену перемичками. Злив відстійника по водовідвідній канавці 7 надходить у шахтний водозбірник. Після заповнення відстійника осілим шламом він очищується породонавантажувальною машиною, для чого одна з перемичок виконується знімною.

За схемою рис. 5.43 б, транспортування вугілля і породи здійснюється на польовий штрек, зневоднювання вугілля і породи, що надходять по жолобу 1, робиться на грохоті 2. Зневоднені вугілля і порода попадають у бункер, що акумулює, 9, з якого вантажиться у вагонетки на польовому штреку. Підрешітний продукт із бункера 3 по пульпопроводу 5 надходить у дільничний відстійник 6. Прояснена вода по канавці 7 стікає в дільничний водозбірник. Можливе спорудження відстійників на обох штреках — один відстійник знаходиться в роботі, а інший очищується від шламу.

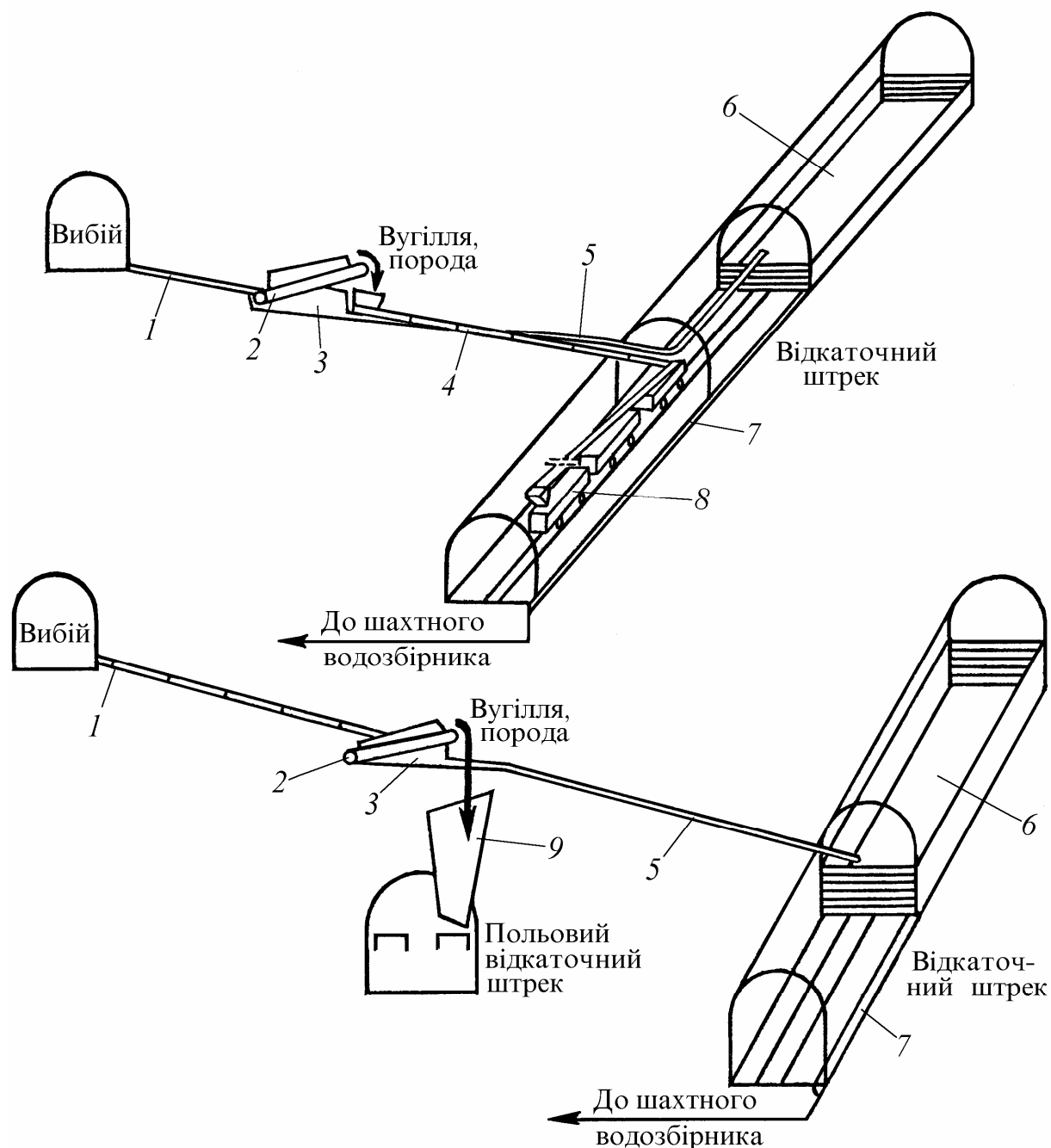


Рисунок 5.43 – Схеми зневоднювання вугілля та прояснення технологічної води у дільничному відстійнику (а) та при транспортуванні їх на штрек (б):
 1 – жолоб; 2 – грохот; 3 – бункер; 4 – конвеєр; 5 – трубопровід;
 6 – дільничний відстійник; 7 – водовідвідні канавки; 8 – вагонетки;
 9 – бункер, що акумулює

При проведенні *підняттявої виробки по пласту*, розташованому в підшві штреку, пульпа, що утвориться під час вимивання випереджальних порожнин і гідровідбійки вугілля, зневоднюється на відкаточному штреку безпосередньо в усті печі. При цьому ділянка штреку перегороджується дерев'яними щитами, один із яких є продовженням відшивки робочого відділення печі, а другий встановлюється в 3 ... 4 м від першого.

Після закінчення робіт з виймання випереджальних порожнин і гідровідбійки вугілля щити знімають та породонавантажувальною машиною збирають у вагонетки вугілля, яке осіло між щитами.

При проведенні *підняттявої виробки по пласту, розташованому в покрівлі штреку*, зневоднювання вугільної пульпи робиться в тимчасовому відстійнику, що споруджується в безпосередній близькості від печі на ділянці відкаточного штреку, обмежений перемичками. Вугільна пульпа надходить з вибою печі в тимчасовий відстійник по жолобах і трубах. Після заповнення відстійника перемички знімаються, а зневоднене вугілля вантажиться породонавантажувальною машиною у вагонетки.

При даних технологічних схемах прояснення технологічної води можливе в такий спосіб. По-перше, технологічна вода, що виходить через щит, по водовідвідній канавці може бути спрямована в дільничний відстійник. У ньому зважені частки випадають в осад, а прояснена вода по водовідвідній канавці надходить у шахтний водозбірник. По-друге, при витраті технологічної води не більше $150 \text{ м}^3/\text{год}$, її прояснення можливе за допомогою пересувного прояснювача ОПШ.

Наведені вище технологічні схеми мають суттєвий недолік — улаштування дільничного відстійника у штреку ускладнює пересування та призводить до періодичного припинення виїмки для чищення відстійника. Більш перспективними є технологічні схеми, у яких застосовуються інші способи зневоднювання гірничої маси та прояснення води — зневоднювальні конвеєри, гідроциклони, тонкошарові прояснювачі.

На рис. 5.44 наведена схема вузла обробки гідросуміші експериментальної гідродільниці із замкненим циклом по воді шахти ім. Д. С. Коротченко, розробки ДонНТУ. Гідросуміш від вибою по жолобу 1 надходить на зневоднювальний конвеєр 2, створений на базі скребкового конвеєра *СП-70*, див. п.п. 5.1.4. Шматки вугілля та породи транспортуються конвеєром у вагонетку 7, яка знаходиться у штреку. Вода з дрібними частками (розміром до $1 \dots 2 \text{ мм}$) проходить крізь ситові решітки у секціях конвеєра та стікає у нижню частину виробки, де виконаний приямок 3. Виробка відділена від штрека герметичною бетонною перегородкою 6. З приямку вода зі шламом відкачується шламовим насосом 8 марки *ШН-150*, усмоктувальний трубопровід якого оснащений дозуючим пристроєм 4 для захисту від забучування та забезпечення постійної концентрації гідросуміші.

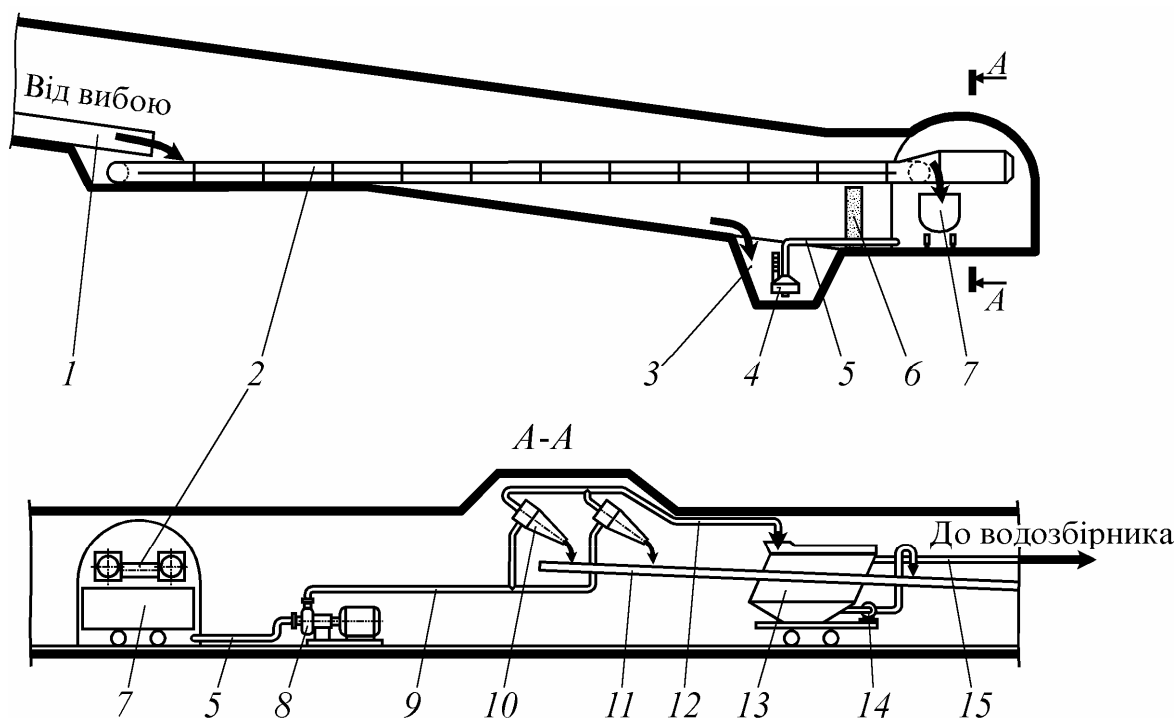


Рисунок 5.44 – Схема вузла переробки гідросуміші гідровибобою із замкненим циклом по воді розробки ДонНТУ: 1 – жолоб; 2 – зневоднювальний конвеєр; 3 – прямок; 4 – усмоктувальний пристрій; 6 – бетонна перегородка; 7 – вагонетка; 8 – шламовий насос *ШН-150*; 10 – гідроциклони *ГЦ-36*; 11 – шламовий жолоб; 13 – тонкошаровий прояснювач *ОП-1*; 14 – шламовий насос *ШН-50*; 5, 9, 12 і 15 – трубопроводи

Насос 8 по трубопроводу 9 подає гідросуміш у гідроциклони 10 типу *ГЦ-36*, у яких відбувається розділення потоку: концентрована гідросуміш з піскових насадок циклонів викидається на шламовий жолоб 11, а прояснена вода відводиться трубопроводом 12. Оскільки гідроциклони не забезпечують видалення з потоку дрібних часток (менших, ніж 0,2 ... 0,5 мм), для подальшого прояснення технологічна вода подається у тонкошаровий прояснювач 13 типу *ОП-1*. З останнього прояснена вода по трубопроводу 15 спрямовується у дільничний водозбірник, звідки знов подається на гідромонітори. Осад, накопичений у нижній частині прояснювача, періодично видаляється шламовим насосом 14 типу *ШН-50* на шламовий жолоб 11.

Суттєвими перевагами схеми є безупинність технологічного процесу, навантаження зневодненого вугілля безпосередньо у вагонетки або на конвеєр, якісне прояснення відпрацьованої технологічної води. Схема не потребує спеціальних виробок для улаштування відстійника, забезпечує вільний доступ до технологічного обладнання.

Питання для самоперевірки.

1. Що таке зневоднювання гідросуміші? Які існують способи зневоднювання.
2. Як розрізняють продукти за вмістом вологи?
3. Що таке згущення гідросуміші?
4. Що являє собою процес гідравлічної класифікації?
5. Для чого призначені та як працюють гідроциклони?
6. Як розраховують основні параметри гідроциклонів?
7. У чому полягає принцип дії гідрокласифікаторів?
8. Які типи грохотів застосовують при гідромеханізованих роботах?
9. Які типи зневоднювальних транспортерів застосовують на гірничих підприємствах?
10. Поясніть принцип дії стрічкового зневоднювального транспортера.
11. Опишіть конструкцію та принцип дії зневоднювальних центрифуг.
12. Перелікуйте типи згущувачів гідросуміші.
13. Назвіть призначення та основні елементи гідровідвалу.
14. Як класифікують гідровідвали?
15. Як визначають ємність гідровідвалу та оптимальну висоту укладання породи?
16. Опишіть особливості зведення дамб обвалування.
17. Як розраховують ухил укладання порід, фракціонування часток породи, щільність та вологість намитих порід?
18. Як класифікують способи намиву гідровідвалів?
19. Які схеми застосовують при намиві гребель?
20. У чому полягає процес прояснення технологічної води?
21. Якими водоскидними пристроями обладнують гідровідвали?
22. Яку конструкцію має та як розраховується водоскидний колодязь?
23. Назвіть особливості намиву шламосховищ збагачувальних підприємств.
24. Яке устаткування застосовується для зневоднювання гірничої маси та прояснення технологічної води у підземних умовах?
25. Поясніть принцип дії тонкошарового прояснювача.
26. Які технологічні схеми застосовують для зневоднювання гірничої маси та прояснення технологічної води у підземних умовах?

Перелік рекомендованої літератури

Основна література

1. Бессонов Е. А. Технология и механизация гидромеханизированных работ: Справ. пособие для инженеров и техников. — М.: Центр, 1999. — 544 с.
2. Бойко М. Г., Козиряцкий Л. М., Кононенко А. П. Землесосні і ерліфтно-землесосні снаряди: Навч. посібник. — Донецьк: ДонНТУ, 2005. — 296 с.
3. Братченко Б. Ф. Стационарные установки шахт. — М.: Недра, 1977. — 438 с.
4. Буянов Ю. Д. Разработка гравийно-песчаных месторождений. — М.: Недра, 1988.
5. Гейер В. Г. Новые технологические схемы и средства шахтного водоотлива. — Донецк: ДПИ, 1972. — 36 с.
6. Гейер В. Г., Тимошенко Г. М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 1987. — 270 с.
7. Гидравлический и пневматический транспорт на горных предприятиях /А. О. Спиваковский, В. С. Мучник и др. — Л.: Госгортехиздат, 1962. — 252 с.
8. Гидроподъем полезных ископаемых /Антонов Я.К., Козыряцкий Л.Н., Пашенко В.С., Малашкина В.А. и др. — М.: Недра, 1995. — 173 с.
9. Глевицкий В. И. Гидромеханизация в транспортном строительстве. — М.: Транспорт, 1988.
10. Демидов Д. Д. Основные вопросы гидромеханизации на угольных карьерах. — М.: Углетехиздат, 1953. — 68 с.
11. Залепукин Н. П. Безопасность труда в гидромеханизации. — Киев: Будивельн., 1976.
12. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления. — М.: Энергоатомиздат, 1967.
13. Ильин Н. И. Земснаряды, устройство и организация службы. — М.: Транспорт, 1982.
14. Коденцов А. Я. Гидротехнология на шахтах. — М.: Недра, 1984. — 320 с.
15. Куприн А. И. Безнапорный гидротранспорт. — М.: Недра, 1980. — 244 с.
16. Лезгинцев Г. М., Истомин С. Ю., Контарь Е. А. Применение эрлифтного оборудования для разработки морских россыпей. — М.: Цветметинформация, 1973.
17. Малеев В. Б., Данилов Е. И., Яковлев В. М. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей: Учеб. пособие. — Донецк: ДПИ, 1986. — 36 с.
18. Меламут Д. Л. Гидромеханизация в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве. — М.: Стройиздат, 1967.
19. Методические рекомендации по применению средств механизации очистки шахтных водосборных емкостей. Гейер В. Г., Антонов Я. К., Боруменский А. Г., Малеев В. Б. и др. / Под ред. В. Г. Гейера. — Донецк.: ЦБНТИ Минуглепрома СССР, 1983. — 52 с.
20. Мороховский А. С., Смолдырев А. Е. Приборы для трубопроводного транспорта. — М.: Металлургия, 1978.
21. Мучник В. С., Голланд Э. В., Маркус М.Н. Подземная гидравлическая добыча угля. — М.: Недра, 1986. — 223 с.
22. Никонов Г. П., Славутский С. О. Гидромеханизация в угольной промышленности. — М.: Углетехиздат, 1952. — 252 с.

23. Нурок Г. А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. — М.: Недра, 1985.
24. Основи управління гідротранспортними системами вугільних шахт. В. І. Груба, Ф. О. Папаяні, Е. К. Нікулін, О. С. Оголобченко / Під ред. В. І. Груби. — Донецьк: ДПІ, 1993. — 225 с.
25. Подводная технология / Коробков В. А., Левин В. С., Лукошков А. В., Серебренникий П. П., — Л.: Судостроение, 1981. — 240 с.
26. Проблемы исследования и освоения Мирового океана./ Под ред. А. И. Вознесенского. — Л.: Судостроение, 1979.
27. Скрынников В. Е. Обзор схем загрузочных устройств (питателей) при напорном гидротранспорте. — М.: Госгортехиздат, 1962. — 32 с.
28. Смолдырев А. Е. Гидравлический и пневматический транспорт на угольных предприятиях. — М.: Углетехиздат, 1956. — 290 с.
29. Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт. — М.: Недра, 1975. — 383 с.
30. Смолдырев А. Е., Сафонов Ю. К. — Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей — М.: Недра, 1989. — 256 с.
31. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. М.: Недра, 1980. – 293 с.
32. Смолдырев А. Е. Рекомендуются методы расчета гидравлического транспорта. — М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1964. — 52 с.
33. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / И. А. Асауленко, и др. — Киев: Наук. думка, 1981. — 364 с.
34. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов. Нурок Г. А., Брудянин Ю. В., Бубис Ю. В. и др. — М.: Недра, 1979. — 380 с.
35. Трайнис В. В. Параметры и режимы гидравлического транспортирования угля по трубопроводам. — М.: Наука, 1970. — 192 с.
36. Трубопроводний гідротранспорт твердих матеріалів. Навч. посібник. у двох частинах/ Брагін Б. Ф., та ін. За ред. Б. Ф. Брагіна. — К.: ІСДО, 1993.
37. Упоров Н. Г. Марголин Т. В. Землесосные снаряды. — М.: Высшая школа, 1985.
38. Шкундин Б. М. Гидромеханизация в энергетическом строительстве. — М.: Энергоиздат, 1986.
39. Шкундин Б. М. Землесосные снаряды. — М.: Энергия, 1973.
40. Шкундин Б. М. Оборудование гидромеханизации земляных работ. — М.: Энергия, 1970.
41. Энциклопедия эрлифтов /Папаяни Ф.А., Козыряцкий Л.Н., Пашенко В.С., Кононенко А.П., Донецк, Москва, издательство «ИнформСвязьИздат», 1995.-589 с.
42. Эрлифтные установки /Гейер В.Г., Козыряцкий Л.Н., Пашенко В.С., Антонов Я.К. Донецк: ДПИ, 1982. – 64 с.
43. Юфин А. П. Напорный гидротранспорт. М.-Л.: Госэнергетическое изд.,1950.
44. Юфин А. П. Гидромеханизация. — М.: Изд. лит. по строительству, 1965.— 496 с.
45. Ялтанец И. М., Егоров В. К. Гидромеханизация. М.: МГГУ, 1999.
46. Ялтанец И. М., Кулигин В. И. Гидромеханизация открытых горных работ. — М.: МГГУ, 1996.
47. Ялтанец И. М. Проектирование гидромеханизации открытых горных работ. — М.: МГГУ, 1994.

Додаткова література

48. Адамов Б. И. Исследование и разработка глубоководных эрлифтных установок для подъема твердого материала. Дисс. ... канд. техн. наук. — Донецк: ДПИ, 1982.
49. Водовугільне паливо / Круть О.А.; Національний гірничий університет. — Київ: Наук. думка, 2002. — 172 с.
50. Гейер В. Г. и др. Система комплексного оптимального управления технологическим процессом гидрошахты // Реферативная информация о законченных НИР в вузах УССР, вып. 4. — Киев: Вища школа, 1970. — С. 57-58.
51. Гейер В. Г. и др. Эрлифтный гидроподъем гидрошахты «Красноармейская № 2» // Гидравлическая добыча угля, № 1, 1969. — М.: ЦНИИТЭИугля. — С. 30-32.
52. Гейер В. Г., Груба В. И. Автоматизированный гидроподъем // Гидравлическая добыча угля, № 10, 1963. — М.: ЦНИИТЭИугля. — С. 34-36.
53. Гейер В. Г., Груба В. И. Комплексный расчет, управление и регулирование гидросистемы шахты // Гидравлическая добыча угля, № 4 (37), 1966. — С. 34-36.
54. Гейер В. Г., Козыряцкий Л. Н. Исследование движения твердых тел в подъемной трубе эрлифта. — Уголь, № 5, 1976.
55. Гейер В. Г., Логвинов Н. Г. О свойствах безразмерных характеристик эрлифтов // Разработка месторождений полезных ископаемых. — Киев: Техника, 1973, вып. 31. — С. 51-56.
56. Гейер В. Г., Пашенко В. С. Эрлифтные установки для транспортирования золошлаковых смесей // Энергетик, № 4, 1979. — С. 18-20.
57. Гонтов А. Е., Экбер Б. Я., Маркус М. Н. Научно-технический прогресс в области гидравлической добычи угля. — М.: ЦНИИЭИуголь, 1983. — 60 с.
58. Груба В. И. Научные основы создания автоматизированной гидротранспортной системы угольных шахт. Дисс. ... докт. техн. наук. — Донецк: ДПИ, 1973.
59. Груба В. И., Моргунов В. М., Качура М. Н. Управление гидроэнерготранспортной системой гидрошахты // Уголь, № 2, 1979. — С. 34-36.
60. Егоров В. К. Комплексное выполнение земляных работ с использованием гидромеханизации на нефтегазовых месторождениях Западной Сибири. — М.: Академия транспорта, 1966.
61. Заря А. Н. Исследование движения твердой фракции в вертикальном пульповоде // Труды донецкого политехнического института. Т. 46. Серия горно-электромеханическая. Вып. 10. — Донецк: ДПИ, 1960.
62. Заря А. Н. Исследование образования закупорок в трубопроводе при выключении углесоса // Труды донецкого политехнического института. Т. 62. Серия горно-электромеханическая. Вып. 12. — Донецк: ДПИ, 1961.
63. Земляные работы. Справочник строителя. — М.: Стройиздат, 1984.
64. Козыряцкий Л. Н. Исследование и разработка уточненного расчета эрлифтных установок горной промышленности. Дисс. ... канд. техн. наук. — Донецк: ДПИ, 1976.
65. Козыряцкий Л. Н. Определение основных параметров эрлифта / Уголь Украины, № 12, 1975.
66. Козыряцкий Л. Н., Кононенко А. П., Мизерный В. И. Уравнение безразмерной расходной характеристики длинных эрлифтов // Наукові праці ДонДТУ. Випуск 27, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2001. — С. 210-214.

67. Козыряцкий Л. Н. и др. Эрлифтно-гидроэлеваторный комплекс по добыче гравия со дна водоемов. Деп. в ЦНИЭИуголь, № 9, 1990.
68. Козыряцкий Л. Н. Исследование и разработка уточненного расчета эрлифтных установок горной промышленности. Дисс. ... канд. техн. наук. — Донецк: ДПИ, 1976. — 197 с.
69. Козыряцкий Л. Н., Кононенко А. П. Повышение эффективности использования эрлифтных установок // Уголь Украины, № 10, 1982.
70. Козыряцкий Л. Н., Кононенко А. П., Мизерный В. И. Добыча твердого топлива из шламонакопителей Донбасса // Наукові праці ДонДТУ. Випуск 35, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2001. — С. 83-91.
71. Козыряцкий Л. Н., Кононенко А. П., Самойлик В. Г. Эмульсионно-топливные композиции // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 51, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2002. — С. 119-123.
72. Козыряцкий Л. Н., Федоров О. В. Коэффициент полезного действия гидравлических подъемных установок // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 123, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2007. — С. 57-63.
73. Кононенко А. П. Модель рабочего процесса эрлифта с эмульсионной структурой водовоздушного потока // Наукові праці ДонДТУ. Випуск 101, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2005. — С. 58-67.
74. Кононенко А. П. Теорія и робочий процес ерліфтів. Дис. ... докт. техн. наук. — Донецк: ДонНТУ, 2007.
75. Костанда В. С. Исследование и разработка эрлифтных и углесосно-эрлифтных подъемов гидрошахт. Дисс. ... канд. техн. наук. — Донецк: ДПИ, 1963.
76. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. — Л.: Машиностроение, 1975. — 776 с.
77. Кутателадзе С. С., Стырикович М. А. Гидродинамика газожидкостных систем (2-е изд.). — М.: Энергия, 1976. — 296 с.
78. Малеев В. Б. Развитие научных основ системы шахтного водоотлива: Дис. ... докт. техн. наук. — Донецк, 2003.
79. Методика расчета эрлифтных установок (снарядов). Рига: ВНИИМоргео, Московский геологоразведочный институт, 1975.
80. Моргунов В. М. Исследование процессов обработки гидросмеси в подземных условиях при гидродобыче и очистке производственных вод // Наукові праці ДонДТУ, вып. 16, серія гірничо-електромеханічна. — Донецк: ДонДТУ, 2000. — С. 213-221.
81. Моргунов В. М. Исследование системы контроля и защиты углесосной станции // Разработки МПИ, респ. межвед. сб., 1975, вып. 41. — С. 90-93.
82. Моргунов В. М. Математическая модель узла дозирования грунтозаборного устройства гидротранспортной установки // Наукові праці ДонДТУ, вып. 51, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2002. — С. 168-171.
83. Моргунов В. М. Определение потерь давления во всасывающих трактах стационарных гидротранспортных установок в переходных режимах // Труды ДонГТУ, вып. 7, серія горно-електромеханічна. — Донецк: ДонГТУ, 1999. — С. 179-186.
84. Моргунов В. М. Схема замещения гидротранспортной установки // Наукові праці ДонДТУ. Випуск 35, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонНТУ, 2001. — С. 132-137.

85. Основы теории эрлифта. Гейер В. Г., Козыряцкий Л. Н. и др. Деп. в УкрНИИНТИ № 1884, 1980.
86. Спиваковский А. О., Смолдырев А. Е., Зубакин Ю. С. Автоматизация трубопроводного транспорта в горной промышленности. — М.: Недра, 1972. — 342 с.
87. Тимошенко Г. М., Моргунов В. М., Аралов Е. И. Гидроучастки на шахтах с обычной технологией // Разработка месторождений полезных ископаемых, респ. межвед. н.-т. сб., 1991, вып. 57. — С. 88-91.
88. Транспортирование водоугольных суспензий: гидродинамика и температурный режим / А. С. Кондратьев, В. М. Овсянников, Е. П. Олофинский и др. — М.: Недра, 1988. — 213 с.
89. Углесосно-эрлифтный гидроподъем гидрошахты «Красноармейская». Козыряцкий Л.Н., Чеченев А. И. и др. Деп. в ЦНИЭИуголь № 4358, 1987.
90. Эксплуатация эрлифтно-земснарядных комплексов в Западной Сибири. Холмогоров А.П., Козыряцкий Л.Н. и др. Строительство трубопроводов, 1990, №4.
91. Эрлифтно-земснарядные комплексы для добычи песка. Холмогоров А.П., Козыряцкий Л.Н., Антонов Я.К. — Строительство трубопроводов, 1988, №5.
92. А. с. № 687439 Груба В. И., Моргунов В. М., Никулин Э. К. Способ защиты гидротранспортных установок от закупорки и устройства для его осуществления. Оpubл. в Б. И. № 35, 1979.
93. А. с. № 815162 Всасывающий патрубок / Груба В. И., Моргунов В. М., Никулин Э. К.. Оpubл. в Б. И. № 11, 1981.
94. А. с. № 918217 Способ управления транспортированием гидросмеси / Груба В. И., Никулин Э. К., Моргунов В. М. Оpubл. в Б. И. № 13, 1982.
95. А. с. № 987200 Эрлифт для подъема пульпы / В. Г. Гейер, Л. Н. Козыряцкий и др. Оpubл. в Б. И. № 1, 1983.
96. А. с. № 1562539 Эрлифт / Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий и др. Оpubл. в Б. И. № 17, 1990.
97. А. с. № 1620692 Эрлифтный гидроподъемник / Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий и др. Оpubл. в Б. И. № 2, 1991.
98. А. с. № 1622644 Эрлифтно-землесосная система / В. Г. Гейер, Л. Н. Козыряцкий и др. Оpubл. в Б. И. № 3, 1991.
99. А. с. № 1719017 Тонкослойный осветлитель / Моргунов В. М., Тимошенко Г. М., Зима П. Ф., Стыценко В. И., Шкрудь М. И. . Оpubл. в Б. И. № 10, 1992.

Предметний покажчик

- Автоматизація, 438
 - гідрошахт, 443
 - землесосного снаряда, 438
 - насосної установки, 439
- Аерогідросуміш, 385
- Блок, 14, 52, 108
- Вантуз, 252
- Вибій, 14
- Видобування
 - підводне, 63
- Виробка
 - ухил, 47
- Відстійник, 13, 512
- Водовугільне паливо, 76
- Водомет імпульсний, 160
- Водопостачання, 212
 - гідрошахт, 219
 - з кругообігом води, 212, 215
 - продуктивність, 216
 - пряме, 212, 213
- Водопроводи, 221
 - діаметр оптимальний, 225
 - розгалужені, 227
 - розрахунок, 221
- Вологість, 450
- Вуглесоси, 347
- Гідравлічна крупність, 21, 255, 267
- Гідравлічний радіус, 290
- Гідравлічний удар, 240
 - гасителі, 242
- Гідравлічний ухил, 222, 278
 - безнапірного потоку, 290
 - в похилих трубопроводах, 284
 - у вертикальних трубопроводах, 285
- Гідровідбійка, 47
 - вугілля, 122
- Гідровідвал, 13, 470
 - висота оптимальна, 475
 - водоскидні пристрої, 499
 - дренажні пристрої, 503
 - ємність, 474
 - класифікація, 471
 - контрольні заходи, 509
 - обвалування, 477
 - прояснення води, 497
- Гідрогрохоти
 - дуговий, 457
 - колосниковий, 459
 - конічний, 458
 - рухомо-колосникові, 460
- Гідроелеватор, 380
 - розрахунок, 383
 - характеристика, 381
- Гідроімпульсатор, 152
- Гідроімпульсні машини, 151
- Гідрокласифікатор, 456
- Гідромеханізація, 9, 15
 - комплексна, 40
 - переваги і недоліки, 19
 - підводного видобування, 67
 - схеми технологічні, 40
- Гідромонітори
 - для відкритих розробок, 127
 - для підземних робіт, 132
 - заспокоювач стільниковий, 97
 - імпульсні, 135, 153
 - класифікація, 125
- Гідромоніторні агрегати, 139
- Гідросуміш
 - згущення, 451
 - зневоднювання, 450
 - зневоднювання у підземних умовах, 511, 522
 - класифікація, 269
 - структурна, 269
- Гідротранспорт, 76, 255
 - безнапірний, 255, 286
 - вертикальний, 258, 284
 - горизонтальний, 262
 - енерговитрати питомі, 278
 - методи розрахунку, 278
 - напір, 274
 - напірний, 255
 - продуктивність, 272
 - розрахунок, 272

- Гідроциклон, 452, 528
- Гідрошахта, 14, 40
 - автоматизація, 443
- Гірничо-збагачувальний комбінат плавучий, 67
- Глибоководне видобування, 71
- Гранулометричний склад, 21, 266
- Дамба, 13
- Драга, 68
- Елеватор зневоднювальний, 461
- Ерліфт, 68, 190, 384
 - витрата повітря, 387
 - витрата повітря питома, 388
 - змішувач, 406
 - основне рівняння, 389
 - повітровіддільник, 409
 - принцип дії, 385
 - режим оптимальний, 392
 - робоча зона, 391
 - розрахунок, 399
 - схеми, 394
 - усмоктувальний пристрій, 405
- Ерліфтно-земснарядний комплекс, 68, 82, 86, 190, 403
- Живильник, 419
- Жолоб, 288
- Завантажувальні апарати, 419
 - камерні, 419
 - струминні, 423
 - шнекові, 422
- Засувка, 250
- Заходка, 12, 15, 47, 51, 108
- Згущувач, 468
- Землесос, 112
- Землесосні снаряди, 68, 162, 166
 - гідравлічні розпушувачі, 188
 - грунтозабірні пристрої, 169, 177
 - ежекторний, 68
 - ежекторні наконечники, 189
 - класифікація, 167
 - конструкція, 169
 - корпус, 176
 - продуктивність, 209
 - робочі переміщення, 193
 - способи підйому паль, 200
 - технологія розробки родовищ, 203
 - усмоктувальні наконечники, 178
 - фрезерні розпушувачі, 179
- Землесосні установки, 413
 - забійні, 413
 - перекачувальні станції, 416
- Земснаряд, 13
- Кар'єр, 12
- Клапан зворотний, 251
- Ковпак повітряний, 242
- Комбайни механогідравлічні, 144
- Конвеєр зневоднювальний, 463, 528
- Конвеєр шламовий, 513
- Консистенція, 292
- Контрольно-вимірювальні прилади
 - вакуумметри, 424
 - витратоміри, 428
 - консистомери, 432
 - манометри, 424
 - роздільники тиску, 426
- Концентрація, 260, 272
 - витратна, 260
 - дійсна, 261
- Лопаті, 298
- Лоток, 286
- Намив
 - безестакадний, 490
 - вологість порід, 487
 - гребель і дамб, 495
 - естакадний, 492
 - низькоопірний, 492
 - способи, 488
 - ухил укладання порід, 481
 - фракціонування, 482
 - щільність порід, 485
- Напір, 274
 - геометричний, 221
 - гідроелеватора, 381
 - насоса на гідросуміші, 275
 - теоретичний, 299
 - утрати, 222
- Насоси
 - багатосекційні, 231
 - багерні, 357
 - відвід, 311

відцентрові, 296
вільновихрові, 357
вуглесоси, 347
гвинтові, 378
грунтові, 172, 326
грунтові заглибні, 339
експлуатація, 358
запас кавітаційний, 305
знос, 359
зусилля осьове, 320
імпелер, 322
к.к.д., 303
кавітація, 305
класифікація, 297
консольні, 229
корпус, 311
мембранно-поршневі, 375
напір теоретичний, 299
об'ємні, 363
паралельне включення, 237
підшипники, 318
піскові, 355
плунжерні, 377
подача дійсна, 303
подача теоретична, 298
поршневі, 364
послідовне з'єднання, 238
регулювання, 235
робоча зона, 233, 303
робоче колесо, 296, 307
робочій режим, 232
рознімання, 313
серії Гр, 329
серії ГрА, 335
струминні, 380
ущільнення, 315
футерівка, 313
характеристика кавітаційна, 305
характеристика теоретична, 300
характеристики, 232
характеристика дійсна, 301
шламові, 350
Насосні станції, 244
гідрошахт, 244
плавучі, 244

Насосні установки
компонування, 324
Недомив, 112
Панель, 15
Пелоїди, 84
Піч, 14, 50
виймальна, 15
пульпопускна, 14
транспортна, 14
ходова, 14
Поверх, 15
Подача
гідроелеватора, 381
дійсна, 303
ерліфта, 387
критична, 277
регулювання, 440
теоретична, 298
Породи
абразивність, 24
твердість, 23
характеристики, 20
Початковий котлован, 13, 203
Просік, 14, 50
Прояснювач тонкошаровий, 514, 528
Розкриття родовищ, 24
безтраншейне, 25, 32
заводненням, 32
загальною траншеєю, 25
класифікація, 26
підземними виробками, 25
початковим котлованом, 28
при розробці земснарядами, 28
траншеями, 25, 31
Розмив, 9
витрата води питома, 113
гідромоніторний, 90
зустрічний, 110
організація, 108
побіжний, 110
розрахунок, 114
усмоктуванням, 162
Розробка гідромоніторна
переваги, 89
Сапропелі, 83

видобування, 84
 використання, 84
 Седиментація, 266
 Системи розробки
 відкритої, 32
 класифікація, 32, 64
 підводної, 64
 підземної, 45, 49, 57
 Струмінь, 89
 воронка граничного розмиву, 105
 дальність польоту, 99
 динамічний тиск, 99, 100
 діаметр, 102
 затоплений, 104
 класифікація, 91
 початкова ділянка, 94, 100
 сила удару, 103
 структура, 94
 формування, 96
 Трубопроводи
 арматура, 250
 гідрошахт, 249
 трасування, 246
 Усмоктувальний пристрій, 416
 Усмоктування, 162
 вакуумметрична висота, 306
 геометрична висота, 306
 Установка гідротранспортна
 високонапірна, 411
 Уступ, 12
 максимальна висота, 120
 обвалення, 116
 підводного кар'єру, 204
 Флокулянт, 520
 Фронт робіт
 гідромонітора, 12
 довжина, 121
 земснаряда, 203
 кар'єру, 12
 очисний, 53
 уступу, 12
 Центрифуга, 465
 Цілик, 55
 Швидкість
 абсолютна, 299
 безнапірного потоку, 292
 відносного руху, 298
 вільного падіння, 257
 критична, 259, 264, 273, 278
 переносна, 297
 розмивна, 164
 стиснутого падіння, 260, 262
 Шельф, 63
 Шламонакопичувач, 80
 Шламосховища, 504
 Штрек, 50
 вентиляційний, 49
 що акумулює, 14, 49
 Ярус, 15

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОРІД ЗА ТРУДНОЩАМИ РОЗРОБКИ ГІДРОМОНІТОРАМИ І ЗЕМСНАРЯДАМИ

Група порід	Породи	Вміст часток, %						
		глинистих (менш 0,005 мм)	пилюватих (0,005...0,05 мм)	піщаних			гравійних (5...40 мм)	галькових (40...70 мм)
				дрібних (0,05...0,25 мм)	середніх (0,25...0,5 мм)	крупних (0,5...5 мм)		
I	Попередньо розпушені, незлежалі породи	До 40	Не регламентується			До 50	—	—
II	Піски дрібнозернисті	До 3	До 15	> 50	До 50	До 1	—	
	Піски пилюваті	> 3	> 15	> 50				
	Супіски легкі	3...6						
	Лес пухкий	До 8	До 70	Не регламентується				
	Торф що розклався	—						
III	Піски середньозернисті	До 3	Не реглам.		> 50	До 50	До 5	До 1
	Піски різнозернисті	До 3	15-50	До 50	До 50			
	Супіски середні	6...10	Не регламентується					
	Суглинок легкий	До 15	Не регламен-		> 50			
	Льос щільний	> 15	До 70	тується				
IV	Піски грубозернисті	До 3	Не регламентується			> 50	5...15	
	Супіски важкі	6...10						
	Суглинок важкий	15...30	Не регламентується			До 10		
	Глини худі текучі	До 40				> 10		
V	Піщано-гравійна суміш	> 5	Не регламентується			До 25		
Глини напівжирні	40...50	> 5						
VI	Піщано-гравійна суміш	До 5	Не регламентується			До 40		
Глини напівжирні	50...60	> 15						

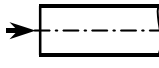
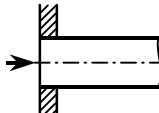
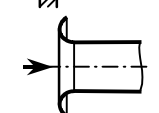
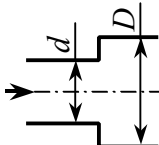
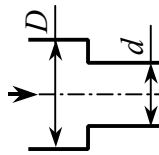
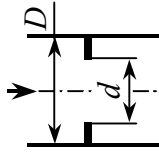
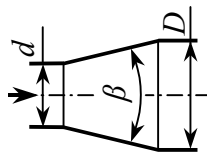
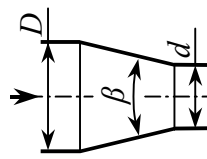
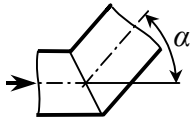
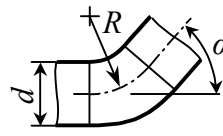
Примітки:

- У вибоях, складених породами різних груп, приймається група, середньозважена по співвідношенню потужності шарів різнорідних порід.
- По групі I нормуються попередньо розпушені породи, передбачені таблицею, крім порід зі змістом гравію більш 1% і напівжирних глин. Попередньо розпушені породи зі змістом гравію та гальки більш 1 %, і напівжирні глини відносяться до найближчої нижчої по труднощам розробки групи (наприклад, попередньо розпушені породи V групи відносяться до IV групи).
- При розробці піщаних порід I, II і III груп із прошарками зв'язних порід потужністю 0,2...0,6 м, при сумарній товщині цих прошарків, що не перевищує 20% загальної висоти вибою, група породи у вибої приймається найближчою вищою (наприклад, породи II групи відносяться до III групи).

ДОДАТОК Б. РЕКОМЕНДОВАНІ ЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ШОРСТКОСТІ ДЛЯ ТРУБ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

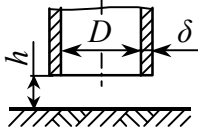
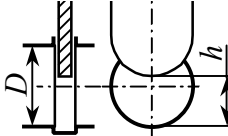
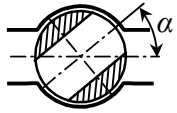
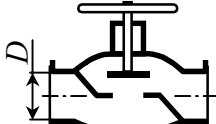
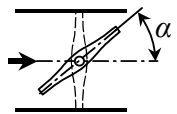
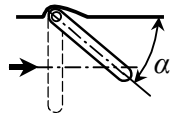
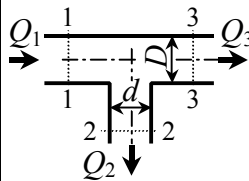
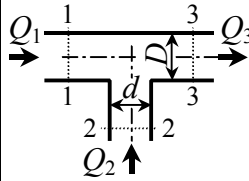
Труба	Стан труби	Шорсткість, мм
Сталева суцільнотягнена	Нова	0,02 ... 0,1
	Бітумізована	До 0,04
	Водопровідна, що була в експлуатації	1,2 ... 1,5
	Очищена після тривалої експлуатації	До 0,04
Сталева суцільнозварна	Нова або стара у гарному стані	0,04 ... 0,1
	Нова бітумізована	До 0,05
	Після експлуатації	0,9 ... 1,0
Чавунна	Нова	0,25 ... 1,0
	Асфальтована	0,12 ... 0,3
	Водопровідна, що була в експлуатації	До 1,4
	Очищена після тривалої експлуатації	0,3 ... 0,5
Бетонна	Експлуатована при середніх умовах	До 2,5
Азбоцементна	Нова	0,05 ... 0,1
	Експлуатована при середніх умовах	До 0,6

ДОДАТОК В. КОЕФІЦІЄНТИ МІСЦЕВОГО ОПОРУ

Характеристика елемента	Схема елемента	Формули та дані для визначення коефіцієнтів місцевого опору ζ												
1	2	3												
Вхід у трубу		$\zeta = 1,0$												
		$\zeta = 0,5$												
		$\zeta = 0,02 \dots 0,05$												
Раптове розширення трубопроводу *		$\zeta = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ або $\zeta = \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right)^2$												
Раптове звуження трубопроводу *		$\zeta = \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{ст}}} - 1 \right)^2$												
Діафрагма		d^2/D^2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1	
		$\varepsilon_{\text{ст}}$	0,612	0,616	0,622	0,633	0,644	0,662	0,687	0,722	0,781	0,817	1,0	
		$\zeta = \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{д}} \varepsilon_{\text{ст}}} - 1 \right)^2$ або $\zeta = \left(\frac{D^2}{d^2 \varepsilon_{\text{ст}}} - 1 \right)^2$												
Дифузор *		$\zeta = k_{\text{д}} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ або $\zeta = k_{\text{д}} \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right)^2$												
		β , град	5	10	15	20	30	40	45	≥ 50				
		$k_{\text{д}}$	0,13	0,17	0,26	0,14	0,71	0,90	0,98	1				
Конфузор *		$\zeta = k_{\text{к}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{ст}}} - 1 \right)^2$												
														
Коліно без закруглення		α , град	15	30	45	60	75	90	130	150				
		ζ	0,06	0,16	0,32	0,56	0,80	1,2	2,6	3,2				
Коліно із закругленням		$\zeta = \frac{\alpha}{90^\circ} \zeta_{90}$		d/R	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
				ζ_{90}	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,661	1,097	1,408	1,978

* Примітка. ω_1 та ω_2 – перетини вхідного та вихідного потоків. Втрати напору слід розраховувати по швидкості потоку після елемента.

Продовження додатка В

1	2	3											
Вхід в усмоктувальну трубу з зумпфа		$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2$		δ / D		0	0,02	0,03	0,04	>0,05			
				ζ_1		1,0	0,72	0,61	0,54	0,5			
		h / D	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0			
		ζ_2	1,6	0,65	0,37	0,25	0,15	0,07	0,04	0			
Усмоктувальний клапан з сіткою		$D, \text{ мм}$	50	75	100	125	150	200	250	300	400	500	700
		ζ	10,7	8,3	7,0	6,4	6,0	5,2	4,4	3,7	2,9	2,5	1,6
Засувка типу "Лудло"		h / D	8/8	7/8	6/8	5/8	4/8	3/8	2/8	1/8			
		ζ	0	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	98,0			
Пробковий кран		$\alpha, \text{ град}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
		ζ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	
Вентиль (у відкритому стані)		$D, \text{ мм}$	13	20		40		80		100		150	
		ζ	10,8	8,0		4,9		4,4		4,1		4,0	
Дисковий (дросельний) затвор		$\alpha, \text{ град}$	0	10	20	30	40	50	60	70			
		ζ	0,11	0,45	1,34	3,54	9,30	25,0	77,0	368			
Захлопка		$\alpha, \text{ град}$	20	30	40	50	60	70	75				
		ζ	1,7	3,2	6,6	14	30	62	90				
Зворотний клапан		$D, \text{ мм}$	40	70	100	200	300	500	700				
		ζ	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9				
Трійник припливний (коефіцієнти ζ_{1-3} та ζ_{1-2} враховують втрати напорів між перетинами 1-3 та 1-2)		Q_2 / Q_1		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0				
		ζ_{1-3}		0,70	0,64	0,57	0,51	0,55	0,7				
		ζ_{1-2}	d / D	1,0	0,90	1,00	1,20	1,50	1,80	2,30			
				0,75	1,09	1,20	1,59	1,77	2,20	3,30			
				0,60	1,10	1,54	2,35	3,22	4,32	6,53			
				0,50	1,37	1,81	2,83	4,07	6,00	8,90			
				0,30	2,80	4,50	7,88	11,1	15,8	24,7			
Трійник витяжний (коефіцієнти ζ_{1-3} та ζ_{2-3} враховують втрати напорів між перетинами 1-3 та 2-3)		Q_2 / Q_1		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0				
		ζ_{1-3}		0,7	0,64	0,65	0,85	0,96	1,00				
		ζ_{2-3}	d / D	1,0	-0,65	-0,40	0,10	0,83	1,47	2,30			
				0,75	-0,88	-0,48	0,53	1,89	4,00	6,60			
				0,60	-0,65	-0,09	1,31	3,52	7,28	12,2			
				0,50	-0,59	0,00	2,18	5,9	11,3	18,4			
				0,30	-0,50	2,97	19,7	48,8	86,9	136			

ДОДАТОК Г. СОРТАМЕНТ ТРУБОПРОВІДІВ

Труби сталеві безшовні гарячекатані (ДСТ 8732-88)

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стілки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стілки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стілки, мм
25	2,5 ... 8	95	3,5 ... 24	273	6,5 ... 50
28	2,5 ... 8	102	3,5 ... 24	299	7,5 ... 75
32	2,5 ... 8	108	4,0 ... 28	325	7,5 ... 75
38	2,5 ... 8	114	4,0 ... 28	351	8,0 ... 75
42	2,5 ... 10	121	4,0 ... 28	377	9,0 ... 75
45	2,5 ... 10	127	4,0 ... 30	402	9,0 ... 75
50	2,5 ... 10	133	4,0 ... 32	426	9,0 ... 75
54	3,0 ... 11	140	4,5 ... 36	450	9,0 ... 75
57	3,0 ... 13	146	4,5 ... 36	480	9,0 ... 75
60	3,0 ... 14	152	4,5 ... 36	500	9,0 ... 75
63,5	3,0 ... 14	159	4,5 ... 36	530	9,0 ... 75
68	3,0 ... 16	168	5,0 ... 45	560	9,0 ... 15
70	3,0 ... 16	180	5,0 ... 45	600	9,0 ... 15
73	3,0 ... 19	194	5,0 ... 45	630	9,0 ... 15
76	3,0 ... 19	203	6,0 ... 50	720	9,0 ... 15
83	3,5 ... 19	219	6,0 ... 50	820	9,0 ... 15
89	3,5 ... 24	245	6,5 ... 50		

Примітка. Товщину стінки вибирати в зазначених інтервалах з ряду 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; (6,5); 7; (7,5); 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 11; 12; (13); 14; (15); 16; (17); 18; (19); 20; 22; (24); 25; (26); 28; 30; 32; (34); (35); 36; (38); 40; (42); 45; (48); 50; 56; 60; 63; (65); 70; 75 мм. У дужках указані товщини стінок, вибір яких не рекомендується.

Труби сталеві електрозваренні прямошовні (ДСТ 10704-91)

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стілки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стілки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стілки, мм
10	1,0 ... 1,2	26	1,0 ... 2,5	45	1,2 ... 3,0
12	1,0 ... 1,6	28	1,0 ... 2,5	48	1,4 ... 3,5
14	1,0 ... 1,6	30	1,0 ... 2,5	51	1,4 ... 3,5
16	1,0 ... 1,6	32	1,0 ... 2,8	53	1,4 ... 3,5
18	1,0 ... 1,8	35	1,2 ... 3,0	57	1,4 ... 3,5
20	1,0 ... 2,0	38	1,2 ... 3,0	60	1,4 ... 3,8
22	1,0 ... 2,0	40	1,2 ... 3,0	63,5	1,4 ... 3,8
24	1,0 ... 2,5	42	1,2 ... 3,0	70	1,4 ... 4,0

Труби сталеві електрозваренні прямошовні (продовження)

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм
73	1,4 ... 4,0	152	1,8 ... 5,5	406	4 ... 12
76	1,4 ... 5,5	159	1,8 ... 8	426	4 ... 12
83	1,6 ... 5,5	168	1,8 ... 8	530	5 ... 24
89	1,6 ... 5,5	180	4 ... 5	630	7 ... 20
95	2,0 ... 5,0	194	2 ... 8	720	7 ... 30
102	1,8 ... 5,5	219	2,5 ... 9	820	7 ... 30
108	1,8 ... 5,5	245	3 ... 9	920	7 ... 20
114	1,8 ... 5,5	273	3,5 ... 9	1020	8 ... 32
127	1,8 ... 5,5	325	4 ... 9	1120	8 ... 20
133	1,8 ... 5,5	356	4 ... 10	1220	9 ... 20
140	1,8 ... 5,5	377	4 ... 10	1420	10 ... 20

Примітка. Товщину стінки вибирати в зазначених інтервалах з ряду 1; 1,2; 1,4; (1,5); 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,5; 2,8; 3; 3,2; 3,5; 3,8; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 8,5; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 16; (17); 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32 мм. У дужках указані товщини стінок, вибір яких не рекомендується.

Труби сталеві електрозваренні зі спіральним швом (ДСТ 8696-74)

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм
159	3,5 ... 4	530	4 ... 9	1420	8 ... 21
219	4 ... 5	630	5 ... 10	1620	1,4 ... 23
273	4 ... 5	720	5 ... 12	1720	1,4 ... 23
325	4 ... 6	820	5 ... 12	1820	1,4 ... 24
377	4 ... 6	920	8 ... 12	2020	1,4 ... 25
426	4 ... 8	1020	6 ... 12	2220	1,4 ... 25
480	4 ... 8	1220	7 ... 12	2520	1,4 ... 25

Примітка. Товщину стінки вибирати в зазначених інтервалах з ряду 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25 мм.

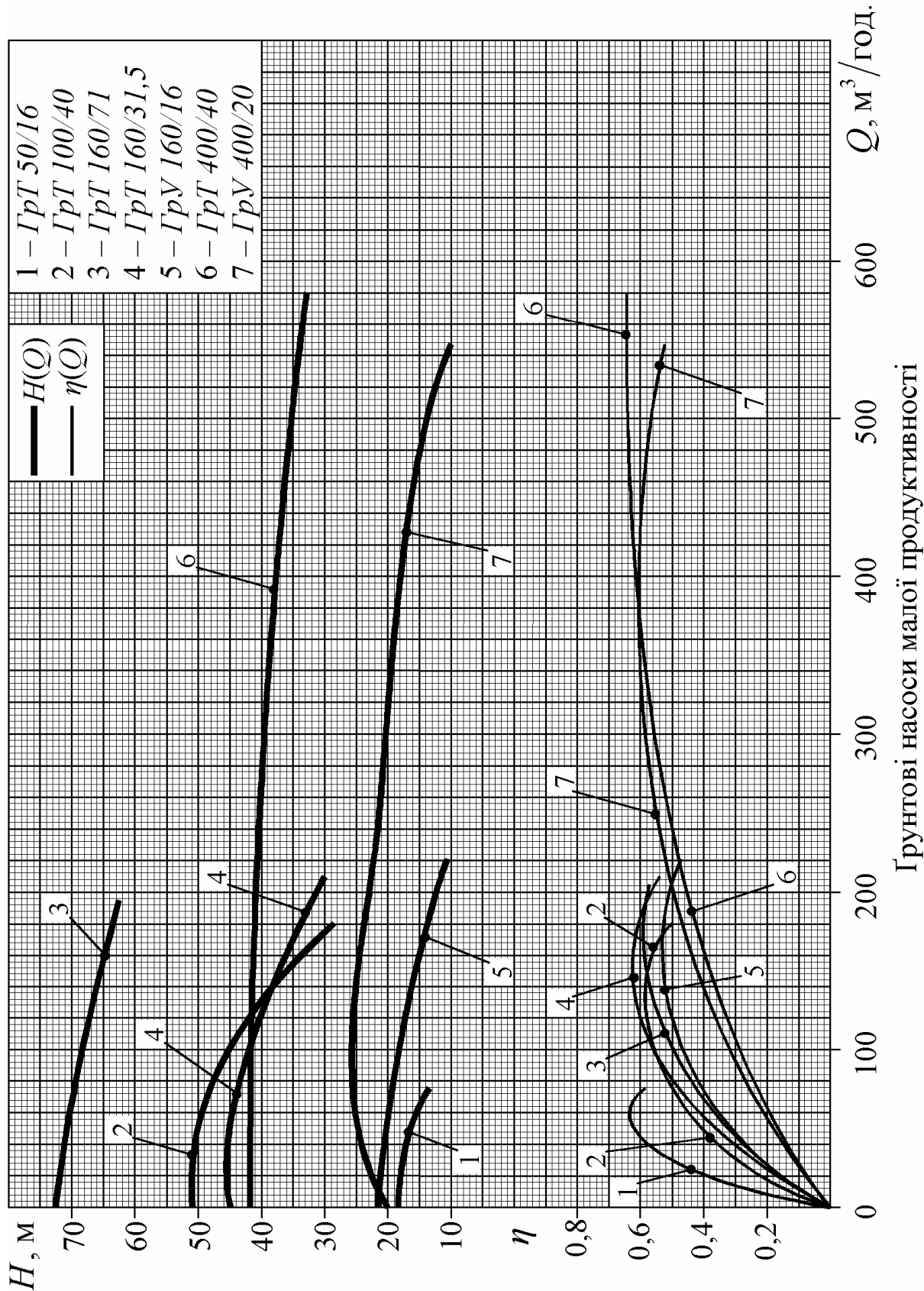
ДОДАТОК Д. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСІВ ТИПІВ К І Д

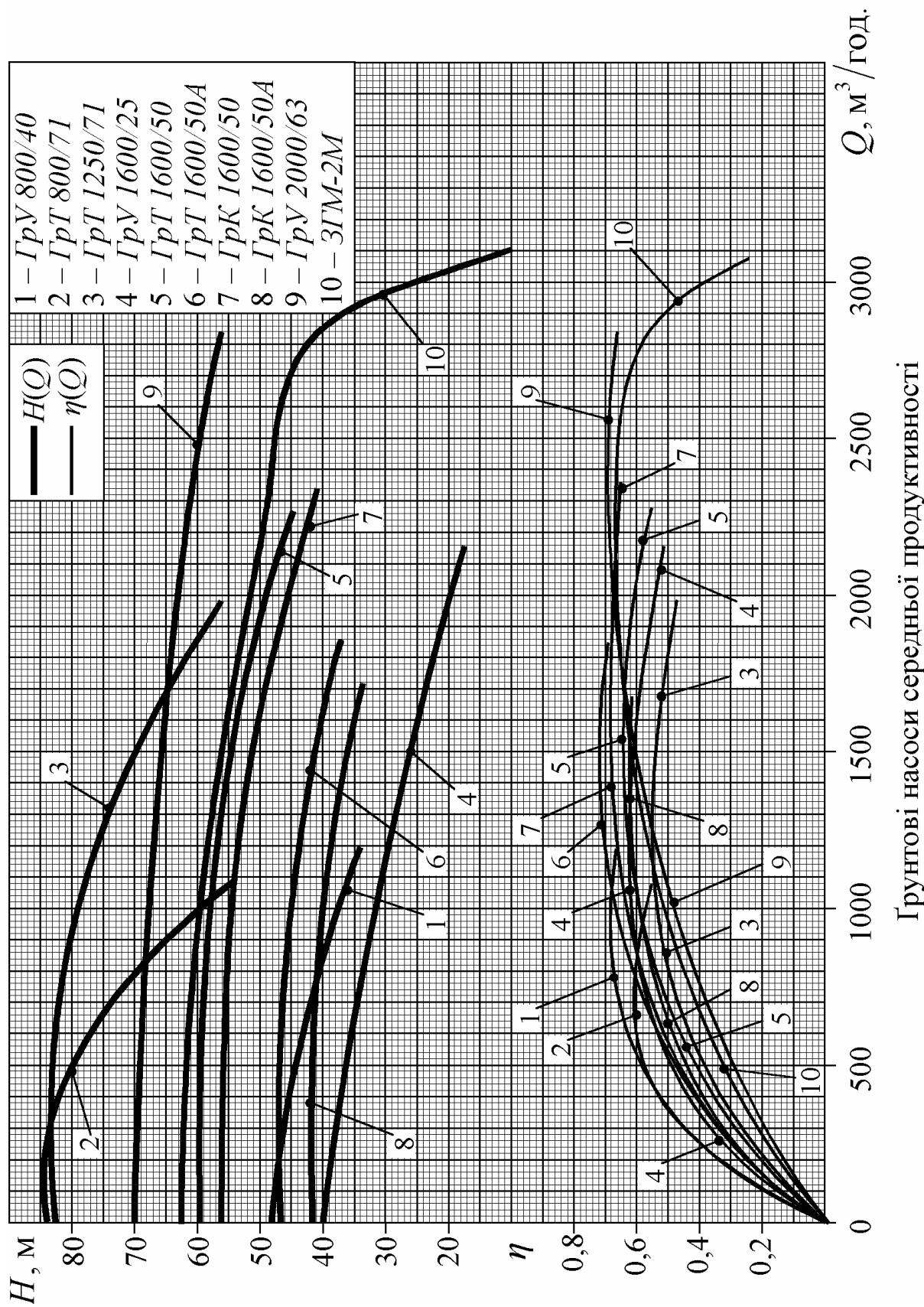
Насос	Частота обер- тання робочого коlesa, хв ⁻¹	Діаметр робочого коlesa, м	Робоча зона по подачі, м ³ /год.	Номинальний напір, м	Кавітаційний запас, м	Напір і к.к.д. насоса $H = H_0 + 10^{-3} a Q - 10^{-6} b Q^2$ $\eta = 10^{-3} c Q - 10^{-6} d Q^2$				
						H_0	a	b	c	d
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K 8/18	2900	128	5...12	19	4,0	20,0	358	57500	102	4630
		115		15		16,0	150	37800	96,8	4490
		105		12		13,0	64,4	31600	94,0	4590
K 20/18	2900	129	12...25	18	4,0	20,0	272	18200	70,2	1790
		118		14		16,5	238	19100	75,7	2147
		106		10		13,0	154	15000	66,6	1757
K 20/30	2900	162	12...25	30	4,0	34,0	168	17600	56,8	1200
		148		25		28,5	116	14000	57,1	1200
		132		19		22,0	137	14700	61,7	1436
K 45/30	2900	168	25...60	30	4,5	34,0	269	7430	29,6	306
		143		19,5		24,0	1491	5600	35,4	440
K 45/55	2900	218	25...60	55	4,5	60,5	214	7680	26,3	263
		195		40		47,5	1931	8250	28,7	327
K 90/20	2900	148	60...120	20	5,5	26,5	88,6	1650	20,4	128
		136		14		21,5	78,7	1770	22,1	152
K 90/35	2900	174	60...120	35	5,5	36,5	214	2680	18,5	109
		163		27		28,5	258	3045	20,6	138
K 90/55	2900	218	60...120	55	5,5	60,0	224	3110	15,9	87,3
		200		43		48,0	227	3130	16,3	96,3
K 90/85	2900	272	60...120	85	5,5	96,5	252	3970	13,7	69,7
		250		75		85,0	249	4095	14,8	83,1
K 160/20	1450	264	120...200	20	4,5	22,5	58,2	437	9,88	30,1
		240		14,5		17,0	71,5	535	10,6	36,4
K 160/30	1450	328	120...200	30	4,5	38,0	59,3	558	10,1	33,0
		310		27		32,0	56,2	562	10,0	34,5
		290		20		25,5	61,1	619	9,94	34,2
K 290/18	1450	268	200...360	18	4,5	20,5	17,0	89,0	6,18	11,4
		250		14		17,0	15,2	84,9	6,40	12,8
K 290/30	1450	315	200...360	30	4,5	33,0	42,7	206	6,00	11,0
		300		21,5		26,0	46,1	222	6,34	12,7

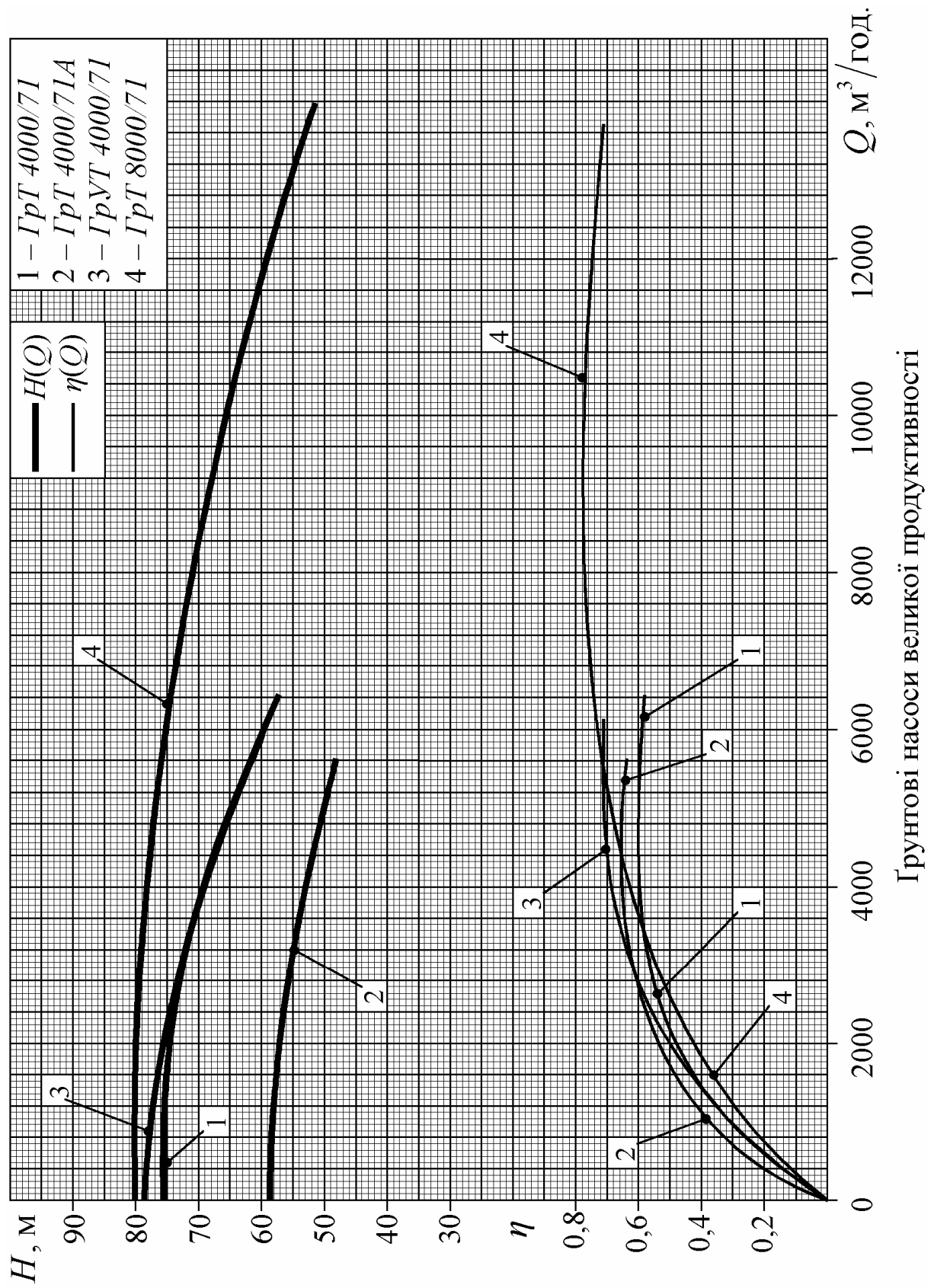
Продовження додатка Д

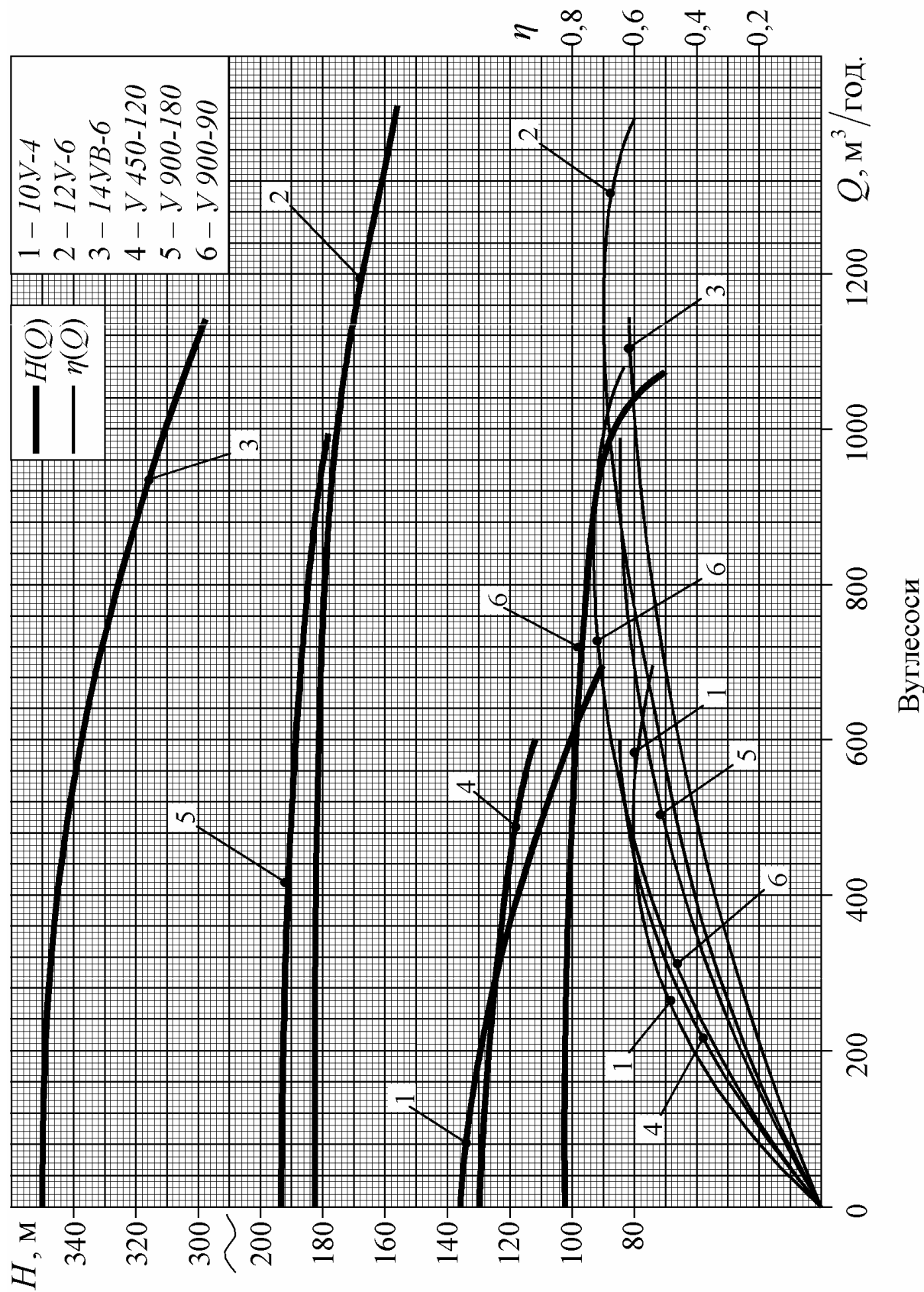
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Д 200-36</i>	1450	350	140...280	36	5,5	37,0	60,6	324	6,98	16,6
		320		28		30,0	57,6	313	7,35	18,9
		300		23		25,5	55,4	319	7,88	22,3
<i>Д 200-95</i>	1450	280	70...120	23	3,5	23,0	133	1320	16,0	89,8
		255		19,8		20,5	125	1325	17,5	108
<i>Д 200-95</i>	2950	280	140...240	95	6,5	101	138	830	7,36	18,9
		255		77		82,0	179	981	7,81	21,6
		240		64		66,0	159	849	8,38	25,2
<i>Д 320-50</i>	1450	405	240...400	50	4,5	54,5	42,0	170	5,26	8,86
		365		37		43,5	50,8	214	5,69	10,8
		340		29		34,5	54,3	227	6,15	13,3
<i>Д 320-70</i>	2950	242	240...400	70	6,0	82,5	41,7	260	5,75	10,6
		220		53		68,5	20,0	226	6,40	13,4
		205		44		58,5	31,3	278	7,21	17,1
<i>Д 500-65</i>	1450	465	350...630	65	4,5	68,5	59,7	127	3,31	3,50
		432		53		56,5	61,3	134	3,47	3,91
		390		40		47,5	56,3	135	3,78	4,68
<i>Д 630-90</i>	960	525	350...550	36	5,0	40,0	22,4	56,2	3,34	3,63
		490		28		31,5	28,2	68,9	3,56	4,11
		450		23		23,0	36,6	81,4	3,80	4,65
<i>Д 630-90</i>	1450	525	500...800	90	6,5	88,0	42,0	62,3	2,29	1,70
		490		76		76,0	41,0	63,3	2,39	1,85
		450		63		62,0	31,2	48,2	2,52	2,05
<i>Д 800-57</i>	1450	432	600...1000	57	4,0	64,5	18,6	36,4	2,18	1,46
		405		47		54,5	24,4	44,2	2,40	1,75
		360		33		43,5	22,0	43,1	2,58	2,04
<i>Д 1250-65</i>	960	460	600...1100	28	4,5	32,0	4,78	12,6	2,18	1,37
		430		22,5		27,0	3,96	12,4	2,36	1,63
		390		17,5		19,0	9,15	13,2	2,48	1,79
<i>Д 1250-65</i>	1450	460	800...1500	65	6,0	70,5	13,5	14,8	1,36	0,529
		430		50		57,0	12,3	14,9	1,52	0,673
		390		38		46,5	11,6	15,5	1,63	0,798
<i>Д 1250-125</i>	1450	625	800...1500	125	5,0	129	31,1	26,7	1,23	0,484
		570		98		101	32,6	27,5	1,32	0,557
		535		83		86,0	38,4	33,0	1,41	0,647
<i>Д 1600-90</i>	960	540	800...1400	40	5,0	46,5	6,07	11,1	1,57	0,707
		515		36		42,0	7,32	12,4	1,64	0,768
		460		26		29,5	8,16	11,3	1,77	0,916
<i>Д 1600-90</i>	1450	540	1200...2000	90	7,0	104	10,5	12,7	1,11	0,362
		515		75		95,0	8,04	12,1	1,21	0,431
		460		58		76,0	8,10	12,0	1,37	0,553
<i>Д 2000-21</i>	730	460	1000...1600	14	3,5	18,5	0,54	2,79	1,21	0,426
		425		10		15,0	0	2,68	1,39	0,581
<i>Д 2000-21</i>	980	460	1400...2400	21	5,0	31,0	0	2,21	0,95	0,263
		425		14		26,0	1,10	3,49	1,00	0,300

ДОДАТОК Е. ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТОВИХ НАСОСІВ І ВУГЛЕСОСІВ









ДОДАТОК Ж. ЕЛЕКТРОДВИГУНИ

Марка двигуна	Частота, об/хв.	Потужність, кВт	Марка двигуна	Частота, об/хв.	Потужність, кВт
1	2	3	4	5	6
АО-62-4	1450	10	4АН315М6У3	980	160
4А132М4	1450	11	4АН355М6У3	980	250
АО-61-4Т	1450	13	А-12-49-6	980	250
4А160 4	1450	15	ДА304-400Х-6У3	980	315
А71-4	1450	20	А-13-46-6	980	400
4А180М4	1450	30	А4-450Х-463	980	630
4АМ200М4	1450	37	ДА304-450У-6У3	980	630
АО2-81-4	1450	40	4А280 6	835	75
4А225М4	1450	55	4АН280 6У3	835	90
4АМ250 4У3	1450	75	4АН280М6У3	835	110
4А250 4	1450	90	4А250М6	725	55
4А280 4	1450	110	4А315М8	725	110
4А315 4У3	1450	160	4АН315 6У3	725	132
4А315 4	1450	160	АК113-8	725	200
А114-4М	1450	320	А-12-42-8	725	250
А4-400ХК-4У3	1450	400	А-13-42-8	725	400
ВА02-550L8-4	1450	700	АК-13-52-8	725	500
4АМ200М4У3	1200	37	СД-13-52-8 *	750	575
4АМ225М4У3	1200	55	АН2-15-69-8	725	1000
4АМ160М6	980	15	ДА304-450Х-10У3	580	250
4А225М6	980	37	АКН14-46-10	580	630
АО-93-6	980	55	АКН2-15-69-10	580	800
А0101-6	980	100	СДН3-16-41-12 *	500	1250
4А315 6	980	110	СДН3-16-51-12 *	500	1600
А102-6	980	125	СДУ-18-54-16-2 *	500	3200
4АН315 6У3	980	132			

* синхронні електродвигуни

ДОДАТОК 3. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕСОРІВ

Тип компресора	Продуктивність, мЗ/хв.	Кінцевий тиск (надлишковий), МПа	Маса, кг	Габарити, мм
КВД-М	0,166	6,1	80	335×330×590
ПКСД-5,25А	5,25	0,7	1700	3850×1830×2200
202ВП-10/8	10	0,8	1434	1300×1655×1350
2ВП-10/8	10	0,8	1400	1600×950×1550
302ВП-10/8	10	0,8	1340	1650×1200×1610
2ВМ4-15/25	15	2,5	5250	2975×2085×2420
305ВП-20/35	20	3,6	3770	2665×1810×2465
ВПЗ-20/9	20	0,87	4800	2370×1670×2230
2ВМ4-24/9	24	0,78	2450	2685×1000×1550
2ВМ4-25/9	25	0,9	3950	2685×1675×2130
2ВМ4-27/9	27	0,9	5000	3000×1485×2100
305ВП-30/8	30	0,8	3770	2395×1810×2490
ВП-30/8	30	0,8	4500	2405×1700×2400
7ВКГ-30/7	30	0,68	6650	5183×1452×2138
7ВВ-32/7	32	0,7	3866	3590×1220×2310
305ГП-40/3	36	0,3	6385	3140×1810×2580
2ВМ4-48/3	48	0,3	3500	2770×1485×1150
ВП-50/8	50	0,8	7530	3100×1590×3010
2М10-50/8	50	0,8	5100	4470×1840×3030
7ВКМ-50/8	50	0,8	10980	4900×2535×2085
ПВ-50	50	0,8	11580	6460×2800×3060
4М10-100/7	100	0,8	12070	3220×4426×1465
К-250-61-1 *	250	0,9	—	—
К-350-62-1 *	370	0,7	—	—
К-500-61-1 *	525	0,9	—	—

* турбокомпресори

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

БОЙКО Микола Григорович, д-р. техн. наук, проф.,
МОРГУНОВ Віктор Михайлович, канд. техн. наук, доц.,
КОЗИРЯЦЬКИЙ Леонід Микитович, канд. техн. наук, доц.,
ФЕДОРОВ Олег Васильович, канд. техн. наук, доц.

Гідромеханізація

Навчальний посібник
(українською мовою)

Редакційно-технічне оформлення,
комп'ютерна верстка *О. В. Федоров*

Підписано до друку 04.07.2011 р. Формат 60×84 1/16 .

Папір PolSpeed. Друк різнографічний.

Ум. друк. арк. 32,2. Обл. вид. арк. 40,5.

Тираж 300 прим. Замовл. №

Видавництво ДВНЗ «ДонНТУ»

Україна, 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58. Тел.: (062) 301-03-04

Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи:
серія ДК №2982 від 21.09.2007.

Надруковано в типографії ДВНЗ «ДонНТУ», 83000, м. Донецьк, вул. Артема,
58, 9-й учбовий корпус, тел.: (062) 301-09-67