

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Кафедра електромеханіки і машинобудування

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

« _____ » _____ 20 ____ р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА

УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ЗАСОБІВ ГІРНИЧИХ
МЕХАНІЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Виконав студент 2 курсу, групи ГЕМ_м-20

(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Перепелиця М.Ю.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник, професор, д.т.н. Гого В.Б.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензенти _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі
 немає запозичень з праць інших авторів без
 відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Покровськ - 2021

АНОТАЦІЯ

Перепелиця М.Ю. Удосконалення гідродинамічних засобів гірничих механізованих комплексів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

В роботі обґрунтовано нове рішення актуальної науково-технічної задачі з удосконалення гідродинамічних та електромеханічних засобів, що поєднані в роботі гірничих механізованих комплексів (ГМК) в складних умовах глибоких вугільних шахт, на основі застосування мехатронних засобів контролю і регульованих електроприводів для енергозбереження в системах керування комплексом видобутку вугілля.

В роботі викладено аналіз перспектив розвитку вугільної галузі в Україні та світі, а також напрями удосконалення засобів гірничих механізованих комплексів. Приведено схеми мехатронного керування ГМК і принципи гідро - та електродинамічного функціонування засобів переміщення комплексу у вугільній лаві з визначенням послідовності та описом енергетичних складових технологічних операцій з контролем регульованих електроприводів для енергозбереження в системах керування комплексом.

В матеріалах роботи приведено основні енергетичні і параметричні характеристики гідродинамічних та електромеханічних засобів, поєднаних в гірничих механізованих комплексах, що дозволяють оперативно контролювати робочі стани ГМК, наприклад в процесах переміщення рештаків конвеєру. Надано аналітичне обґрунтування параметрів електродинамічних та мехатронних засобів для автоматизації видобутку вугілля. Проаналізовано вибір раціональних конструкцій контролюючих пристроїв і датчиків для мехатронного керування роботою гідродинамічних засобів ГМК, а також шляхи зменшення витрат електричної енергії видобувним комплексом завдяки регульованим електричним приводам.

Практичне значення отриманих результатів випускної роботи та її рекомендацій полягає у тому, що на підставі виявлених закономірностей поєднаної роботи гідро – електромеханічних засобів ГМК, стає можливим раціональне розроблення мехатронної системи та вибір датчиків для повної автоматизації усіх технологічних процесів видобутку вугілля, з оптимальним витратами електричної енергії. Результати випускної роботи можуть бути застосовані у перспективних планах модернізації вугільних шахт України.

Ключові слова: вугільна шахта, гірничі механізовані комплекси, гідродинамічні, електромеханічні, мехатронні засоби, електронні датчики.

SUMMARY

Perepelytsia M. Improvement of hydrodynamic means of mining mechanized complexes / Final qualification work for obtaining the educational degree "Master" in the specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics". - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The new solution of the actual scientific and technical problem on improvement of hydrodynamic and electromechanical means combined in work of mining mechanized complexes (MMC) in difficult conditions of deep coal mines, on the basis of application of mechatronic means of control and management of a complex for increase of efficiency of expenses of electric energy is proved. processes of mechanized coal mining.

The paper presents an analysis of the prospects for the development of the coal industry in Ukraine and the world, as well as areas for improving the means of mining mechanized complexes. Schemes of mechatronic control of MMC and principles of hydro - and electrodynamic functioning of means of moving of a complex in a coal lava with definition of sequence and the description of power components of technological operations are resulted.

The main energy and parametric characteristics of hydrodynamic and electromechanical means combined in mining mechanized complexes are given in the materials of the work, which allow to operatively control the working states of MMC, for example in the processes of conveyor residue movement. Analytical substantiation of parameters of electrodynamic and mechatronic means for automation of coal mining is given. The choice of rational designs of control devices and sensors for mechatronic control of hydrodynamic means of MMC, as well as ways to reduce electricity consumption are analyzed.

The practical significance of the obtained results of the final work and its recommendations is that based on the identified patterns of combined work of hydro - electromechanical means of MMC, it becomes possible to rationally develop a mechatronic system and select sensors for full automation of all coal mining processes with optimal electricity consumption. The results of the final work can be used in long-term plans for the modernization of coal mines in Ukraine.

Key words: coal mine, mining mechanized complexes, hydrodynamic, electromechanical, mechatronic means, electronic sensors.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВУГІЛЛЯ В СВІТІ	10
1.1. Загальний аналіз видобутку вугілля та його перспективи.....	10
1.2. Можливості вугільних шахт України та світу.....	20
2. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГІРНИЧИХ МЕХАНІЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ	26
2.1 Обґрунтування напрямів удосконалення гідравлічних та електромеханічних систем комплексів	26
2.2 Сутність інноваційної технології мехатронного удосконалення переміщеннями секції кріплення та конвеєру ГМК.....	41
2.3. Принципова структура мехатронної системи переміщення конвеєру з адаптивною системою керування комплексом	44
3. УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ ГІРНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ	49
3.1. Напрями розвитку і вдосконаленням гідравлічних та електромеханічних приводів гірничих комплексів.....	49
3.2. Оцінка енергозберігаючих заходів та їх результати стосовно шахтних механізованих комплексів	54
3.3. Регульований електропривід як засіб енергозбереження в гідравлічних системах ГМК	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	91
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	93

ВСТУП

Актуальність випускної кваліфікаційної роботи магістерського рівня за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за означеною тематикою зумовлено такими об'єктивними обставинами.

Прогрес всіх сфер життя в Україні неможливий без корінної модернізації паливного енергетичного комплексу держави, основою якого є вугільна промисловість, що сконцентрована в Донбасі.

Видобуток вугілля в Україні, та його переробка й використання потребують значної частини електричної енергії, що виробляється в державі. На долю вугілля припадає третинна енергетичних генерацій, але кінцева якість процесів оцінюється з урахування ефективності горіння вугілля, що видобувається гірничими механізованими комплексами (ГМК). Добута з глибин шахти вугільна маса, містить у своєму складі компоненти, що погіршують якість горіння вугілля і утворюють попіл і шкідливі сполуки, які забруднюють довкілля. Тому зольність вугільної гірничої маси треба знижувати, що потребує якісної роботи гірничих механізованих комплексів в процесі видобутку вугілля з пластів без присічи порід.

Технології механізованого видобутку вугілля в шахтах на основі ГМК потребують значних витрат електричної енергій на потужні приводи та автоматизацію відповідних виробничих процесів, які багато в чому залежать функціональної роботи гідравлічних та електромеханічних засобів, що забезпечують переміщення комбайну та інших об'єктів комплексу.

Тому випускна кваліфікаційна робота на отримання ступеню «Магістра» за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», яка спрямована на удосконалення гідродинамічних та електричних засобів, головним чином приводів та маніпуляторів ГМК в

умовах вугільної шахти, є актуальною задачею, як у науковому так і практичному плані.

Об'єкт дослідження – системи поєднаних гідродинамічних та електромеханічних засобів ГМК вугільної шахти.

Предмет дослідження – енергетичні характеристики і показники функціонально поєднаних гідродинамічних та електромеханічних засобів ГМК з мехатронними засобами контролю і регульованим електроприводом для енергозбереження.

Ідея роботи полягає у тому, що для удосконалення поєднаних гідродинамічних та електромеханічних засобів ГМК в умовах вугільної шахти залучаються можливості мехатроніки з повною автоматизацією усіх відповідних головних та допоміжних технологічних процесів з обґрунтованими раціональними параметрами та застосуванням регульованих електроприводів для енергозбереження в системах ГМК.

Зрозуміло, що означене удосконалення гідродинамічних та електромеханічних засобів ГМК з повною автоматизацією технологічних процесів, створює умови для підвищення ефективності праці гірників та рентабельності всієї вугільної шахти.

Мета дослідження магістерської роботи: обґрунтувати складові і основні технічні показники удосконалення гідродинамічних та електромеханічних засобів ГМК на основі мехатроніки та повної автоматизації усіх технологічних процесів.

Для досягнення означеної мети виконано низку таких завдань.

1. Здійснити науково-технічний аналіз джерел інформації стосовно досліджуваного питання з проблем механізованого видобутку вугілля в Україні та світі.
2. Проаналізувати недоліки існуючих гідравлічних та електромеханічних приводів гірничих комплексів.

3. Обґрунтувати технічні принципи удосконалення гідравлічних та електромеханічних приводів ГМК вугільної шахти на основі автоматизації, використання мехатронних засобів та електронного управління.

Методи дослідження. В основу загальної методики магістерської роботи, як цільового дослідження, покладено системний підхід до аналізу процесів автоматизації технології ГМК на основі застосування гідравлічних та електромеханічних приводів з процесорами, а також фундаментальні положення і методологічні засади з електродинамічних та електромагнітних явищ і основ електромеханічної роботизації та мехатроніки стосовно гірничої електромеханіки.

Новизна отриманих результатів

1. Обґрунтовано електромеханічну сутність та технічну доцільність удосконалення гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК на основі мехатроніки та автоматизації, що підвищує ефективність видобутку пластового вугілля з глибоких шахт.

2. Викладено аналітично межі визначення основних гідродинамічних та електромеханічних характеристик, що необхідні як функціональні параметри пристроїв – датчиків, процесорів, електродинамічних маніпуляторів-приводів для автоматизації мехатронної системи переміщення ригів ГМК, що реалізує ідею дослідження у напрямку досягнення його мети.

3. Визначено, що удосконалення гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК дозволяє підвищити ефективність механізованого видобутку вугілля із зниженням загальних витрат електричної енергії мехатронними засобами та застосуванням регульованих електроприводів для енергозбереження в системах комплексу.

Новизну роботи розкривають такі твердження:

- визначено, що удосконалення гідродинамічних та електромеханічних приводів ГМК на основі мехатронних засобів та автоматизації є доцільним та ефективним в умовах вугільних шахт із застосуванням регульованих електроприводів для енергозбереження в системах комплексу;
- встановлено, що електронні датчики дозволяють оперативно контролювати роботу ГМК і виявляти умови для переміщення конвеєру;
- проведено аналітичне обґрунтування електронних датчиків і параметрів електродинамічних, електронних та комп'ютерних засобів для автоматизації гідродинамічних засобів ГМК;
- запропоновано датчики електронного контролю гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК, що підвищують його ефективність.

Обґрунтованість і достовірність висновків та рекомендацій, отриманих в магістерській роботі, забезпечується використанням відомих методів математичного моделювання електродинамічних процесів і достатнім обсягом матеріалу, отриманого при інформаційному аналізі досліджуваних питань гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі закономірностей гідравлічних та електромеханічних процесів ГМК, обґрунтовано параметри мехатронних та електромеханічних пристроїв, що дозволяють удосконалити роботу комплексу і отримати вагомий виробничий ефект з видобутку вугілля.

Особистий внесок автора дипломної кваліфікаційної роботи магістерського ступеню полягає в обґрунтуванні актуальності науково-технічної задачі з удосконалення гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК; у постановці мети і завдань дослідження, в розробці загальної методичної структури пошуку рішень, в аналізі електромеханічних та інформаційних складових досліджуваних процесів у виборі методів роботи, в формулюванні висновків та наукової новизни.

Структура та обсяг роботи. Дипломна робота складається зі вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел інформацій з 31 найменувань. Робота містить 33 рисунки. Загальний обсяг роботи 96 сторінок друкованого тексту, у тому числі 89 сторінки основного тексту.

Автор вважає своїм обов'язком висловити щиру подяку співробітникам кафедри електромеханіки та машинобудування ДонНТУ за науково-технічні консультації у процесі підготовки дипломної роботи.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВУГІЛЛЯ В СВІТІ

1.1. Загальний аналіз видобутку вугілля та його перспективи

Вугільна промисловість України та багатьох країн світу є однією з найважливіших галузей економіки та енергетичної незалежності. Значення вугілля для економіки України в останній час знижується головним чином через негативний вплив на довкілля та переходу розвинутих країн на альтернативні екологічні джерела енергії. Однак використання вугілля в енергетиці України в кілька разів дешевше природного газу, що дозволяє вугледобувним підприємствам нарощувати виробництво вугілля в періоди зростання цін на нафту і, відповідно, на вугілля. Впровадження в нашої державі сучасних технологій в галузі переробки і використання вугілля дозволяє зробити вугілля майже «чистим» джерелом енергії. Крім того, зростають обсяги використання вугілля в металургії та отриманні різних матеріалів.

Під впливом технологічних трендів і цінових трансформацій, що проявилися на глобальному і регіональних ринках енергоносіїв, світовий видобуток вугілля в 2017 р склала близько 7,6 млрд т, що в 1,6 рази більше, ніж у 2000 р [1]. У порівнянні з рівнем 2013 р, коли був досягнутий «пік» світового видобутку вугілля - понад 8 млрд т вугілля, відбулося падіння видобутку вугілля на 5,6% в 2017 р спостерігалось в період з 2014 по 2016 р зниження рівня світового видобутку вугілля відбувалося на тлі погіршення кон'юнктури вугільного ринку. Однак, починаючи з другої половини 2016 р ситуація на цьому ринку стала поліпшуватися. Ціни на нафту, а за нею і ціни на вугілля почали зростати, внаслідок чого відновилося зростання видобутку вугілля в світі [2]. Загальні доведені запаси вугілля в світі, за станом на початок 2018 р становлять 1035,0 млрд т [3]. При поточному рівні річного

видобутку вугілля в світі цього обсягу запасів вугілля вистачить приблизно на 150 років, однак з урахуванням широкого поширення «зеленої» енергетики в розвинених країнах світу, що розвиваються можуть бути забезпечені вугіллям на набагато більший період.

Світовими лідерами з виробництва вугілля за підсумками 2017 р є: Китай (частка в світовому обсязі видобутку вугілля - 44,6%), Індія, яка перемістилася на II місце (9,6%), потіснивши США (9,3%), які тепер на III місці; Австралія (6,6%), що зайняла IV місце; Індонезія (6,4%) - V місце. Росія зберегла VI місце в світі з видобутку вугілля, її частка склала 5,4% (у 2000 р - 5,5%), що вище, ніж рівень, досягнутий в період з 2004 по 2017 г. (близько 4%). Видобуток вугілля в РФ в 2017 р склала 408,1 млн т (темپ зростання до рівня 2000 року - 158,3%).

У період з 2000 по 2019 р під впливом технологічних і цінових трендів у світовій вугільній промисловості відбулися наступні структурні зміни:

- в Китаї, Індії, Індонезії видобуток вугілля росла високими темпами, що дозволило до кінця періоду зайняти їм частку ринку, що дорівнює 60,7%, що на 22,9% більше, ніж у 2000 р. Таке зростання виробництва вугілля був забезпечений в основному за рахунок збільшення внутрішнього попиту, зокрема в електро- і теплоенергетиці, а також в машинобудуванні.
- в Австралії, Росії, Казахстані та ПАР, де зростання видобутку вугілля забезпечувався в основному за рахунок збільшення експорту вугілля, виробництво вугілля зросло в сукупності на 46,9%, однак частка цих країн на світовому ринку в 2019 р знизилася до 16,8 % в порівнянні з 18,8% в 2000 р .;
- в США, Німеччині, Польщі обсяг видобутку вугілля в 2017 р впав в цілому на 25% в порівнянні з рівнем 2000 р насамперед за рахунок скорочення використання вугілля в електроенергетиці внаслідок переходу до «зелених»

технологій. При цьому частка цих країн на світовому ринку скоротилася більш ніж в 2 рази і склала в 2017 р 13,3%.

В останні роки в Україні та багатьох країнах світу намічається або вже відбувається зниження темпів виробництва вугілля. Так, в Китаї, де частка вугілля в енергобалансі країни за підсумками 2017 р становить близько 65%, цей показник до 2020 р згідно п'ятирічному плану розвитку, планується знизити до 62%. У 2019 році в КНР, де видобуто близько 3,4 млрд т вугілля (в 2,5 рази більше, ніж у 2000 році, але на 9,9% менше рівня 2013), спостерігається профіцит палива на внутрішньому і зовнішньому ринках. Це пов'язано з тим, що темпи зростання економіки Китаю сповільнилися, в т.ч. в металургії та електроенергетиці, де намітився надлишок їх потужностей, тому більше 70% всіх вугільних компаній країни виявилися збитковими (рис. 1.1).

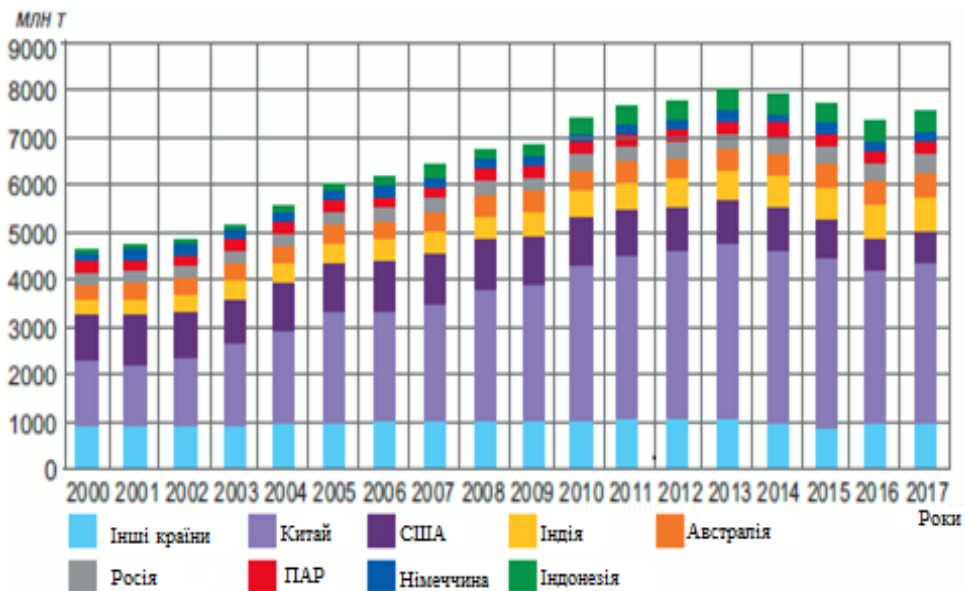


Рис. 1. 1 Діаграма видобутку вугілля у світі за період 2000-2017рр.

Слід зазначити, що ще в 2014 р в КНР було прийнято рішення щодо обмеження видобутку неякісного вугілля: було рекомендовано добувати

вугілля з вмістом сірки не більше 2%, зольністю - не вище 30%, питомою теплотою згоряння - не менше 4300 ккал / кг. У 2015 році було вирішено також обмежити обсяг видобутку і споживання вугілля в країні на рівні не більше 3,9 млрд т на рік. Щоб скоротити обсяги викидів двоокису вуглецю в атмосферу, в 2017 р в Китаї введено екологічний податок, який також способуватиме зниженню споживання вугілля.

У 2016-2018 рр. Уряд КНР здійснило подальшу реорганізацію вугільної галузі шляхом:

- 1) скорочення виробництва вугілля, за оцінками, не менше ніж на 20%. Закрито близько 4300 застарілих шахт (з раніше діяли 11 000 шахт) і переселено близько 1 млн осіб;
- 2) заморожки нових вугільних проектів;
- 3) встановлення більш високих значень для масштабів виробництва вугілля;
- 4) заохочення злиття компаній для формування промислових конгломератів;
- 5) реалізації проектів по отриманню газу метану з вугілля; На ці цілі КНР у 2016-2018 рр. інвестувала близько 4,6 млрд дол. США.

У 2018–2019 роках. Китай має намір вивести з експлуатації понад 300 МВт енергоблоків, які працюють на вугіллі. Цьому сприятиме поступовий перехід країни на газову генерацію у зв'язку із введенням в експлуатацію у грудні 2019 р. газопроводу «Сила Сибіру», який дозволить КНР до середини 2020 р. вийти на проектну потужність – 38 млрд м³ на рік [4].

В Індії – країні, яка не тільки видобуває вугілля, а й заповнює свої потреби за рахунок імпорту вугілля з інших країн, у перспективному періоді можливе зростання виробництва вугілля. У 2017 р. видобуток вугілля в Індії склав 729,8 млн т, а споживання вугілля – 941,6 млн т, брак обсягу вугілля

поповнюється за рахунок імпорту. Очікується, що до 2021-2022 років. дефіцит вугілля в Індії не перевищить 265 млн. т. При цьому обсяг власного видобутку вугілля може зрости до 1,1–1,5 млрд т, яке споживання – до 1,5 млн т, попри вимоги екологічного саміту у Парижі – знизити глобальні викиди вуглеводню в атмосферу [5, 6]. Тому в період до 2020 р. і надалі основним драйвером зростання видобутку вугілля у світі буде Індія, де цей енергоресурс ще багато років залишиться основним джерелом електрогенерації, з нього одержують близько 62% усієї електроенергії в країні.

У США, через значне виробництво сланцевого газу в останні роки і падіння цін на вугілля на світовому ринку, зниження виробництва вугілля продовжиться. У країні закрито багато нерентабельних шахт, що призвело до падіння обсягу видобутку вугілля з 1075,9 млн т у 2008 р. («піка» видобутку вугілля в США) до 702,3 млн т у 2017 р. Виробництво електроенергії на вугільних ТЕС падає. Так, якщо у 2015 р. 36% електроенергії в США вироблялося на вугільних ТЕС (10 років тому – близько 50%), то найближчими роками, за прогнозами, від 60 до 83 ГВт (із сумарних 310 ГВт) потужностей вугільних станцій буде закрито .

У контексті паливної конкуренції «газ – вугілля» посилення екологічних норм означає, що газова генерація виграватиме ринок у вугільній генерації навіть за більшої, ніж нині, ціни газу.

В Австралії в період з 2000 по 2017 роки. обсяг видобутку вугілля становило 63,4%. Основними факторами зростання виробництва вугілля в Австралії є: збільшення видобутку вугілля в одній з найбільших компаній у країні – «ВМА» (штат Квінсленд), а також введення в експлуатацію низки нових шахт та розрізів, де гірничі роботи здійснюються на глибині 60–120 м, з високим ступенем комплексної механізації праці [7, 8]. З другої половини 2016 р. за зростанням цін на нафту почали зростати і ціни на вугілля, що

призвело до стабілізації ситуації у вугільній галузі Австралії. Надалі за сприятливої кон'юнктури на світовому ринку зростання видобутку вугілля в країні може продовжитися.

В Індонезії, яка збільшила видобуток вугілля в період з 2000 по 2017 р. більш ніж у 6 разів, власне споживання вугілля становить лише 20% від обсягу видобутку вугілля в країні. Решта вугілля, що видобувається в Індонезії, поставляється на експорт. Щоб стимулювати попит на вугілля у власній країні, уряд Індонезії підвищує ставки експортного мита на вугілля залежно від його якості.

Найближчими роками можливе подальше зростання обсягів виробництва вугілля в Україні, попре певних політичних заяв щодо скорочення видобутку.

Слід зазначити, що у 2017 р. обсяг споживання вугілля збільшився після різкого падіння протягом трьох попередніх років, при цьому світовий видобуток вугілля зріс більш ніж на 3%, що стало найшвидшим темпом зростання з 2011 р. Проте загалом частка вугілля у первинному балансі енергоресурсів впала до 27,6%, що є найнижчим показником, починаючи з 2004 р. [13] (рис.1. 2).

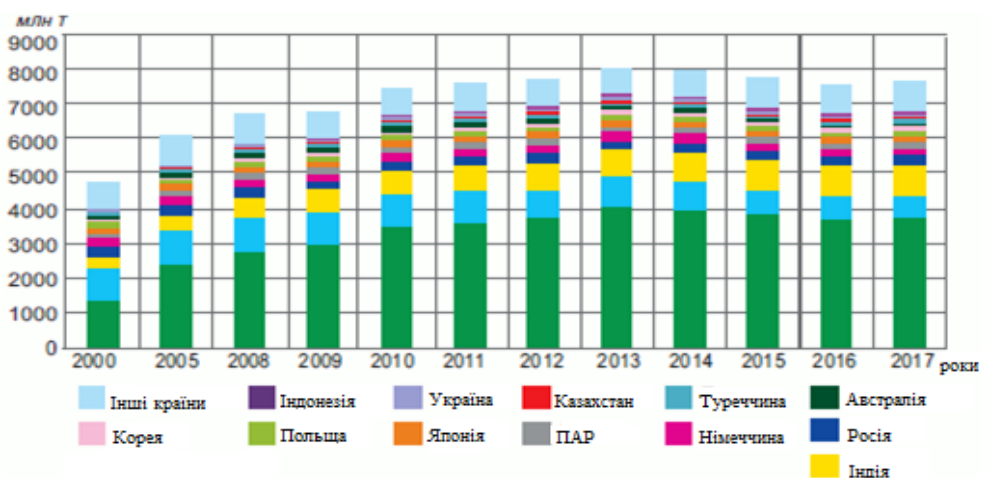


Рис.1.2 Діаграма використання вугілля в світі у 2000-2017рр

Наприклад, в Росії в період з 2000 по 2017 р. видобуток вугілля зріс - з 258,4 млн т до 408,9 млн т, що дозволило їй зайняти шосте місце у світі [9]. При існуючому рівні виробництва вугілля промислових запасів вугілля у Росії буде більш ніж 50 років, а доведених запасів вугілля – більш як 400 років. Більшість вугілля у Росії нині виробляється у Кузнецьком басейні, і навіть на родовищах Східного Сибіру та Далекого Сходу. Сумарна частка Печорського, Донецького, Підмосковного басейнів, уральського вугілля та інших родовищ в останні роки системно знижувалася, і в даний час на частку цих басейнів, як менш рентабельних, припадає менше 7% від усього обсягу вугілля, що видобувається.

Споживання вугілля у 2017 р. становило близько 7,6 млрд т, що на 5,2% менше, ніж у 2013 р. («піка» споживання вугілля у світі). Падіння обсягу споживання вугілля у світі можна пояснити зниженням попиту на енергетичне вугілля останніми роками, тоді як попит на коксівне вугілля, навпаки, зріс.

Лідерами за обсягом споживання вугілля у світі за підсумками 2017 р. є: Китай (частка у світовому споживанні вугілля – 48,1%), Індія (12,4%), США (8,4%), Росія (3,2%) , Німеччина (2,5%), Японія (2,5%), ПАР (2,4%), Південна Корея (2,0%), Польща (1,8%), Туреччина (1,5%) , Індонезія (1,3%), Казахстан (1,0%), Австралія (0,8%), Україна (0,6%).

Основний внесок у негативну динаміку зростання світового попиту на вугілля зробив Китай, який забезпечує близько половини від світового обсягу його споживання. Частка використання вугілля в енергобалансі країни у 2017 р. становила близько 65%, до 2020 р. планується її падіння – до 62%.

Однак вимоги до роботи теплових електростанцій у Китаї посилюються і затверджуватимуться лише надвеликі станції (потужністю від 600 МВт) і лише на критичних параметрах пари. До 2020 р. уряд КНР має намір обмежити встановлену потужність вугільних станцій країни граничним

рівнем 1,1 тис. ГВт. У зв'язку з цим вже на початку 2017 р. будівництво затверджених раніше 85 нових станцій було відкладено, а у липні Національна енергетична адміністрація КНР призупинила будівництво 185 вугільних станцій загальною потужністю 107 ГВт. Станом на жовтень 2018 р. їх кількість була скорочена до 151 станції та 95 ГВт. Слід зазначити, що з кінця 2013 р. зростання виробництва електроенергії в КНР забезпечується переважно за рахунок відновлюваних джерел енергії [14].

Тому очікувати істотного зростання обсягу поставок російського вугілля в Китай треба з великою обережністю, незважаючи на те, що ціни на вугілля, що коксується, в 2019 р., за прогнозами, можуть зрости внаслідок скорочення щорічного виробництва коксу в вугледобувній провінції Шаньсі з довгострокової програми проти забруднення повітря [2.3].

На багатьох електростанціях скоротили використання вугілля у зв'язку з набуттям чинності нових екологічних стандартів. Призупинено видачу ліцензій на розробку нових вугільних родовищ на федеральних землях, на які припадає близько 40% від усього обсягу видобутку вугілля в країні. Крім того, американські компанії, що генерують, все більше перемикаються на дешевий сланцевий газ. У зв'язку зі «сланцевою» революцією у США, виробництвом та споживанням усередині країни великої кількості сланцевого газу споживання вугілля у США у 2017 р. впало до 640,7 млн т.

Внаслідок впровадження в європейських країнах «Схеми торгівлі квотами на викиди парникових газів» у перспективному періоді обсяги внутрішнього споживання кам'яного вугілля в Європі можуть скоротитися. Однак у деяких країнах ЄС кількість виготовленої енергії на вугільному паливі зростає. Пояснити це можна тим, що багатьом європейським країнам вигідніше використовувати нехай і «брудне», але дешевше американське вугілля з високим вмістом сірки, ніж «чисте», але дорожче російський газ. В останні роки природний газ дорожчав, і тому багато країн ЄС почали

переходити на вугілля. Найближчими роками обсяг видобутку вугілля у країнах ЄС, за прогнозами, залишатиметься на досягнутому рівні, незважаючи на зростання застосування альтернативних джерел енергії [17].

У Німеччині споживання вугілля у 2017 р. знизилося на 21,2% порівняно з рівнем 2000 р. Однак, якщо раніше виробництво одного мегавата електроенергії, за даними Bloomberg, завдавало німецьким компаніям збитків у розмірі 12 євро, то після переходу на вугілля, вони стали отримувати прибуток у 14 євро. При цьому все зниження викидів парникових газів, якого домоглася Німеччина впровадженням вітряних установок, було відразу «з'їдено» за рахунок різкого стрибка споживання бурого вугілля, одночасно падіння споживання кам'яного вугілля. У ФРН розроблено програму поетапного скорочення споживання вугілля, у тому числі на електростанціях, з поступовою заміною його природним газом.

У зв'язку із закриттям у 2018 р. двох шахт, що добувають кам'яне вугілля, прогнозують, що протягом найближчих 20 років, а може бути і раніше, у ФРН зможуть повністю відмовитися від використання і бурого вугілля.

В Індії та країнах АСЕАН, за нашими прогнозами, у перспективному періоді можливе подальше зростання обсягів споживання вугілля. Проте Міністерство енергетики Індії оголосило, що до 2027 р. країна не потребуватиме нових станцій, що працюють на вугіллі, з урахуванням існуючих чи вже заявлених проєктів [18].

Незважаючи на плановане зростання обсягу виробництва вугілля до 2020 р. до 1,5 млрд т, Індія в перспективному періоді ширше використовуватиме, крім вугілля, і відновлювані джерела енергії. Проте в даний час вартість використання енергії Сонця та вітру в Індії перевищує вартість використання вугілля у 2 рази [19].

Зростання споживання вугілля протягом наступного десятиліття можливе і в ряді країн Близького Сходу, де загальна потужність проєктованих вугільних ТЕС може досягти 41 ГВт, до яких можна додати ще 3 ГВт потужностей, що вводяться в даний час.

Слід зазначити, що у Близькому Сході вже працюють вугільні ТЕС (потужністю близько 24 ГВт), зокрема. близько 18,5 ГВт – встановлена потужність ТЕС у Туреччині, 4,9 ГВт – в Ізраїлі та 2,5 ГВт – у Пакистані. Єгипет і Оман поки що не мають вугільної генерації, але планують нею придбати. Оман найближчим часом планує збудувати першу вугільну електростанцію потужністю 1,2 ГВт. Єгипет має намір до 2024 року ввести в країні вугільну електростанцію потужністю 6 ГВт. Загалом Єгипет планує придбати встановлену потужність ТЕС на вугіллі в обсязі 14,64 ГВт.

Об'єднані Арабські Емірати, Іран та Йорданія таке будівництво вже здійснюють. Так, в ОАЕ з 2020 до 2022 р. планується ввести в експлуатацію вугільну ТЕС потужністю 2,4 ГВт, а до 2023 р. – ще 1,2 ГВт. Для цього Емірати готові вкласти 3,4 млрд дол. США, які нададуть власні та китайські банки. До 2050 р. в Еміратах потужність вугільних ТЕС може сягнути 11,5 ГВт. [3].

Вугільну ТЕС в Йорданії (потужністю 30 МВт), яка забезпечуватиме енергією виробництво цементу, планується розпочати будувати в липні 2019 р. В Ірані будівництво ТЕС (потужністю 650 МВт та вартістю 1 млрд дол. США) здійснюють, починаючи з 2012 р. , місцева компанія «MAPNA Group» та китайська компанія «Shanghai Electric». [3,4].

Загалом на Близькому Сході потужність вугільних ТЕС у найближчі роки може досягти 77 ГВт. Для порівняння, в Росії станом на січень 2018 р. встановлена потужність діючих вугільних ТЕС оцінювалася в 48,7 ГВт.

За розрахунками, для вироблення 1 ГВт електроенергії потрібно 370 т високоякісного кам'яного вугілля на годину або 8880 т на добу.

Таким чином, близькосхідному регіону в майбутньому для ТЕС потрібно закуповувати близько 249,6 млн. т вугілля на рік.

Щодо енергетичного забезпечення України, то вона має орієнтуватися на власне вугілля, головним чином Донбасу, але можливо, що плануються й варіанти ввозити вугілля із США або інших країн.

1.2. Можливості вугільних шахт України та світу

Плани зростання видобутку та споживання енергетичного вугілля в Україні та у світі може ускладнити світова Угода з клімату, підписану у Парижі. Крім того, додатковим негативним фактором зниження споживання вугілля є дії європейських регуляторів, що домагаються переходу на більш екологічні джерела енергії.

Однак, незважаючи на деяке падіння споживання вугілля в Україні в останні роки, його частка у генерації тепла та електроенергії, як і раніше, висока і становить понад 40%.

Проте станом на початок 2021 р. в Україні заявили про відмову від вугільної генерації до 2030р, що б його частка в сукупності енергетичної генерації становила не більше 5% від встановлених потужностей.

Кліматична політика провідних країн світу на поточному етапі досить прагматична і нерозривно пов'язана з економічними інтересами своїх держав. Декларація амбітних кліматичних цілей має також економічну складову. Для розвинених країн, особливо залежних від імпорту енергетичного вугілля, прагнення це не тільки внесок у протидію кліматичним змінам, а й підвищення енергетичної безпеки, а також створення технологічного доробку у суспільстві.

При цьому навіть у Євросоюзі, який є лідером у просуванні кліматичних ініціатив, можна спостерігати періодичне зростання споживання вугілля – як наслідок економічної кон'юнктури. За винятком України, в тих європейських країнах, що заявили про відмову від вугільної генерації в період до 2030 р., вона або відсутня або не відіграє помітної ролі. Але для України – це суттєво. Розрахунки як загалом у світі, і по окремих провідних країнах у сфері виробництва та споживання вугілля, наведено на рис. 1.3.

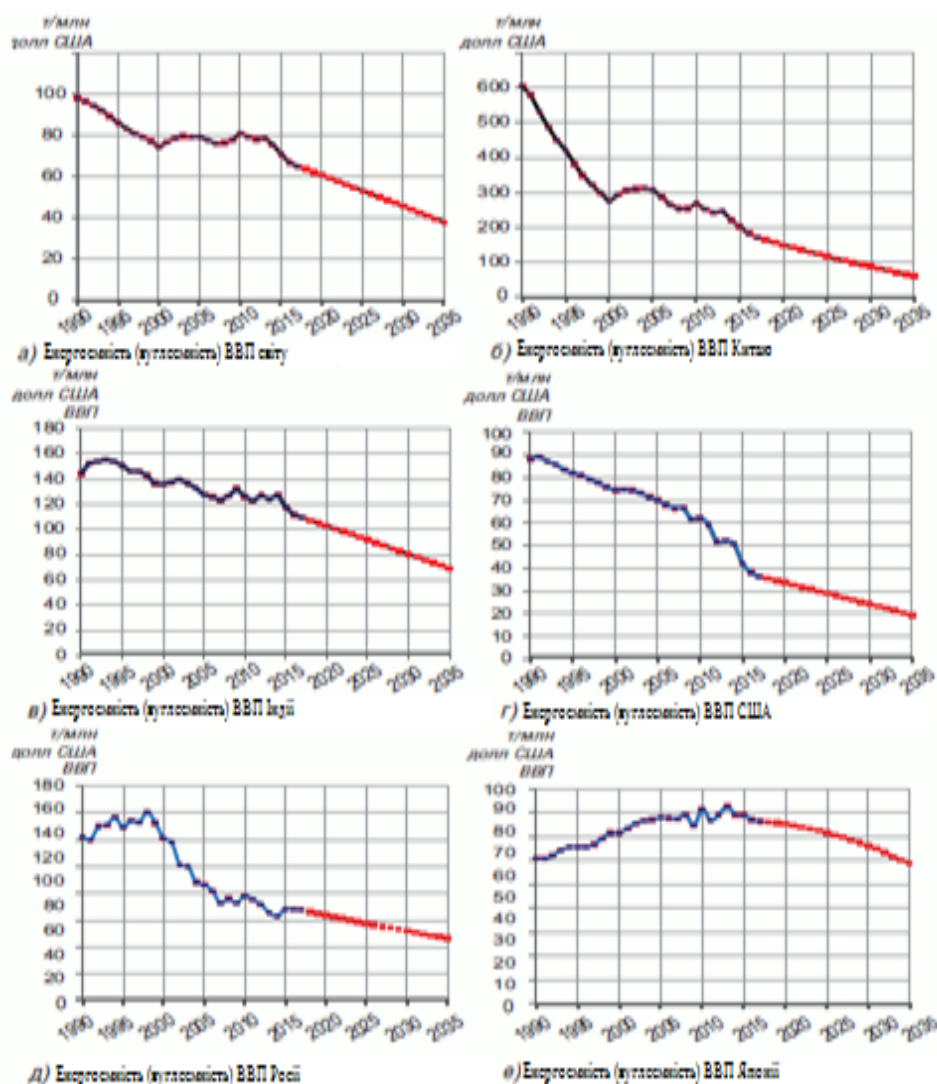


Рис 1.3. Графіки показників вугілля в головних країнах світу у 2000-2017рр

У період до 2035 р. тенденція зниження енергоємності (вугільної ємності) як загалом у світі, і у США, Китаї, Індії, Японії тощо продовжиться.

Враховуючи тенденцію зниження ємності ВВП в країнах світу, розроблено прогнози споживання вугілля загалом у світі та в основних країнах світу, з урахуванням двох варіантів зміни (рис.1. 4.).

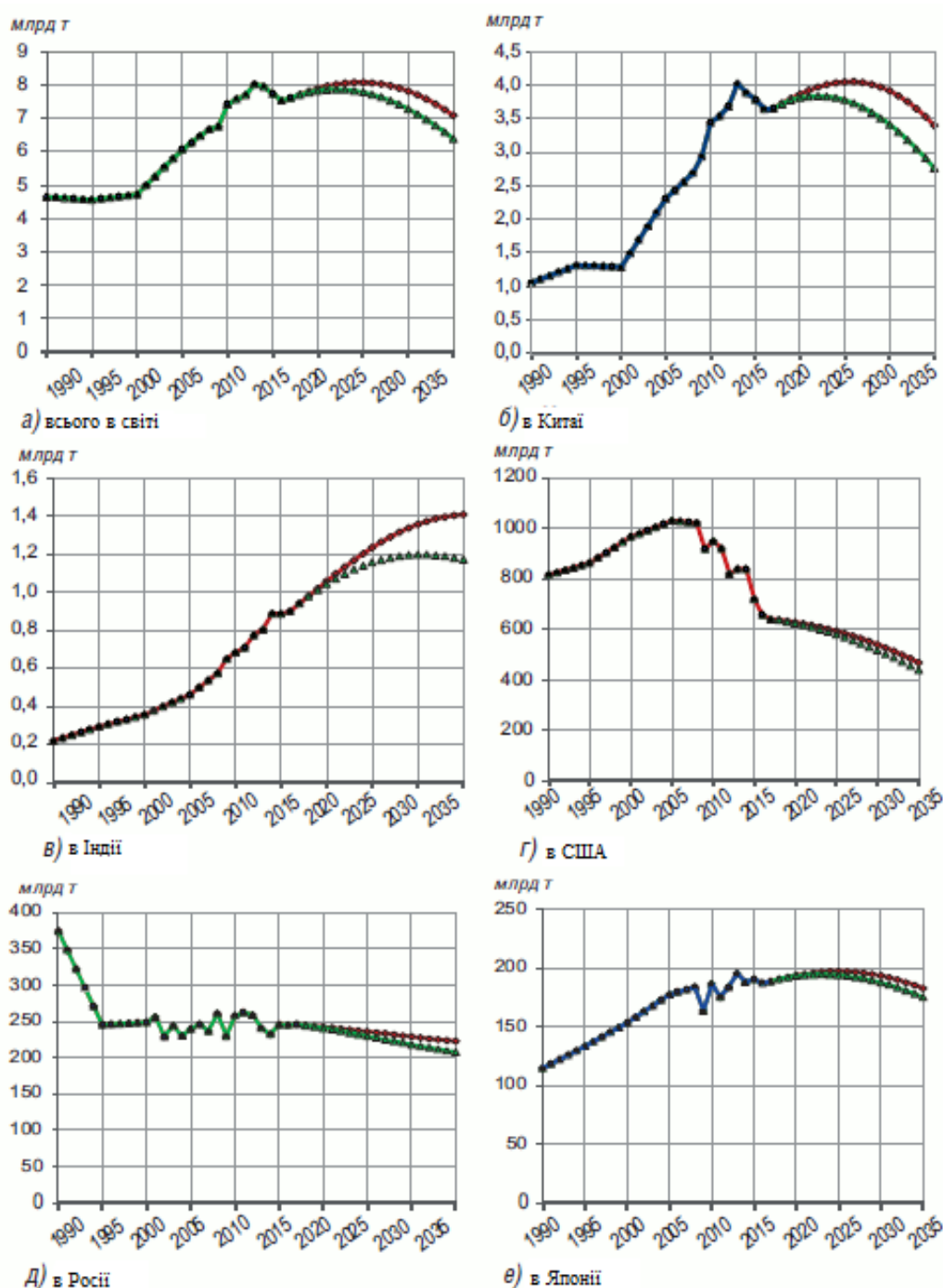


Рис 1.4. Графіки прогнозів використання вугілля у світі до 2035 року

Прогнозом для України споживання вугілля має стати орієнтир у світі. В умовах зміни вектора світового інноваційно-технологічного процесу,

розроблено модель, що дозволяє отримати прогнози споживання вугілля як загалом у світі, так і окремих країнах. З метою визначення енергетичної ефективності використання вугілля визначено енергоємність ВВП світу.

Важливо зазначити, що в даний час близько 40% електроенергії Німеччина отримує за рахунок вугілля. До того ж у ФРН будуються 23 нові вугільні електростанції та реалізується програма з модернізації старих ТЕС, за останні п'ять років введено в експлуатацію понад 10 ГВт нових вугільних потужностей [20].

У 2017–2020 роках. у світі в стадії будівництва перебувало 260 нових вугільних енергоблоків, з яких 62% вже введено в експлуатацію в 2017 р., Сенегал та Південна Корея. Проте, порівняно з рівнем 2016 р. загальна кількість реалізації нових вугільних проектів впала на 29%.

ВВП за паритетом купівельної спроможності кожної окремої країни та загалом у світі – мінімальному та максимальному, які, у свою чергу, залежать від ціни нафти у прогностичному періоді та в цілому періоді (у даному випадку прийняті, відповідно до 2035 р. – 35 та 100) дол. США за 1 барель).

Якщо у період 1990–2017 р. середньорічні темпи приросту споживання вугілля загалом у світі становили 1,9%, то в період до 2035 р., за нашими розрахунками, настане період уповільнення темпів споживання вугілля (середньорічний темп приросту у максимальному варіанті очікується – 0,4%, у мінімальному -1%).

Зокрема, у Китаї середньорічний темп приросту споживання вугілля в період до 2035 р., за нашими прогнозами, може становити відповідно –0,4% на рік за максимальним варіантом та –1,5% – за мінімальним варіантом (у період 1990–2017 років). рр. –4,9%), в Індії – 2,3 та 1,2% (з 1990 по 2017 р. – 5,6%), у США – –1,7 та –2,1% (з 1990 по 2017 р. – –0,8%), у Росії – –0,6 та –

0,9% (з 1990 по 2017 р. – –1,4%), у Японії – 1,9 та 1,7 % (з 1990 до 2017 р. – 1,9%).

Зміна середньорічних темпів споживання вугілля призведе до того, що до 2035 р. споживання всього вугілля у світі може становити відповідно 6,4 млрд т (за мінімальним варіантом) та 7,1 млрд т (за максимальним варіантом). При цьому споживання вугілля в Китаї може становити від 2,8 до 3,4 млрд т, в Індії – від 1,2 до 1,4 млрд т, у США – від 439 до 469 млн т, у Японії – від 175 до 182 млн т, у Росії – від 208 до 222 млн т.

Отримані результати розрахунків показують, що основні країни світу під час виробництва електроенергії та тепла переходитимуть до ефективнішого використання вугільних ресурсів, а також застосування альтернативних джерел енергії. Споживання коксівного вугілля, швидше за все, падати за рахунок переходу на нові технології, що дозволяють знизити витрату коксу в середньому на 20-25%.

Отже, слід зазначити, що в перспективному часі в Україні внутрішнє споживання вугілля буде ще значним, але залежатиме від багатьох факторів, серед яких вплив «сланцевої революції» на видобуток та експорт вугілля, зміна світових цін на нафтові енергоресурси, зростання споживання вугілля в електроенергетиці, темпи розвитку поновлюваних джерел енергії та впровадження передових технологій, співвідношення між цінами на газ та вугілля та інше. Значною подією для України в питанні видобутку та використання вугілля може стати приклад з рішення Німеччини про відмову від вугільної генерації (її внесок у вироблення електроенергії в 2017 р. досягав 39%). Такий намір держави зрозумілий (але не слід забувати про рівень життя населення Німеччини та України і широку підтримку європейцями кліматичної політики). Але поки що в Німеччині вугільна генерація активно діє до кінця 2022 р., а потім поступово ще буде замінювати атомну енергетичну генерацію. У країні планують зупинити всі АЕС.

Перегляд національної енергетичної програми ініціював канцлер ФРН Ангела Меркель після катастрофи на японській станції «Фукусіма-1». Основними джерелами енергетики в країні намічаються відновлювані джерела (ВДЕ).

Отримані прогнози споживання вугілля, виконані з використанням різних методик, враховують зміни у вугільній енергетиці та металургії, світові запаси вугілля, просторовий розвиток видобутку вугілля в окремих країнах світу, ціни на вугілля, нафту і газ та інші макроекономічні показники.

Таким чином, в Україні доцільним буде питання про підвищення видобутку вугілля гірничими механізованими комплексами (ГМК), ефективність яких, відомо, залежати від надійності роботи гідравлічних та електромеханічних приводів. Тому обґрунтування заходів стосовно модернізації гідравлічних та електромеханічних приводів ГМК у напрямку підвищення їх ефективності і надійності є актуальним для вугільної галузі України, а отже, й для цільового наукового дослідження.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГІРНИЧИХ МЕХАНІЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

2.1 Обґрунтування напрямів удосконалення гідравлічних та електромеханічних систем комплексів видобутку вугілля

Перш за все, варто зазначити, що основними причинами, які стримують технічне переозброєння очисних вибоїв вугільних шахт України гірничими механізованими комплексами ГМК, є:

- недостатньо науково-обґрунтовані принципи, підходи до проектування та створення добувної техніки для складних та дуже складних гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільних пластів на великих глибинах;
- непереконливі практичні рекомендації технологічного характеру з питань ефективного використання наявного парку в горнах механізованих комплексів та обладнання для умов глибоких вугільних шахт України.

Сьогодні основними характеристиками розвитку гірничої промисловості в Україні є інтенсифікація робіт та зниження собівартості вугілля, що досягається за рахунок зростання навантаження на очисні забої, збільшенням їхньої довжини та разом із цим скороченням їхньої кількості. У перспективі планується збільшити продуктивність вуглевидобутку з однієї лави до 10 тис. т вугілля на добу та понад, таким чином ставиться завдання створення вугледобувних підприємств типу «лава-шахта». У зв'язку з цим до гірничого обладнання пред'являються всі зростаючі вимоги до показників ресурсу, надійності та продуктивності, які неможливо забезпечити без оснащення їх системами автоматичного керування та діагностики.

В даний час інтенсивно розвивається вдосконалення комплексів з підвищенням надійності та ресурсу машин та обладнання, відпрацюванням програмованих систем діагностики технічного стану машин, систем, режимів

роботи та автоматизованого управління, чим досягається висока стійкість роботи комплексів у раціональних режимах [3].

Зазначимо важливу обставину, що на тлі комплексної механізації та інтенсифікації очисних робіт виникає необхідність у забезпеченні високого ресурсу та надійності конструктивних елементів системи переміщення конвеєра, а також у збільшенні швидкості пересування конвеєра та секцій механізованого кріплення слідом за проходом комбайна.

Стосовно обґрунтування наряду з удосконалення гідравлічних та електричних засобів ГМК ми визначили пропозицію щодо формування структури мехатронної системи переміщення конвеєру механізованого комплексу з видобутку вугілля в лаві.

Сутність обґрунтування електромеханічних та гідравлічних засобів полягає в створенні адаптивної мехатронної системи переміщення конвеєру механізованого комплексу з оптимізацією енергетичних витрат на процеси пересування з та забезпечення виробничого ресурсу.

Проведений нами аналіз та огляд досліджень з даної тематики свідчить, що основна інформація про гідроприводи механізованих кріплень та пов'язаних з нею елементів конвеєрів базуються на працях вчених: Хоріна, Ю. Ф. Пономаренко, С.С. Гребенкіна, А.А. Баландіна, Ю.Г. Шеїна, А.В. Доукіна та інші [6-10], Великий внесок у розвиток науки про гідравлічні та електричні приводи ГМК та вирішення проблем їх дослідження і розробки гідросистем механізованих кріплень зробили: інститут ІГД ім. А.А. Скочинського, Гіпровуглемашу, НВО «Автоматгормаш», НГУ, ІДТМ НАДУ, «Донгіпровуглемашу», ДонУГІ, ДонНТУ [6].

Подальше вдосконалення системи переміщення конвеєру передбачає електронну автоматизацію процесу на основі мехатроніки з адаптивною системою управління, що забезпечить можливість збільшення ресурсу гідродомкратів за рахунок виключення максимальних навантажень, і разом з цим здійснюватиме вибір найбільш оптимального за часом та зусиллями алгоритму переміщення риштаків.

Проблема прискореного створення конкурентоспроможних гірничих машин, як і раніше, залишається на сьогодні актуальною проблемою, що стоїть перед гірничим машинобудуванням України.

В даний час основний обсяг підземного способу видобутку вугілля забезпечується комбайновими та струговими комплексами обладнання з механізованими кріпленнями (рис. 2.1).

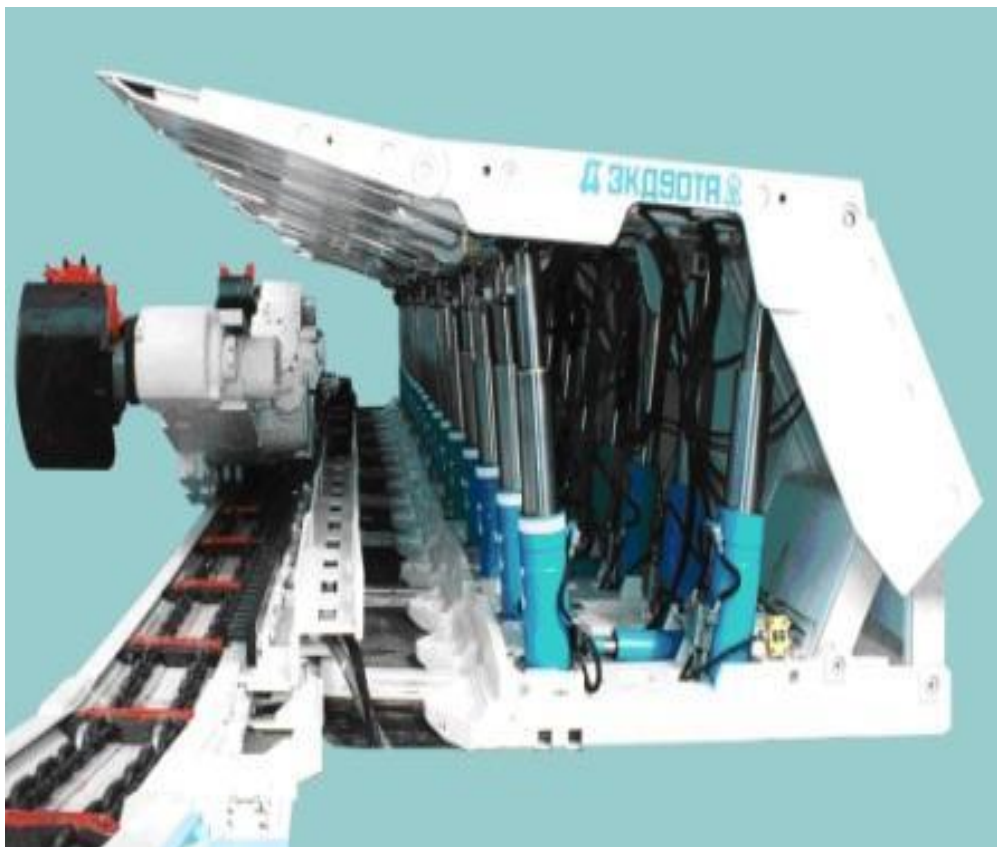


Рис. 2.1 – Загальний вигляд гірничого механізованого комплексу для підземного видобутку вугілля (Фото вільне з Інтернет)

Створення та впровадження в Україні ГМК як спеціалізованих очисних механізованих комплексів (ОМК) підземного видобутку вугілля відіграло виняткову роль у технічному переозброєнні вугільної промисловості країни. Очисні механізовані комплекси використовуватися також при видобутку цілого ряду інших корисних копалин переважно із пластовою структурою залягання на певних глибинах.

Викладемо міркування стосовно змісту розробки математичної моделі гідросистеми секції механізованого кріплення, що має бути в такому.

Перш за все, створення математичної моделі гідросистеми секції механізованого кріплення потрібне для мотивованого обґрунтування ідеї удосконалення гідросистеми механізованих кріплень, що дозволяє забезпечити пересування секцій кріплень із збереженням стійкості на похилому вугільному пласті. Пропонується така математична модель гідросистеми кріплення, в якій система пересування механізованого кріплення є гідромеханічною з первинною енергетичною генерацією з електричним приводом насосів.

Так як гідросистема кріплення у ГМК є багатосекційною, то роботу всієї системи можна досліджувати на прикладі виконання операцій технологічного циклу з однією секцією кріплення. Робота гідроприводу має описуватися двома типами рівнянь: диференціальним рівнянням руху елементів системи; рівнянь балансу витрат енергій, які враховують, що рідина у гідросистемі нерозривна та однорідна, а потужність визначається потужністю приводу насосів – електричного двигуна.

Гідросистема кріплення ГМК є типовою та складається з N окремих гілок, що моделюють роботу гідроциліндрів, і загальних для всіх гідроциліндрів ділянок напірної та зливної магістралей. На підставі правила вузлів та гілок складається математична модель кожної з ділянок. Системи диференціальних рівнянь утворюють математичну модель гідросистеми механізованого кріплення. Кількість рівнянь математичної моделі залежить від кількості одночасно працюючих гідроциліндрів. При моделюванні технологічних операцій розвантаження, пересування, розпору секції кріплення ГМК та висування конвеєру на забій, визначається за певними формулами диференціальних рівнянь першого порядку.

Зрозуміло, що до математичної моделі гідросистеми механізованого кріплення ГМК мають входити такі параметри: тиск рідини в характерних точках гідросистеми; витрати рідини на окремих ділянках гідросистеми;

коефіцієнти пружності елементів гідросистем; коефіцієнти гідравлічних опорів ділянок гідросистеми; значення маси рідини, що переміщається на окремих ділянках гідросистеми; площі поперечних перерізів елементів гідросистеми; опору переміщенню гідроциліндрів, потужність гідронасосів, потужність електричного приводу.

Перші дві групи параметрів утворюють вектор початкових значень, а процес моделювання – це певний результуючий вектор залежних змінних. Коефіцієнти пружності визначають витрату деформацію елементів гідросистеми та стисливість рідини, що заповнює її під тиском. Аналіз показує, що коефіцієнт пружності залежить від внутрішнього об'єму труби подачі, тому можна користуватися для визначення коефіцієнтів пружності порожнин гідроциліндрів. Проте, зазначимо, що при переміщенні поршня гідроциліндру насоса змінюється й переміщення поршня маніпулятора що можливе тільки за рахунок електричної енергії, яку використовує електродвигун приводу насоса.

Отже, механізоване кріплення ГМК - це таке знаряддя, яке призначене для підтримки бічних порід у вибійному просторі, що зберігає його в робочому та безпечному стані та забезпечує механізацію процесів кріплення та управління покрівлею і пересування забійного обладнання.

Секція механізованого кріплення включає основу, гідростійки, шарнірно встановлені між основою і перекриттям, передні важелі і задні важелі, пов'язані шарнірно з основою і огорожею, яке, у свою чергу, також шарнірно пов'язане з перекриттям. Гідродомкрат пересування шарнірно встановлений між основою і прямою балкою, вибійна сторона якої горизонтальним шарніром пов'язана з хрестовиною, яка у свою чергу вертикальним шарніром пов'язана з конвеєром. Також з конвеєром жорстко пов'язаний кронштейн, з яким жорстко за допомогою пальців та болтів пов'язана загальна плита. На загальній плиті у напрямку від вибою до завалу розташований жолоб кабелеукладача та телескопічна колонка. Вибійна сторона жолоба виконана у вигляді обмежувального борту, а протилежна

сторона жолоба обмежена нерухомою частиною телескопічної колонки , виконаної у вигляді захисного борту, жорстко встановленого на загальній плиті.

Механізовані кріплення класифікуються за такими ознаками: 1) за способом взаємодії з бічними породами; 2) за схемою пересування секцій; 3) за наявності кінематичних зв'язків між елементами кріплення та іншими машинами комплексу.

Механізовані кріплення за характером взаємодії з бічними породами поділяються на: підтримуючі, огорожувальні, огорожувально-підтримуючі та підтримувально-огорожувальні.

До першого типу механізованих кріплень ГМК відносяться кріплення, що підтримують породи в межах усього робочого простору очисного вибою. Огорожувальні кріплення захищають робочий простір від проникнення до нього обрушених порід. Огорожувальні кріплення переважно підтримують породи покрівлі в очисному просторі, а огорожувальна частина перешкоджає проникненню обрушених порід покрівлі з боку виробленого простору. Пересування механізованих кріплень може здійснюватися за такими схемами:

- флангова схема, коли пересування здійснюється по черзі слідом за рухом комбайну;
- фронтальна схема - пересування здійснюється одночасно по всій довжині вибою;
- групова схема - пересування секцій у порядку, через одну – «шахова» схема.

Схема пересування секцій залежить від їх конструктивних особливостей, і від конкретних гірничо-геологічних умов. лави За кінематичними зв'язками механізовані кріплення поділяються на комплектні та агрегатні.

Комплектні кріплення не мають зв'язків між комплектами та вибійним конвеєром. Агрегатні кріплення мають силові зв'язки між собою та із вибійним конвеєром.

Більш маневреними, мобільними, легко замінюваними, незалежними є комплектні кріплення. Але вони менш стійкі і вимагають додаткових операцій з пересування конвеєру.

Механізовані кріплення типу, що підтримує, є агрегатними або комплектними. Огороджувальні, огороджувально-підтримуючі та підтримувально-огороджувальні кріплення є в основному агрегатними.

Крім того, механізовані кріплення поділяються на кріплення з «резервуванням ходу» на крок пересування (готові пересунутись до конвеєру і потім пересунути його) і «без резервування ходу» (готові пересунути конвеєр, а потім пересунутись до вибою). В останніх, як правило, є висувні верхняки, що здійснюють тимчасове кріплення нових оголень.

Застосування тих чи інших типів механізованих кріплень залежить, перш за все, від категорії порід покрівлі та ґрунту за стійкістю, а також від кута падіння вугільного пласту.

До механізованих кріплень ГМК пред'являються такі вимоги:

- 1) надійне забезпечення підтримки покрівлі у вибійному просторі;
- 2) управління покрівлею з боку виробленого простору очисного вибою;
- 3) захист вибійного простору від проникнення обвалених порід;
- 4) механізована пересування конвеєра як за подвигом комбайна, і одночасно по всій довжині лави;
- 5) швидкість пересування кріплення повинна бути не меншою за швидкість руху комбайна;
- 6) забезпечення вільного проходу для людей шириною не менше 0,7 м та висотою 0,4 м.

Механізоване кріплення складається з наступних основних елементів:

- підтримуючі - перекриття покрівлі пласта, що підтримує її та запобігає висипанню порід у вибійному просторі;

- несучі - гідравлічні стійки одинарної або подвійної розсувності;
- опорні - цільна основа секцій або опори несучих гідравлічних стійок;
- захисні або огорожувальні, що запобігають попаданню з боку виробленого простору обваленої породи;
- гідродомкрати пересування та управління перекриттями.

Підтримуючі елементи кріплення виконані у вигляді суцільнометалевого перекриття з ресорними консолями, з висувними верхняками та опорами, що підтримують верхню пачку вугільного пласта від обвалення.

Механізований комплекс КМ-87Е. Секція механізованого кріплення це її елемент, що зберігає свою цілісність при пересуванні і складається зазвичай з основи (6), гідравлічних стійок (8) (до 6 стійок у секції), пов'язаних перекриттям (10) біля покрівлі пласта, та гідродомкратів пересування (5) (одного або двох). Секція має огорожувальний елемент (9), що захищає робочий простір від проникнення до нього обваленої породи покрівлі.

Механізовані кріплення пересувають гідродомкратами, які виконані у вигляді звичайних силових гідроциліндрів. Як правило, застосовують гідродомкрати двосторонньої дії, що дозволяють здійснити окрім пересування секцій кріплення (прямий хід гідродомкрата), пересування забійного конвеєру (зворотний хід). Гідродомкрати можуть бути розташовані в основі секцій кріплення, над основою та під перекриттям. Гідродомкрати розрізняються місцями підведення робочої рідини (до корпусу циліндра або через шток), виконанням поршневих вузлів, розмірами та ін. Хід поршня приймають 0,4; 0,5; 0,63, 0,8 та 1,0 м.

Гідродомкрат пересування механізованого кріплення М-87Е складається з циліндра (1) з днищем (2), поршня (3), закріпленого ганкою (4) на штоку (5). Підведення робочої рідини в штокову порожнину Б здійснюється через отвір (а) в голівці (б) штока, Далі через отвір (б), внутрішню порожнину штока А і через канали (в). Підведення робочої

рідини в поршневу порожнину здійснюється через отвори (г) і (д), трубку (7), варену всередину штока, з діафрагмою (8).

Гідродомкрат пересування кріплення М-87Е за характером розсунення та сфери застосування гідростійок розрізняють:

- 1) гідростійки з одинарним гідравлічним розсуненням, що застосовуються на пологих пластах потужністю 1,5 м і вище;
- 2) гідростійки з подвійним гідравлічним гвинтовим розсуненням, яке проводиться за допомогою гідроприводу та гвинтової пари; спосіб є застарілим, так як вимагає витрат ручної праці, однак він застосовується в гідростійках кріплення М-87Е на пологих пластах потужністю 1,1-1,9 м і в кріпленні 2М-81Е на пологих пластах потужністю 1,8-3, 2 м;

Гідростійки з подвійною гідравлічною розсувкою, яка проводиться за допомогою двох телескопічних гідроциліндрів, що розсуваються.

Гідравлічна стійка механізованого кріплення ОКП складається з циліндра; штока зі знімним поршнем, який закріплений двома гайками; нижньої та верхньої опор, виконаних у вигляді півсфер. Опори кріпляться шарнірно в основі секції та верхньому перекритті, що дозволяє уникнути згинальних зусиль на домкрат. Опора має фланець для кріплення гідрозамка стійки. Робоча рідина надходить у штокову порожнину стійки і відводиться від неї через бобишку, приварену до циліндра стійки. Поршень має на робочій поверхні бронзові наплавлення. Ущільнення поршня та штока виконані гумовими манжетами та кільцями круглого перерізу. Для захисту ущільнень від бруду встановлено чистильник, виконаний із спеціальної гумової манжети. Чистильник закріплений спеціальною гайкою.

Гідравлічна стійка кріплення має клапанний гідроблок стійки кріпиться збоку від опори. Запобіжний клапан налаштовують тиск 400 кгс/см^2 , що забезпечує номінальний робочий опір стійки.

Гідравлічна стійка механізованого кріплення МК-97 (подвійний гідравлічний розсув, постійного опору з примусовим опусканням). До циліндру стійки приварені днище та фланець для кріплення до нього

клапанної коробки. У корпусі циліндра переміщується шток з поршневою частиною, а всередині нього інший шток зі своєю поршневою частиною. У циліндрі стійки гайкою закріплена напрямна втулка з ущільненнями та чистильником. Втулка служить однією з опор штока першого ступеня. У цьому штоку встановлена інша направляюча втулка також з ущільненнями та чистильником. Втулка служить опорою для штоку другого ступеня. Вона закріплена в штоку двома півкільцями та пружинним кільцем.

Шток першого ступеня складається з двох концентричних труб. Зовнішня труба на своїй внутрішній поверхні має гвинтову проточку, що з'єднує штокові порожнини обох щаблів розсувності. На поршневих частинах штоків встановлені гумові манжетні ущільнення та є наплавлення з латуні. Вони виконані також і на напрямних втулках. До штока у верхній частині приварено днище. У цьому днищі встановлений зворотний клапан, який забезпечує сталість опору стійки на обох щаблях її розсунення. Величина опору визначається діаметром поршня ступеня та налаштуванням запобіжного клапана, встановленого в клапанній коробці.

Шток другого ступеня виготовлений із труби. Один кінець труби заварений заглушкою, в інший вкручена на різьбленні голівка з напівсферою. До голівки шарнірно прикріплена опорна плита за допомогою кільця та болтів.

Зазначимо, що гідравлічна стійка кріплення МК-97 є прогресивною. При розпорі гідростійки зворотний клапан створює невеликий підпір, що забезпечує висування циліндру першого ступеня. Тільки після вичерпання його ходу (або при досягненні контакту перекриття кріплення з породами покрівлі) в результаті тиску робочої рідини зворотний клапан відкривається, і рідина починає надходити на другий ступінь. При опусканні порід покрівлі зворотний клапан ізолює робочу порожнину другого ступеня першого.

Після того як станеться осадка стійки на величину розсунення першого ступеня, зворотний клапан упреться своїм хвостовиком у дно стійки і автоматично відкриється. При цьому рідина почне надходити з другого

ступеня в перший, і довжина стійки додатково зменшиться на величину ходу поршня другого ступеня.

Несуча здатність стійки при цьому тиску у поршневій порожнині першого ступеня становить 260 кгс/см^2 , у другому - 510 кгс/см^2 . Відношення висоти стійки у розсунутому положенні до її висоти у вихідному положенні визначає коефіцієнт розсувності стійки.

У телескопічних гідростійок він значно вищий, ніж у стійок з одинарною розсувною ($0,86-1,17$ проти $0,38-0,63$), що дозволяє ефективно застосовувати їх на тонких пластах, особливо при значних перепадах потужності пласту.

Механізовані кріплення з'явилися у гірничій промисловості у зв'язку з широким застосуванням вузькозахоплювальних комбайнів. У свою чергу, все обладнання для механізації очисних робіт є комплексом (рис. 2.2).

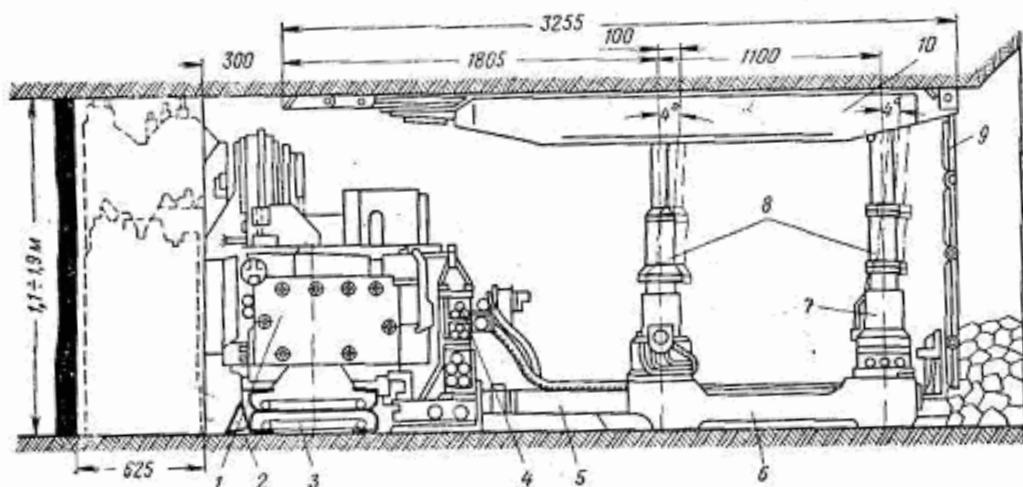


Рис. 2.2. – Схема основного обладнання комплексу КМ-87Е

Основне обладнання комплексу включає вузькозахватний комбайн 1 того чи іншого типу; суцільно пересувний або згинається скребковий конвеєр 3 з вантажно-зачисними лемешами 2 і кабелеукладачем 4; механізоване пересувне кріплення 7. Способи пересування секцій кріплення

Застосовуються різні способи пересування секцій. Послідовне пересування. При застосуванні цього способу секції пересувають послідовно,

одну за одною. При ручному керуванні час пересування секції становить 15-30 с, що забезпечує виїмку вугілля комбайном зі швидкістю до 4 м/хв. При автоматизованому управлінні час пересування секцій можна зменшити, а швидкість виїмки збільшити до 6-10 м/хв.

Шахове пересування. Цей спосіб застосовують при стійкій покрівлі. Спочатку послідовно пересувають парні (або непарні) секції, а потім, також послідовно, інші. Цей спосіб дозволяє скоротити час на пересування секцій і підвищити швидкість виїмки вугілля комбайном.

Групове пересування. При застосуванні цього способу одночасно пересувають певну кількість секцій (групу). При цьому порядок пересування груп може бути різним (послідовний, шаховий тощо). При автоматизованому управлінні цей спосіб дозволяє значно зменшити час, що витрачається на пересування секцій кріплення.

Гідравлічні схеми механізованих кріплень (рис.2.3). Розподіл потоку робочої рідини (емульсії) від насосних станцій СН до напірної Н і зливної С магістралей, пов'язаних з секціями кріплення, здійснюється з центрального пульта управління ПУ, розташованого в штреку.



Рис. 2.3. Схема структури гідравлічного механізованого кріплення.

Магістралі збирають з високо напірних труб і рукавів з прохідним отвором на напірній лінії не менше 20 мм і на зливній - не менше 25 мм. У корпусі кожного відводу магістралі встановлений запірний кульковий клапан, який автоматично закриває отвір при від'єднанні відведення, що запобігає витоків робочої рідини.

До магістральних трубопроводів підключені реле контролю тиску РІД, що автоматично вимикають насосні станції при пориві трубопроводів та різкому падінні тиску внаслідок цього.

Рідина зі зливної магістралі надходить через пульт управління ПУ блок фільтрів БФ, де вона очищається від домішок, а потім надходить у баки насосних станцій.

Управління секціями кріплення проводиться одним із наступних способів: ручне керування безпосередньо з даної секції; ручне керування із сусідньої секції; автоматичне управління групою секцій (гідравлічне або електрогідравлічне); дистанційне автоматичне (зазвичай електрогідравлічне) управління з центрального пульта, що у штреку. Залежно від прийнятого способу для управління секціями застосовують різні конструкції гідророзподільників.

При послідовному пересуванні секцій гідророзподільник встановлюють на кожній секції. Його призначенням є розподіл потоку рідини між силовими елементами секції (гідростійки, гідродомкрати пересування, допоміжні гідроциліндри) і далі подача рідини в зливну магістраль залежно від операцій, які виконуються секцією (розпір і розвантаження гідростійки, переміщення секції або переміщення секції, вирівнювання положення секцій та ін.).

Гідророзподільники застосовують як багатопозиційні, так і двопозиційні з ручним, гідравлічним або соленоїдним управлінням. Для роботи на емульсії використовують кранові уніфіковані гідророзподільники ЕРА-1м з плоскими золотниками.

У гідравлічній схемі секції кріплення можна виділити дві частини: схему з'єднання робочих порожнин гідростійки з гідроблоками, розташованими на стійках; схему розподілу потоку рідини від магістралі до гідроблоків стійок та гідродомкрату пересування.

Гідравлічна схема комплекту кріплення МК-67 (рис.2.4), що складається з двох стійок секцій і гідродомкрату пересування 1. Схема має

незалежний розподіл потоку рідини, тобто рідина підводиться до силових елементів секції безпосередньо від магістралі через гідророзподільники 2.

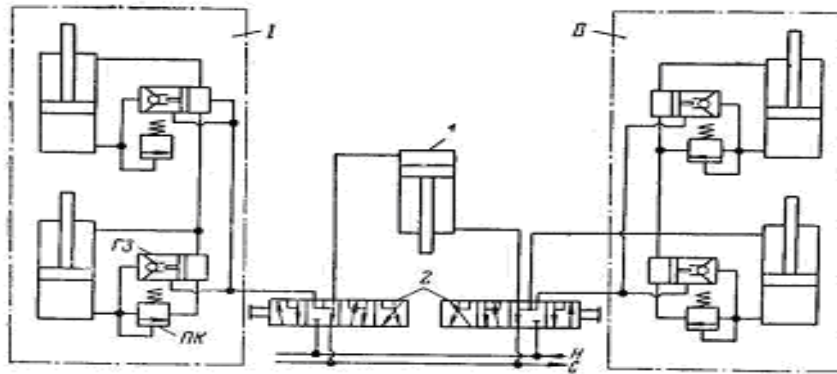


Рис 2.4. Схема гідравлічна комплексу кріплення МК-97

Такий розподіл потоку рідини є більш простим і поширеним, ніж залежне, коли потік рідини від магістралі підводиться через гідророзподільник до гідростійки, а далі до обох порожнин гідродомкрата пересування. Кожна гідростійка має гідроблок (коробка клапанів), який складається із запобіжного клапана ПК та гідравлічно керованого розвантажувального клапана (гідрозамку) ГЗ.

У деяких кріпленнях один гідроблок встановлений на дві стійки. Кріпи з послідовним пересуванням секцій і конвеєра, що згинається («хвилюю»), а також з фронтальним пересуванням конвеєра мають більш складні гідравлічні схеми. Вони розглядаються далі, стосовно конкретних типів механізованих кріплень.

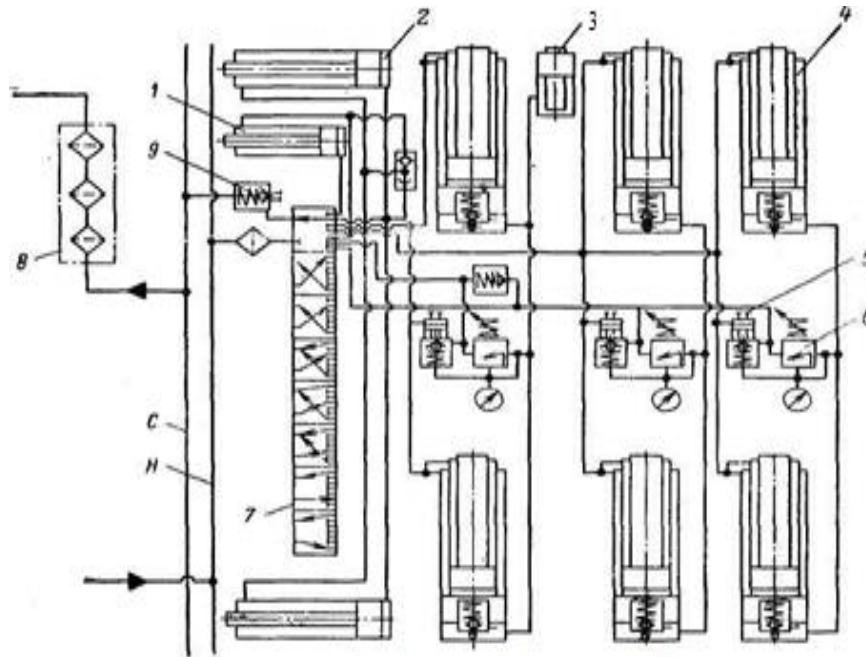
Запобіжний клапан – найважливіший елемент гідропроводу. Його призначення - обмежувати тиск, що розвивається в системі гідроприводу, до заздалегідь заданої величини. Для механізованих кріплень, що працюють на емульсії, серійно виготовляються запобіжні клапани двох типів: для кріплень ОКП, 1МК і 2МКЕ - золотникового типу.

Розвантажувальний клапан (гідрозамок) - механічно або гідравлічно керований пристрій, який забезпечує: пропуск робочої рідини в поршневу порожнину гідростійки при її розпорі; герметичний відсікання від живильної гідромагістралі поршневої порожнини стійки після її розпору; з'єднання

поршневої порожнини гідростійки зі зливом для розвантаження стійки. Таким чином, розвантажувальний клапан гідростійки є, по суті, керованим зворотним клапаном, що пропускає рідину тільки в одному напрямку.

Гідравлічне обладнання механізованого комплексу «Донбас»

Гідравлічна схема секції кріплення «Донбас» представлена на рис. 2.5.



Гідравлічна схема кріплення "Донбас"

Рис. 2.5. Гідравлічна схема секції кріплення «Донбас»

Комплекс обладнання «Донбас» призначений для механізації очисних робіт на тонких пологох пластах потужністю 0,7—1,3 м з кутом падіння до 25° при стійкості покрівлі не нижче середньої та управління гірським тиском способом повного обвалення. Комплекс складається з вузькозахоплювального комбайну типу (МК-67 або 1К-101), скребкового конвеєру типу МК-46 або СП-63М, що згинається з кабелеукладачем, пересувного гідрофікованого кріплення «Донбас» і допоміжного електричного і гідравлічного обладнання. При експлуатації в лавах з кутом падіння пласту вище 9 градусів комплекс «Донбас» так само, як і інші комплекси, комплектується запобіжною лебідкою 1ЛГКН або 1ЛП.

Кріплення дозволяє виконувати такі операції: висунення одного консольного верхняка гідродомкратом 1; притискання до покрівлі підтискної

консолі іншого верхняка гідродомкратом 3; пересування секції кріплення та конвеєра двома гідродомкратами 2; розпір, розвантаження та примусове опускання шести гідравлічних стійок 4 кріплення.

Секція має один гідроблок (коробку клапанів) на дві стійки, гідросистеми яких попарно з'єднані за принципом сполучених судин. Гідроблок складається з керованого зворотного клапана (гідрозамка) 5 і запобіжного клапана 6. Управління всіма операціями секції проводиться за допомогою восьмипозиційного плоского золотникового гідророзподільника 7. Цей гідророзподільник розташований в передній частині основи посадкового елемента секції і з'єднаний з напірною Н і злив кріплення, які, у свою чергу, з'єднані з двома насосними станціями СІУ5, розташованими в штреку. На злив робоча рідина надходить через зворотний клапан 9 блок фільтрів 8.

2.2 Сутність інноваційної технології мехатронного удосконалення переміщеннями секції кріплення та конвеєру ГМК

Процес виїмки вугілля механізованим комплексом супроводжується переміщеннями секції кріплення та конвеєру, який є напірною базою для очисного комбайна, гідродомкратами пересування механізованого кріплення. На сьогодні найбільш поширеним є хвильове пересування конвеєру (рис.2.6).

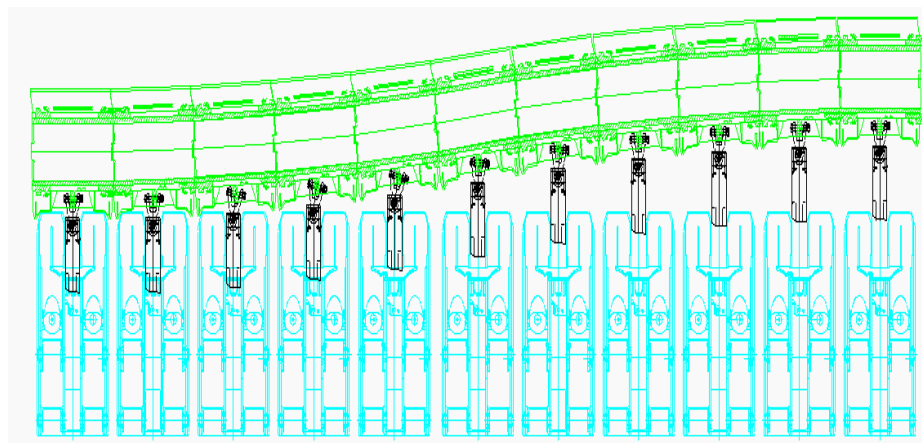


Рис. 2.6 – Схеми хвильового пересування конвеєру гідроциліндрами механізованого кріплення ГМК

У вихідному положенні вибійний конвеєр присунутий до вибою, а комбайн розташований на одному з кінців лави і підготовлений до зняття смуги, секції кріплення розперті і віддалені від конвеєру на крок пересування (рис. 2.7а). Найпоширеніша заряджена схема роботи механізованого кріплення, коли комбайн починає переміщуватися і здійснюється виїмка вугілля.

За проходом комбайну проводиться зняття розпору, пересування секцій кріплення та його розпір, але на відстані 12-15 м від комбайну пересувається і конвеєр (рис. 2.6 б) (найпоширеніше хвилеподібне пересування конвеєру). При підході комбайну до штреку виконуються кінцеві операції.

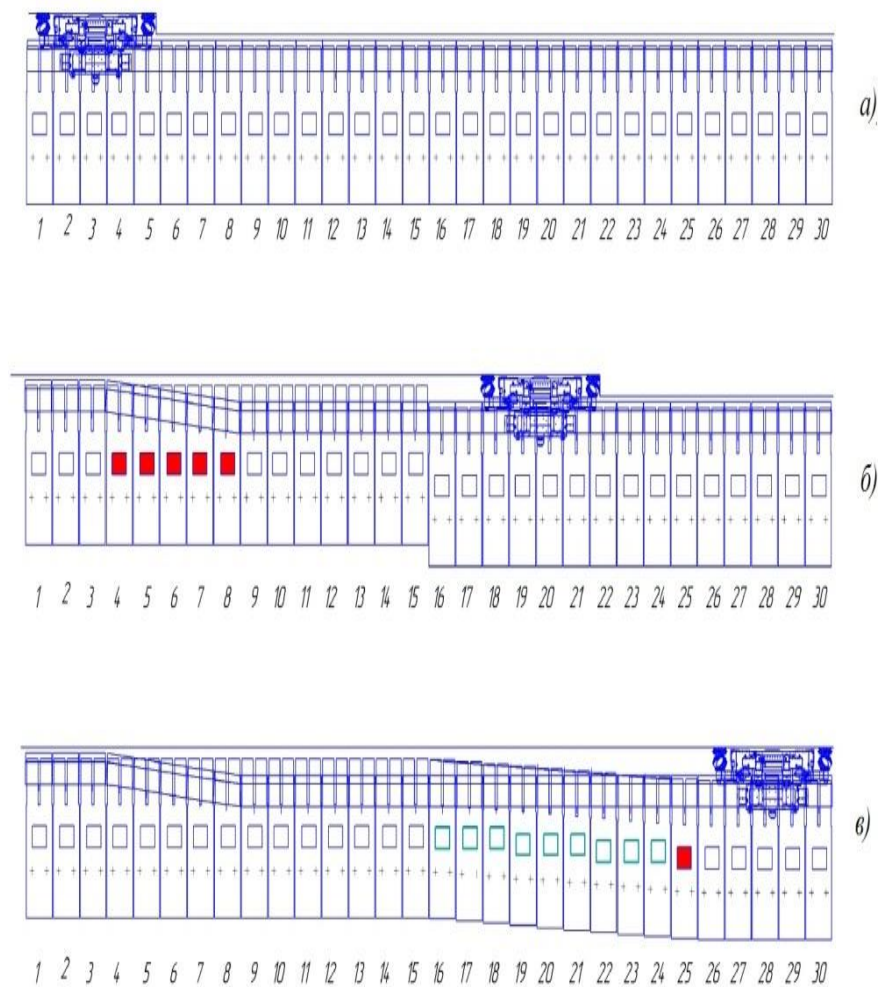


Рис. 2.7 – Схеми пересування кріплення при виїмці смужки вугілля

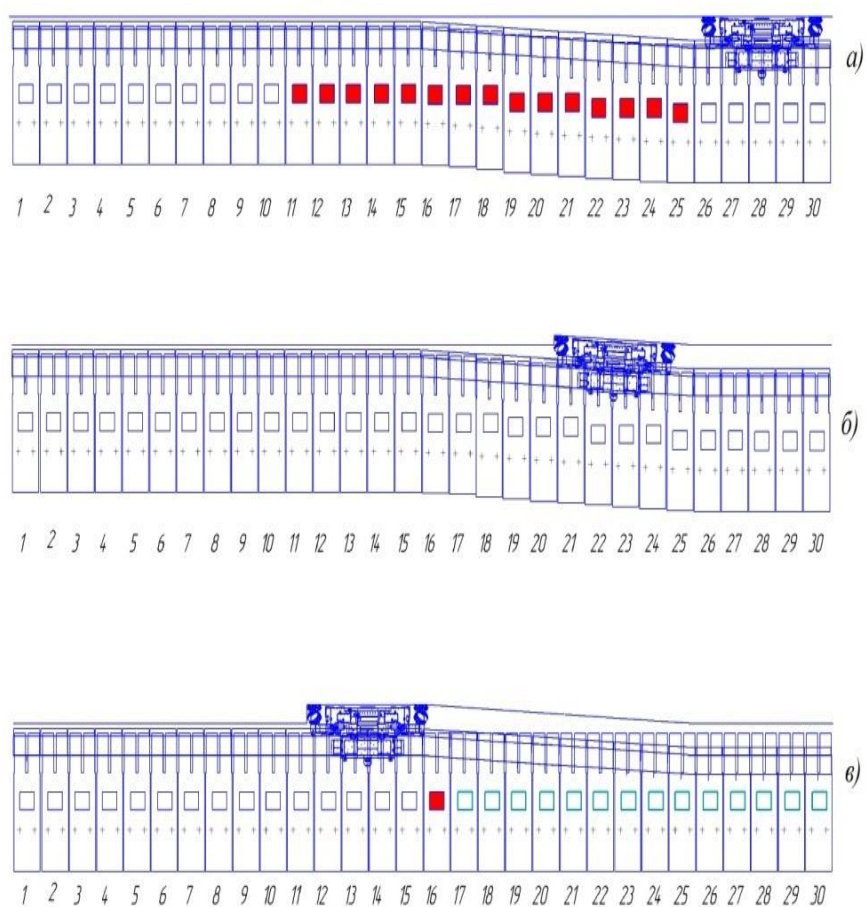


Рис. 2.8 – Схема кінцевих операцій у роботі комплексу (формування заїзду, зарубка комбайну, вирівнювання секцій тощо)

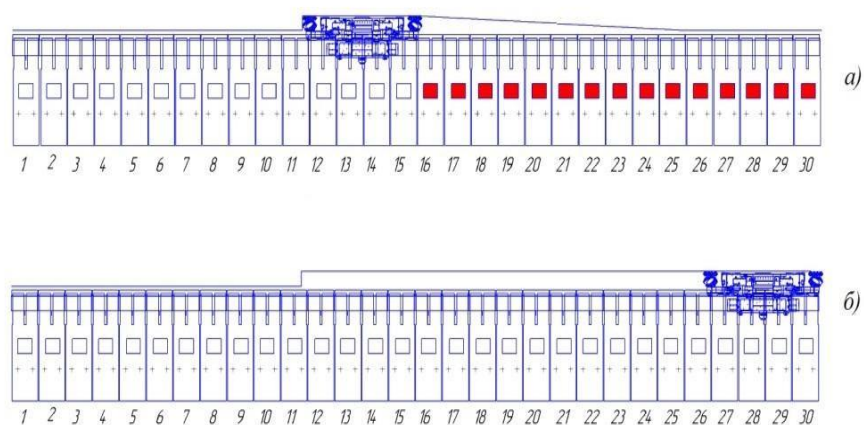


Рис. 2.9 - Схема кінцевих операцій вирівнювання конвеєру при проході очисного комбайну.

Секції переміщуються, створюючи певну «хвилю» за комбайном. Конвеєр пересувається до вибою (див. рис. 2.7 в) і в такий спосіб здійснюється підготовка до формування косого заїзду для комбайну. Далі конвеєр засувається до забою так, що хвиля вигнутого конвеєру збігається з хвилею, утвореною секціями (див. рис. 2.8 а). Після цього комбайн починає пересуватися і створене становище змушує його здійснити зарубку у вугільний пласт (див. рис. 2.8б). Після закінчення зарубки проводиться вирівнювання секцій кріплення за комбайном (див. рис. 2.8в), а потім і вирівнювання конвеєру (див. рис. 2.9а). Комбайн повертається на штрек за вже вирівняним конвеєром (див. рис. 2.9б). У такій технологічній роботі комплекс періодично перебуває з початку у виїмці і далі до наступної лінії видобутку вугілля.

2.3. Принципова структура мехатронної системи переміщення конвеєру з адаптивною системою керування комплексом

Існуючий процес пересування риштаків супроводжується низкою недоліків, головними з яких є [17,18]:

- керування системою пересування є ручним з пульту оператора;
- можливе спрацювання запобіжних клапанів та поява максимальних навантажень в елементах системи переміщення, які небажані, оскільки значно впливають на зниження ресурсу;
- виключається можливість вибору оптимальної схеми пересування, яка б прискорити процес її реалізації і знизити навантаженість елементів системи переміщення.

Враховуючи ці недоліки, нами пропонується така структура мехатронної системи переміщення конвеєру з адаптивною системою керування, що дозволяє усунути існуючі недоліки системи керування переміщенням, а також забезпечити вибір оптимальних алгоритмів пересування з урахуванням завантаженості елементів системи переміщення.

Зрозуміло, що для зазначеної мехатронної системи ГМК треба розробити спеціальну структуру електромеханічної та гідравлічної частин та засоби мехатронної системи переміщення рештаків конвеєру для повного автоматизованого вуглевидобутку з лави. За нашою пропозицією саме така структура мехатронної системи переміщення конвеєру з адаптивною системою управління має бути як на схемі, що наведена на рис. 2.10.

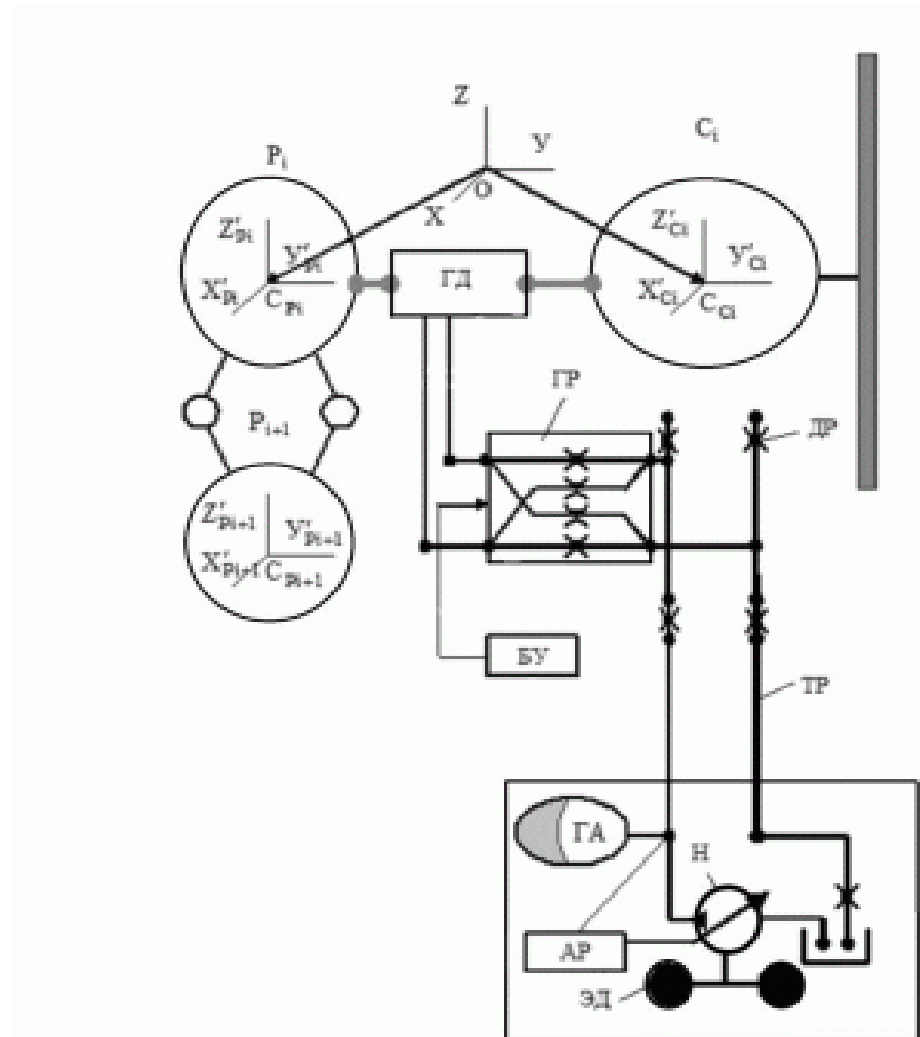


Рис. 2.10 - Схема структури мехатронної системи переміщення конвеєру з адаптивною системою керування.

Основними елементами цієї мехатронної структури є:

- маси i -го та $(i+1)$ -го рештаку, що просторово переміщуються;
- C_i – просторово переміщується маса i -ї секції кріплення;
- $OXYZ$ -система координат, жорстко пов'язана із вибоєм;
- ГД – гідродомкрат пересування;

- БУ – блок комп'ютерного керування гідророзподільником;
- АР – автомат розвантаження;
- ГА – гідроакумулятор;
- ГР – гідророзподільник
- ДР – дросель;
- і-й датчик положення штока гідродомкрата пересування;
- і-й датчик тиску у гідродомкраті системи;
- і-й датчик зусиль у з'єднаннях риштаків;
- і-й датчик стану розподільних пристроїв.

Опис принципу мехатронної дії системи керування.

Електричні сигнали від датчиків (датчики положення, параметрів, стану розподільних пристроїв та зусиль у з'єднаннях тощо) надходять на сенсорну систему, яка сприймає ці сигнали та передає у інформаційній стан системи.

Інформаційна система здійснює обробку інформації, що надійшла, і видає її оператору, а також передає інформацію на адаптивну систему управління для оптимізації управління процесом пересування. Оператор вибирає той чи інший алгоритм переміщення конвеєру.

У адаптивній системі управління відпрацьовується сигнал з управління блоками пересування, з яких реалізується той чи інший алгоритм пересування. Спочатку алгоритм передбачає переміщення риштаків конвеєру через один, як найбільш пріоритетний, проте, якщо зусилля переміщення виявляться більшими, буде застосовано інший алгоритм пересування. Також адаптивна система пов'язана з автоматичним розвантаженням функціональних гідродомкратів ГМК.

Таким чином, проводиться перебір декількох варіантів пересування секцій ГМК, з яких вибирається найбільш оптимальний за виробничим технологічним часом пересування та зусиллям (діючою потужністю) у системі, що забезпечує можливість виключити максимальні навантаження на

кінцевому етапі пересування, підвищити ресурс функціонування гідродомкратів пересування, гідравлічних магістралей ГМК без перевантаження лінії електричного забезпечення.

Висновки до розділу 2

1. Стан механізованого вуглевидобутку в шахтах України характеризується інтенсифікацією всіх технологічних робіт, з метою зниження собівартості кінцевого продукту – вугілля, що зумовлено необхідністю підвищення ресурсу та надійності гірничих машин, які входять в ГМК.
2. Забезпечення високих темпів відпрацювання лави з ГМК супроводжується збільшенням швидкості подачі очисних комбайнів і, як наслідок, потребує прискорення процесу пересування конвеєрів та секцій кріплення, що вимагає оптимізації технологічних процесів та залучення мехатронних систем.
3. Існуючий процес пересування частин ГМК – конвеєрів та секцій супроводжується певною низкою недоліків, а саме: ручним управлінням, можливою появою максимальних навантажень в елементах системи переміщення, що знижує ресурс та надійність конструкцій, а також виключається можливість застосування альтернативних алгоритмів переміщення ризиків конвеєра для вибору найбільш оптимальних режимів за часом та зусиллями.
4. Запропонована структура мехатронної системи переміщення конвеєру ГМК з адаптивною системою управління роботою гідравлічних домкратів тощо, дозволяє усунути недоліки системи пересування, а також забезпечити вибір оптимальних алгоритмів пересування з урахуванням завантаженості елементів системи та діючих потужностей мережі електричного забезпечення лави.
5. Напрямом подальшої роботи з удосконалення засобів ГМК має стати розробка більш відповідної до реальності математичної моделі мехатронної системи переміщення конвеєру та обґрунтування вибору оптимальних

параметрів дій функціональних маніпуляторів пересування для забезпечення технологічно функціонування у відповідних межах витрат електричної енергії.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ ГІРНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1. Напрями розвитку і вдосконалення гідравлічних та електромеханічних приводів гірничих комплексів

Зростання продуктивності та ефективності обладнання вугільного гірничого виробництва в Україні має бути пов'язане з розвитком і вдосконаленням гідравлічних, електромеханічних приводів (електроприводів) ГМК, як головних споживачів електроенергії. Нині на неї припадає близько 58% всієї споживаної у галузі електроенергії [1,3].

Серед гідравлічних та електричних приводів переважна більшість припадає на загальні витрати електроенергії у системах електропостачання шахти, тому ефективне використання електроприводів ГМК має важливе значення для ефективності всього підприємства. З усієї електроенергії, споживаної електроприводом нині, приблизно 80 % посідає найпростіший масовий нерегульований електропривод і 20 % – на регульований. З урахуванням успіхів та досягнень силової електроніки та вдосконалення технологій проектування, виготовлення та експлуатації електричних машин, в даний час найбільш ефективним рішенням для гірничодобувних та транспортних машин є створення частотно-регульованого електроприводу з безконтактними асинхронними двигунами. Дослідження та практичне використання регульованих асинхронних електроприводів із використанням сучасних силових напівпровідникових перетворювачів показують можливість забезпечення високої ефективності та надійності електромеханічних комплексів.

Проаналізуємо можливості та способи підвищення енергетичної ефективності асинхронних електроприводів та наведено приклад реалізації асинхронного електроприводу у транспортно-екскаваторному комплексі. Перерахуємо та розглянемо основні принципи економії енергії в електроприводі та засобами електроприводу. Розділимо можливі ситуації на

великі групи: регулювання швидкості не використовується; нерегульований електропривод замінюється регульованим. У першій групі основна можливість впливати на енергетичні процеси – правильний вибір основного обладнання, насамперед електродвигуна та редуктора, якщо він використовується, а також застосування деяких заходів, що знижують втрати.

Важливо зазначити, що вибір електроустаткування для ГМК є ще дуже мало використаним резервом енергозбереження, який служить правильному вибору основного електроустаткування в енергоємному нерегульованому електроприводі.

Має сенс підкреслити, що європейські експерти з енергетики вважають, що середній коефіцієнт використання електричних двигунів (ставлення середньої потужності за цикл до номінальної) становить 0,6.

Як показує досвід, у вітчизняних умовах цей коефіцієнт іноді суттєво нижчий. Істотний ефект у подібних випадках може дати проста заміна обладнання (двигунів), проте коректне вирішення подібного завдання передбачає досить високу кваліфікацію персоналу. Тут дуже ефективні прикладні комп'ютерні програми, орієнтовані на широке коло фахівців, що з електроприводом, і підтримують прийняття раціональних рішень. Було створено пакет програм, що охоплюють масовий електропривод змінного струму і дозволяють вирішувати завдання вибору та перевірки асинхронних двигунів АІР (AIC), оцінювати їх характеристики при відхиленні напруги від норми, визначати термін служби підшипників у будь-яких умовах і т.д.

Напрямок зменшення втрат у електричних двигунах приводів ГМК. У світовій практиці активно пропагується використання енергозберігаючих двигунів (Energy Efficient Motors – EEM).

Ідея така: в асинхронний двигун закладається на 25-30% більше активних матеріалів (заліза, міді, алюмінію тощо), за рахунок чого на 30% знижуються втрати електричної енергії та зростає ККД на 5% у невеликих двигунах та на 1% у двигунах потужністю 70-100 кВт. Ціна двигуна зазвичай

збільшується на 20-30%, але термін окупності, за даними європейських експертів, становить близько двох років.

Існує безліч публікацій про широкий розмах кампанії з просування ЕЕМ на ринок у США. Десятки фірм-виробників ЕЕМ використовують розвинену прикладну комп'ютерну програму Motor Master+, що полегшує користувачам вибір потрібних енергозберігаючих двигунів для заміни встановлених. Широко рекламується досягнутий ефект — економія близько 5% електроенергії. У заході бере участь Міністерство енергетики США за низкою спеціальних програм енергозбереження тощо. Однак цей напрямок містить певні спірні та неочевидні обставини.

По-перше, йдеться мова про нерегульований електропривід, тобто. при економії в кілька відсотків на втратах у двигуні, у наймасовіших та енергоємних застосуваннях (насоси, вентилятори тощо), але продовжуються енергетичні втрати в агрегатах, що обслуговуються цим електроприводом.

По-друге, розрахункова економія буде досягатися лише за мало мінливого і близького до номінального навантаження. При різко змінному навантаженні, наприклад при значній частці холостого ходу в циклі, економія буде значно меншою за розрахункову.

По-третє, економія може бути помітною (рекламовані 4-5%), якщо всі елементи силового каналу правильно вибрані та налаштовані. Зменшення втрат в мережах живлення. Проблема втрат потужності виникає за рахунок низького, особливо при малих навантаженнях, коефіцієнту потужності ($\cos \phi$), внаслідок чого струм, що протікає в живильних лініях, трансформаторах, вище того струму, що пов'язаний з активною потужністю, а отже, стають вищими втрати в активних лініях.

Проблема компенсації реактивної потужності традиційно користується значною увагою у вітчизняній практиці енергетичного забезпечення шахт. Знайдені та застосовані різні технічні рішення з конденсаторними батареями, синхронними компенсаторами, фільтрами тощо. Однак більшість цих прийомів орієнтовані на нерегульований, а іноді і недовантажений

електропривід з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Досяжний ефект може виявитися незрівнянно меншим від збитків з використання нерегульованого електроприводу в умовах шахт.

До інших способів енергозбереження в електроприводах, що не регулюються, можна віднести: зниження часу холостого ходу; перемикання обмоток за схемами «трикутник-зірка» на час холостого ходу, чи малих навантажень, а також зміна типу гальмування в електроприводах із частими пусками та гальмуваннями.

Ми вважаємо, що перехід від нерегульованого електроприводу до регульованого є генеральним напрямом енергозбереження для ГМК, що може дати найбільший ефект як у економії електроенергії, так і в інших показниках технологічного процесу видобутку вугілля з лави.

Для цього в силову електричну мережу живлення електричних споживачів ГМК мають включатися додаткові елементи - перетворювачі електричної енергії, що подають до асинхронного двигуна напругу з амплітудою і частотою, що регулюються.

В такому варіанті забезпечується подача електричної енергії кінцевому споживачеві необхідної потужності і виключаються значні втрати.

Слід також підкреслити, що у цьому випадку поряд з головним ефектом – істотним зниженням втрат енергії у технологічній машині, що обслуговується електроприводом, та в інших елементах силового каналу досягається ряд додаткових, не менш важливих ефектів: раціональним стає весь технологічний процес, збільшується термін служби основного обладнання тощо.

Особливо суттєвим є вибір раціонального з технічної та економічної точок зору способу управління величиною функціональних потужностей технологічних машин. Доступним рішенням є електропривід постійного струму. Але загальновідомі його недоліки – значна вартість електричних машин та необхідність в ретельному обслуговуванні, що обмежило використання. Наразі ситуація радикально змінилася, коли з'явилися

досконалі та доступні електронні перетворювачі частоти. Вони випускаються десятками зарубіжних та вітчизняних фірм, що мають практично однакову структуру - випрямляч – фільтр – автономний амплітудний модулятор (ШІМ-інвертор) та розвинену систему мікропроцесорного управління, що забезпечує широкі функціональні можливості, надійний захист приводу та інші важливі функції користувача. Це зробило переворот у сучасному електроприводі: різко (до 15%) знизили частку електроприводів постійного струму в загальному парку регульованих електроприводів, стали основним (і поки що практично єдиним) засобом, що реалізує високоякісний регульований асинхронний електропривод у масових застосуваннях.

Регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в тривалому режимі (наприклад, конвеєри, насоси та ін.) більш прості тиристорні регулятори напруги. За рідкісними винятками, що неспроможні ефективно використовувати тривале регулювання швидкості, вимагають навантаження та збільшення потужності двигуна в два-три рази, що вимагає спеціального виконання ротора (підвищене ковзання), інтенсивного незалежного охолодження та мають низьку надійність з низькими енергетичними показниками. Також малоефективними стають швидкісні асинхронні двигуни. Вони, перш за все, важкі, дорогі, вимагають багато контактної апаратури, а їх вартість можна порівняти з вартістю системи перетворювача частоти двигуна. Просування електронних перетворювачів частоти ставить нове завдання перед електрозабезпеченням ГМК – це створення частотно-регульованих електроприводів гідравлічних маніпуляторів.

Ми переконані, що так можна суттєво заощадити дорогі матеріали мереж подачі електричної енергії, апаратури керування та знизити собівартість в кінцевому результаті видобутку вугілля ГМК.

Отже, система електронного перетворювача частоти – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором стає головним на найближчі роки технічним рішенням масового регульованого електроприводу для ГМК. Вона

особливо приваблива для модернізації комплексу, оскільки зберігається все існуюче обладнання, але між мережею і двигунами включається новий елемент – перетворювач частоти, що радикально змінює весь технічний та економічний вигляд системи електричного приводу та керування ГМК.

Енергетичне та сировинне ресурсозбереження стосовно процесів в електроприводах зумовлено засобами приводу, що можуть забезпечуватись різними методами. При проектуванні нових електроприводів розглядаються, зазвичай, кілька варіантів, у тому числі має бути обраний той, який відрізняється найкращими техніко - економічними показниками. Модернізація діючих електроприводів ГМК з метою енергетичного та ресурсозбереження потребує капітальних витрат, ефективність яких має бути економічно виправдана та обґрунтована.

Отже, виникає потреба оцінки енергозберігаючих заходів та їх результатів стосовно шахтних ГМК.

3.2. Оцінка енергозберігаючих заходів та їх результати стосовно шахтних механізованих комплексів

Економічна ефективність енергозберігаючих заходів та їх результатів стосовно ГМК, як і будь-яких інвестиційних проектів, виробляється шляхом зіставлення вартісних оцінок одержуваних результатів (вигід) P і наведених витрат Z їх реалізацію за такою формулою

$$EE = P - Z. (1) \text{ при } EE > 0 ,$$

де E - енергозберігаючий захід є економічно ефективним, в іншому випадку – неефективним. Економічна ефективність може бути оцінена по відношенню P/Z . При $P/Z > 1$ енергозберігаючий захід економічно виправданий, і навпаки.

Для енергетичних та ресурсозберігаючих проектів результати (вигоди) обумовлюються одержуваною економією енергії та матеріальних ресурсів при загальному підвищенні технічного рівня технологічного процесу, що обслуговується.

Ефект може бути виражений як у натуральних одиницях виміру енергії так і у відповідних вартісних грошових оцінках. Методи розрахунку економічної ефективності поділяються на статичні, що не враховують фактор часу, та динамічні, що враховують фактор часу [9].

Особливістю більшості проектів енергетичних та ресурсозберігаючих заходів в електроприводі є невеликі терміни реалізації, тому для визначення їхньої економічної ефективності у вітчизняній та зарубіжній практиці найчастіше застосовуються статичні методи, пов'язані з розрахунком терміну окупності проекту. Розрахований термін окупності зіставляється з прийнятним (нормативним) для суб'єкта господарювання періодом часу, робиться висновок про прийняття або неприйняття даного проекту для реалізації. У технічній документації та інформації наведено дані щодо деяких серій силового вітчизняного обладнання для електроприводів, що визначають основну частину капітальних витрат, відомості про тарифи на електричну та теплову енергію, воду та газ необхідні для розрахунку експлуатаційних витрат при функціонуванні електроприводу та обслуговуваного їм технологічного устаткування. Для орієнтовних оцінок наведемо деякі усереднені питомі показники вартості вітчизняного електроустаткування для електроприводів [9].

Проведемо дослідження терміну окупності для економічної оцінки енергетичного ресурсозбереження стосовно ГМК. Як показники економічної ефективності використовуються чистий дохід (ЧДД), індекс прибутковості (ІД), термін окупності і внутрішня норма прибутковості (ВНД). Чистий дохід, званий також інтегральним економічним ефектом, визначає різницю між наведеними до того самого моменту часу результатами і витратами.

Якщо ЧДД енергозберігаючого проекту позитивний, то проект є економічно ефективним при даній нормі прибутковості є відносним показником і є відношенням суми наведених результатів до суми наведених витрат за енергозберігаючим проектом. Якщо $ВД > 1$, то проект ефективний, і навпаки. ВД зручно застосовувати у тих випадках, коли порівнювані

проекти мають приблизно однаковий ЧДД. Внутрішня норма прибутковості є ту норму дисконту $E_{вн}$, коли він ЧДД дорівнює наведеним капітальним витратам K_{3t} . Термін окупності – це період (який зазвичай вимірюється в роках), починаючи з якого витрати на енергозберігаючий проект покриваються сумарними результатами його здійснення. Він визначається при заданому нормативному коефіцієнті економічної ефективності капітальних витрат ЕКВ.

Модернізація електроприводів ГМК відноситься до короткострокових інвестиційних проектів вугільної галузі і її ефективність зазвичай оцінюється без урахування фактору часу відпрацювання вугільної лави. Найбільший енергозберігаючий та ресурсозберігаючий ефект від впровадження регульованого за частотою обертання електроприводу отримують у механізмах найширшого застосування за «вентиляторною» характеристикою навантаження – насоси, вентилятори, компресори тощо.

Проведемо дослідження структури та показників управління енергетичною ефективністю електроприводу гідравлічних систем механізованих комплексів гірничого виробництва – пластових вугільних шахт.

Основними складовими рентабельного функціонування видобувних підприємств є ефективна організація основних та обслуговуючих виробничих процесів, зокрема організація системи обслуговування існуючих видобувних машин та обладнання з формуванням гірничого транспортного комплексу, що є основою для безперебійної роботи видобувного підприємства.

В умовах вугільної шахти існують значні резерви для зниження витрат виробництва, які можна використовувати шляхом розробки та обґрунтування уніфікованого підходу до проектування та діагностики електричного та механічного обладнання для підвищення ефективності функціонування всього гірничого транспортного комплексу (ГТК) вугільної шахти.

Для збільшення енергетичної ефективності функціонування ГМК та ГТК необхідно змінити стратегічний підхід до використання та обслуговування

основних видобувних потужностей, що розміщуються в гірничих виробках. Для цього можна виділити такі напрями стратегічних змін:

- інформаційний зв'язок ГМК в технологічних процесах видобутку та оптимізація часу, що витрачається на підготовчі технологічні операції;
- перехід на використання електричного приводу із змінним струмом на основних робочих функціональних вузлах комбайнів, секцій тощо;
- уніфікація структури електроприводу виконавчих органів комбайну, механізованих кріплень та допоміжних технологічних засобів, у тому числі з урахуванням вимог безпеки праці;
- прийняття єдиного підходу до діагностики залишкового ресурсу електромеханічного обладнання ГМК;
- використання високоефективних алгоритмів формування вихідної напруги перетворювачів електричної енергії в механічну енергію в умовах ГМК

Зауважимо, що в наслідок зростання обсягів виїмки гірничої маси на шахтах України зростає потреба у збільшенні типорозмірів ГМК. Виходячи зі світової практики вибору потужностей (E) ГМК та продуктивності (V), кількість технологічних циклів переміщень (n), то маємо визначення цього показника для оптимальної роботи одного ГМК із співвідношення [6]:

$$n = V / E = 3-5.$$

Даний підхід є найбільш оптимальним та економічним при роботі ГМК, оскільки дозволяє скорочувати час простою механізмів комплексу.

Характерною особливістю ГМК та гірничих машин є застосування сучасного електричного приводу (електричних двигунів) змінного струму на основі асинхронних конструкцій, що також переводить на приводи змінного струму інші потужні механізми комплексу, які раніше працювали з приводами постійного струму. Зазначимо, що способи формування робочої напруги в системах управління приводом змінного струму ГМК залежать від систем управління приводами, які можуть бути реалізовані в один із способів формування напруги живлення, а саме: PWM (Pulse Width

Modulation), SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation), DTC (Direct Torque Control) [6].

Спосіб формування напруги PWM потребує постійної частоти перемикання ключів інвертора. Для нормальної роботи електричного двигуна випрямлена напруга на вході інвертора має вдвічі перевищувати амплітудне значення фазної напруги двигуна (включеного «зіркою»).

Цей спосіб широко застосовується через простоту його реалізації та завдяки плавності обертання вектору напруги. Спосіб формування напруги за допомогою SVPWM забезпечує більш ефективне використання напруги живлення порівняно з PWM.

Зокрема, зараз в багатьох схемах живлення ГМК реалізовано векторний спосіб формування напруги (SVPWM) з уніфікацією електромеханічного устаткування комплексу.

Уніфікація в умовах вугільних шахт України, за нашим переконанням, електроприводів ГМК дозволить досягти значного економічного ефекту за весь період експлуатації комплексу. Уніфікація електричних приводів ГМК - це раціональне скорочення видів, типів та розмірів виробів однакового функціонального призначення, що значно зменшує вартість їх виготовлення та обслуговування.

Уніфіковані механізми створюються на базі кількох раніше існуючих ефективних варіантів різних виконань шляхом приведення до єдиного варіанту, що замінює всі попередні. Розглядати можливість уніфікації ГМК вугільних шахт необхідно, насамперед, у структурі та алгоритмах системи автоматизованого управління приводом.

Відомо, що електричний привід містить випрямляч та дворівневий автономний інвертор напруги. Застосування активного випрямляча у схемах електроприводу механізмів ГМК обумовлено його можливістю забезпечувати значення коефіцієнта потужності, близького до одиниці. До того ж є менший коефіцієнт нелінійних спотворень (порівняно з діодним випрямлячем), а також можливість роботи у всіх чотирьох квадрантах

механічної характеристики з автоматичною рекуперацією енергії в мережу живлення.

Загальні питання щодо регулювання функціональних об'єктів ГМК, як енергоємного технологічного електрообладнання складається з елементів автоматизації технологічних процесів: контролю, управління, регулювання та захисту.

Автоматизація контролю, що забезпечує систематичне спостереження за перебігом технологічного процесу за допомогою контролюючих та приладів реєстрації.

Автоматизація управління процесом полягає в автоматичному пуску, гальмуванні, зміні швидкості та реверсуванні механізмів ГМК з необхідною послідовністю, що не знижує продуктивності.

На рис.3.1 наведено електричні схеми реалізованих електроприводів змінного струму ГМК . Як видно з рис. 3.1, різниця структури полягає тільки в способі отримання напруги живлення: екскаватор отримує живлення від високовольтної лінії 6 кВ, що підходить до нього у вигляді гнучкого кабелю; самоскид отримує живлення від синхронного генератора СГ, що приводиться в обертання дизельним двигуном.

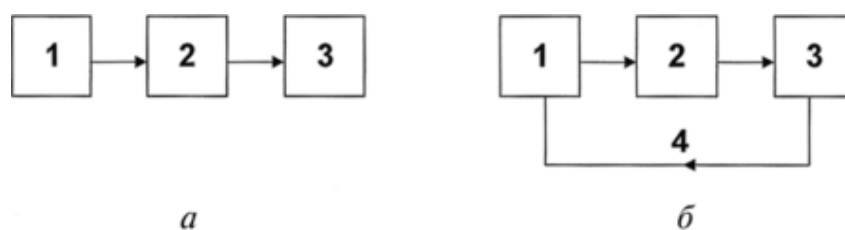


Рис. 3.1. Структурні схеми автоматичних систем: а - розімкнена; б – замкнена

Автоматичні системи можуть бути розімкненими (рис. 3.1, а) та замкнутими. Замкнена автоматична система (див. рис. 3.1 б) на відміну від розімкнутої має один або кілька зворотних зв'язків (4) (див. рис. 3.1). Зворотні зв'язки забезпечують за певних умов стійкість роботи, стабільність регулювання швидкості та швидкодію системи механізмів ГМК.

Дослідимо, як приклад, автоматичну систему керування технологічним процесом установки охолодження рудникового повітря для ГМК (рис. 3.2.).

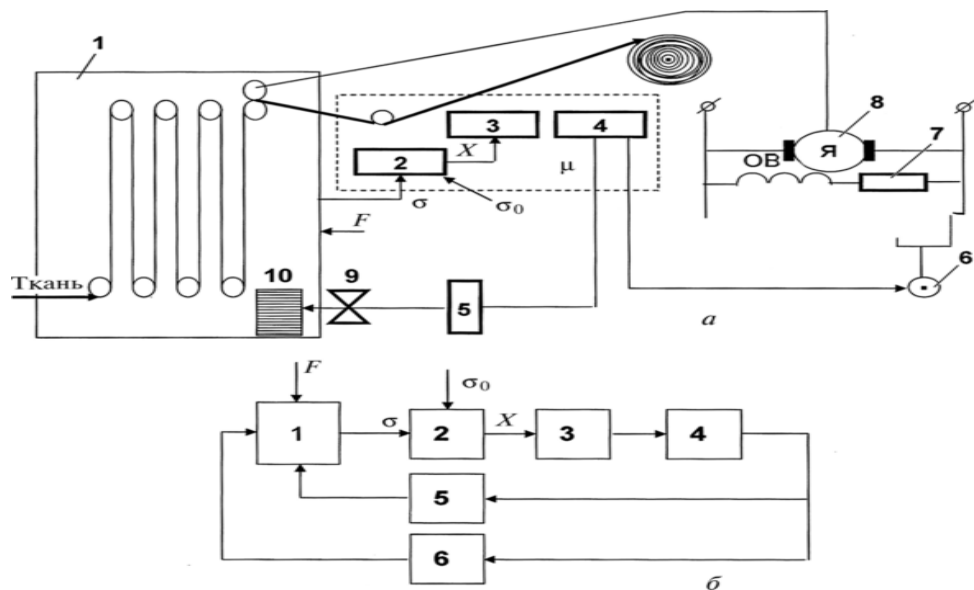


Рис. 3.2. Схеми керування (а) та автоматичного керування (б) технологічним процесом охолодження рудникового повітря для ГМК

Система автоматичного регулювання процесом охолодження рудникового повітря включає регульований об'єкт, у якому необхідно регулювати величину температури і вологості рудникового повітря, що виходить із кондиціонера, і приєднаний до нього автоматичний регулятор (обведений штриховою лінією), регулюючі органи (електромагніт 5 і маховик 6 реостату 7), безпосередньо регульованих величин в об'єкті 1 із змінними фільтрами з тканини. Регулятор складається із пристроїв 2, що вимірюють поточне значення регульованої величини температури, і виробляють сигнали помилки або неузгодження регулюючого пристрою 3, що підсилює і перетворює сигнал виконавчого пристрою, що здійснює регулюючий вплив на органи 5 та 6. Електромагніт 5 управляє клапаном 9, регулюючим подачу холодоагенту у калорифер 10, розташований в 1, а електродвигун постійного струму 8 змінює частоту обертання і лінійну швидкість вентилятору охолоджувача при зміні опору реостату 7.

Автоматизація регулювання здійснює раціональне перебіг процесу функції технологічних параметрів із заданою точністю.

Автоматизація захисту забезпечує справний стан механізмів ГМК шляхом своєчасного відключення їх при режимах, що загрожують нормальній роботі.

Автоматизована система керування (АСК) електроприводом ГМК має містити основні елементи: датчики, проміжний та виконавчий пристрої (маніпулятори).

Датчики сприймають дію керуючих величин (натягу, температури, вологості і т.д.) і перетворюють їх на електричні показники, що далі обробляються.

Проміжні елементи АСК посилюють отримані від датчиків сигнали і за необхідності розподіляють між кількома ланцюгами.

Виконавчі елементи, отримавши імпульси від проміжних елементів, роблять необхідну зміну режиму роботи керованої технологічної машини, наприклад збільшують (зменшують) кількість обертів її головного валу, подачу і т. д., Це терморезистори, тензорезистори, фоторезистори, магніторезистори, датчики Холла, магнітні та електронні апарати та інше.

До проміжних елементів відносяться реле часу, напівпровідникові, магнітні та електромагнітні підсилювачі тощо. До виконавчих елементів відносяться контактори постійного та змінного струму, електромагнітні муфти та гальма, реостати, серводвигуни та ін.

У замкнутій системі автоматичного регулювання (САР) процес регулювання характеризується передачею впливів від однієї ланки до іншої замкнутим контуром. Усі фізичні величини, що є у цьому процесі, залежать одна від одної та впливають одна на одну (див. рис. 3.2, б).

За технологічними завданнями, які вирішують САР (залежно від закону, який має слідувати регульована величина в процесі роботи об'єктів ГМК), їх можна розділити на три основні групи.

Перша група - системи стабілізуючого регулювання, які повинні підтримувати регульовану величину на заданому рівні $a = \text{const}$.

Друга група - системи програмного регулювання, які повинні змінювати регульовану величину в часі за заданим законом $a = \text{ЛЮГ}$.

Третя група — системи стеження, у яких регульована величина має закономірно змінюватися залежно від величини іншого (нерегульованого) параметру (z) даного процесу, чи величини будь-якого параметру іншого процесу $a = F(z)$.

Будь-яка САР перебуває під впливом різних збурень, які викликають зміни регульованої величини. Розрізняють два види збурень: збурення за навантаженням F і збурення за завданням A .

Збуренням за навантаженням називається таке збурення, що виникає в регульованому об'єкті ГМК і обумовлене зміною режиму роботи останнього (зміна витрати електричної енергії або швидкості різання пласту, зміна параметрів гірничих умов очисних робіт тощо).

Збуренням за завданням (або впливом) є таке збурення, що додане до пристрою регулятора, який задає навмисно, з метою зміни величини змін у системах програмного регулювання та у системах стеження, що є збуренням обумовленим самим процесом регулювання.

Вплив збурень на регульовану величину можна компенсувати при регулюванні за відхиленням регульованої величини від заданого значення (замкнена САР) або регулюванні за величиною збурень (розімкнена САР).

Більшість САР технологічними процесами ГМК побудовано за першим принципом. У цьому випадку виміряна помилка перетворюється на регулюючу дію, яка спрямована на зменшення помилки, що трапилась.

У вугільній промисловості розімкнені САР з регулюванням за величиною збурення набули порівняно широкого поширення, особливо для регулювання нерівності в умовах прохідницьких робіт ГМК.

Особливість регульованого об'єкту гірничого комплексу, що є одним з елементів системи автоматичного регулювання, полягає у тому, що його

статичні та динамічні властивості вже задані і, як правило, не можуть бути змінені без зміни конструкції машини або апарату, або зміни самого процесу. Тому властивості об'єкту – механізму ГМК та вимоги до якості його регулювання визначають і необхідні властивості регулюючої частини системи.

Для побудови систем автоматичного регулювання необхідно мати математичний опис (математичну модель) об'єкту, тобто виражені у вигляді рівнянь основні закономірності, притаманні даному об'єкту, що характеризують статичні та динамічні зв'язки між його вхідними та вихідними величинами.

Регульовані об'єкти вугільної промисловості такі як ГМК, є складними динамічними системами із розподіленими параметрами.

Існують аналітичні та експериментальні методи складання математичного опису таких об'єктів.

Аналітичні методи засновані на розгляді процесів, що протікають в об'єкті, і його матеріального та енергетичного балансу, внаслідок чого можна скласти рівняння статички та динаміки об'єкта.

Загальна методика складання рівняння об'єкта ось у чому. Складаються рівняння матеріального та енергетичного балансу об'єкту для стану; складається рівняння для неусталеного стану, що визначає зв'язок між зміною вхідної величини (припливу тепла, швидкісних режимів, тощо), викликаним регулюючим впливом або зовнішнім збуренням матеріального або енергетичного балансу об'єкту, і відхиленням вихідної величини.

Якщо при складанні рівняння брати до уваги всі фактори, що впливають на динаміку об'єкту, то виходить диференціальне рівняння (або система рівнянь) з похідними високого порядку, зазвичай нелінійних. Дослідження систем регулювання з об'єктами, характеристики яких описуються такими рівняннями, здійснюється за допомогою ЕОМ.

У деяких випадках, коли математичний опис процесу дозволяє визначити перехідну функцію об'єкту, то можна визначити передатну функцію об'єкту, або знайти наближене диференціальне рівняння об'єкту:

$$W_0(p) = L[\Delta\sigma(t)]/L[\mu(t)] = pL[\Delta\sigma(t)]/\mu_0,$$

де L - символ прямого перетворення Лапласу;

p - комплексний аргумент перетворення.

Регульовані об'єкти зазвичай мають одну вихідну величину і кілька вхідних величин, з яких одна є регулюючим впливом p ., а інші - збуреннями $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$.

Збурення можуть бути прикладені як до входу об'єкта, так і до окремих його ділянок. Припускаючи, що в межах зміни вхідних величин об'єкт можна розглядати як лінійну систему, отримаємо вираз для значення зображення Лапласу вихідної величини:

$$\sigma(p) = W_0(p)\mu(p) + W_{01}(p)F_1(p) + W_{02}(p)F_2(p) + \dots + W_{0n}(p)F_n(p),$$

де $W_q(p)$ - передатна функція об'єкту по відношенню до регулюючого впливу;

$W_{01}(p), W_{02}(p), \dots$ - передавальні функції об'єкту по відношенню до кожного із збурень.

Тому для повного опису динамічних властивостей ГМК потрібно враховувати основні збурення в його роботі. Криві розгону більшості регулюючих об'єктів комплексу є монотонними функціями часу (рис 3.3).

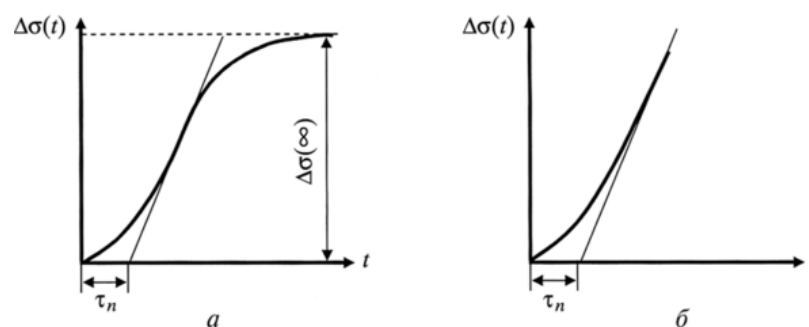


Рис.3.3. Графіки розгону механізмів ГМК, що регулюються:

а) з самовирівнюванням; б) без самовирівнювання

У першому випадку (рис. 3.3, а) відхилення регульованої величини $a(0 = 0(\Gamma)$ - з часом прагне до певного значення, такі об'єкти називаються об'єктами з самовирівнюванням, а (рис. 3.3 б) відхилення регульованої величини, що безперервно зростає, створюють об'єкт, позбавлений самовирівнювання.

Поступове наростання швидкості відхилення регульованої величини призводить до появи у зазначених об'єктах перехідного запізнення, а його величина визначається відрізком, що відсікає на осі часу дотична, проведена до кривої розгону у точці, де швидкість зміни досягає найбільшого значення.

У багатьох о механізмів ГМК, крім перехідного запізнювання, має місце чисте або транспортне запізнення, яке визначається часом від моменту виникнення регулюючого впливу (збурення) до початку зміни регульованої величини в місці вимірювання.

Цей час необхідний для того, щоб потік речовини або енергії пройшов відстань від місця впливу до місця вимірювання регульованої величини.

Необхідно прагнути можливого зменшення чистого запізнення в об'єкті шляхом раціонального вибору місць установки датчиків. Динамічні властивості більшості механізмів ГМК можуть бути описані диференціальними рівняннями першого або другого порядку з урахуванням чистого запізнення.

Відомо, що тип електроприводів механізмів ГМК вибирають з урахуванням енергетичних та механічних характеристик виробничої машини, відповідно до вимог технологічного процесу та умов навколишнього середовища – гірничих виробок.

Для більшості гірничих машин момент опору в процесі роботи може залишатися постійним, або змінюватися в залежності від швидкості руху механізму, шляху і часу. За характером зміни моменту опору всі виробничі гірничі машини та механізми, входять в комплекс ГМК можна поділити на п'ять груп.

Перша група (I) складається з машин із постійним моментом опору $p = \text{const}$. До них відносяться: конвеєри та підйомні машини, що, мають постійний момент опору на робочих режимах дії.

Друга група (II) включає виробничі машини, у яких момент опору змінюється прямо пропорційно швидкості $p_c = cv$ (комбайни, рівневі, стрічкові та ін машини).

Третя група (III) складається з машин, у яких момент опору приблизно пропорційний квадрату швидкості $p_c = cv^2$. Такі машини мають механічну параболічну характеристику стосовно моменту опору.

Четверта група (IV) охоплює гірничі машини, у яких момент залежить від шляху, тобто від кута повороту кривошипного механізму. До цієї групи можна віднести гірничий комбайн, насоси, компресори тощо.

П'ята група (V) гірничих машин та механізмів характеризується моментом опору, що залежить від часу $p_c = f(t)$. Прикладом таких машин може служити комбайн, підйомна машина, у якої при роботі момент опору збільшується. Залежність моменту опору від швидкості $p_c = f(v)$ називається механічною характеристикою гірничої машини.

Залежність моменту опору від шляху $p_c = f(a)$ або часу називають навантажувальною характеристикою виробничої машини. Для низки гірничих механізмів, що мають обертальний рух, вираз моменту опору в залежності від швидкості має такий вигляд:

$$\mu_c = \mu_T + (\mu_{c.n} - \mu_T)(n/n_n)^x,$$

Якщо $x = 0$, то момент опору пропорційний швидкості. Якщо $x = 2$, то момент опору пропорційний квадрату відносної швидкості (вентиляторна характеристика).

Вимоги до електричного приводу гірничих машин різноманітні за умовами пуску, регулювання швидкості, гальмування тощо. Більшість механізмів ГМК потребують рівномірності ходу для синхронізації виробничих операцій та досягнення максимальної ефективності.

У виробничих процесах електроприводів гідродинамічних механізмів ГМК механічна енергія, що розвивається електродвигуном, витрачається на рух елементів робочої машини, що здійснює роботу. Ряд процесів протікає зі змінною швидкістю. Швидкість електроприводу може змінюватися також унаслідок коливання механічного навантаження робочої машини та непостійності напруги мережі. Будь-яка зміна швидкості електроприводу викликає зміну запасу кінетичної енергії у всіх рухах системи двигун — робоча машина. Ця обставина в ряді випадків є причиною мінливості струму, моменту та потужності двигуна, величини яких залежать від характеру руху електроприводу.

Вивчення характеру руху електроприводу проводиться за допомогою рішення рівняння руху та дослідження впливу різних величин, що входять до цього рівняння.

Динамічне навантаження є потужністю кінетичної енергії всіх рухомих частин механізму ГМК. Воно має місце в режимі, що не встановився, а саме: під час пуску, при гальмуванні, при переході на іншу частоту обертання. У таких режимах двигун повинен подолати сили інерції частин, що обертаються і.

Замінюючи всю систему одним еквівалентним тілом, що обертається, з моментом інерції J і кутовою швидкістю ω , можна кінетичну енергію виразити через еквівалентні величини:

$$A = J\omega^2/2.$$

Звідси потужність двигуна:

$$P_d = d/dt(A_d) = J\omega d\omega/dt.$$

Тоді при пуску $P_p = J\omega d\omega/dt + P_c$ та при гальмуванні:

$$P_T = J\omega d\omega/dt - P_c.$$

Динамічний момент:

$$\mu_d = P_d / \omega = J d\omega / dt = GD^2 / 375 \cdot dn / dt,$$

де $J = GD^2 / 4g$; $g = 9,81 \text{ м / с}^2$; GD^2 - маховий момент.

З рівняння моментів випливає, що характер руху приводу визначається співвідношенням величин та знаків моменту двигуна та статичного моменту. При $p > p_c$ прискорення $dca/dt > 0$, тобто має прискорення приводу. При $p < p_c$ прискорення $d\omega/dt < 0$, тобто відбувається уповільнення приводу. При $p = p_c$ прискорення $dm/dt = 0$, тобто привід працює в режимі, що встановився. Виходячи з вищевикладеного, слід правильно враховувати знаки, що стоять перед моментами p і p_c .

Двигун момент p , що розвивається електродвигуном, приймається позитивним, якщо його дія збігається з напрямком обертання, яке умовно приймають за позитивне. Якщо момент p спрямований назустріч руху (при гальмуванні), він вважається негативним.

У разі прямолінійного поступального руху за аналогією з обертальним рухом можна записати в такому вигляді:

$$F - F_c = m dV/dt,$$

де F - рушійна сила;

F_c – сила статичного опору;

V - швидкість поступального руху;

$m dV/dt$ – динамічна сила.

Прикладами електроприводу поступального руху можуть бути електромагнітний привід, молоти, вібратори тощо.

Проаналізуємо електромеханічне перетворення енергії електричної машини. Принцип її дії заснований на взаємодії магнітних полів, створюваних котушками індуктивності, завдяки якому виникає електромагнітний момент (або сила), що прагне змінити взаємне розташування цих котушок.

Частота обертання та момент електродвигуна тісно пов'язані з його електромагнітними величинами. Залежність кутової швидкості від струму називається електромеханічною (швидкісною) характеристикою та залежність кутової швидкості від моменту - механічною характеристикою електродвигуна.

Процеси перетворення енергії стосовно часу поділяються на динамічні та статичні. Динамічний режим характеризується безперервною зміною моментів, що обурюють, і швидкості: У тих випадках, коли ці зміни відбуваються періодично, режим називають квазивстановленим.

Стани електродвигуна в динамічних режимах описуються системою диференціальних рівнянь та залежність кутової швидкості в динамічному режимі від електродинамічного моменту за видом:

$$\left(\frac{d\mu_{\varepsilon}}{dt} \neq 0; \quad \frac{d\omega}{dt} \neq 0 \right).$$

Ступінь впливу динамічного навантаження на миттєву кутову швидкість електродвигуна оцінюється динамічною жорсткістю:

$$|\beta_D| = \Delta\mu_{\varepsilon d} / \Delta\omega_d,$$

Статичний режим характеризується постійними моментами та кутовою швидкістю:

$$\left(\frac{d\mu_{\varepsilon}}{dt} = 0; \quad \frac{d\omega}{dt} = 0 \right),$$

Зміна потужності двигуна пов'язана з виконанням будь-якої технологічної операції, викликає відповідну зміну моменту та частоти обертання електродвигуна.

Ступінь впливу зміни статичного навантаження на кутову швидкість електродвигуна оцінюється статичною жорсткістю механічної характеристики:

$$\beta_c = d\mu_{\varepsilon} / d\omega.$$

Механічні характеристики електродвигунів, що відповідають номінальним (паспортним) даним за відсутності будь-яких додаткових

резистивних та реактивних елементів у схемі включення обмоток статора або ротора, називаються природними характеристиками. При введенні додаткових елементів у схему включення електродвигуна або відхилення напруги від номінального живлення виходять штучні характеристики.

На рис. 3.4 представлена схема умовно-логічної дії АЕД, що пояснює принцип роботи асинхронного електродвигуна.

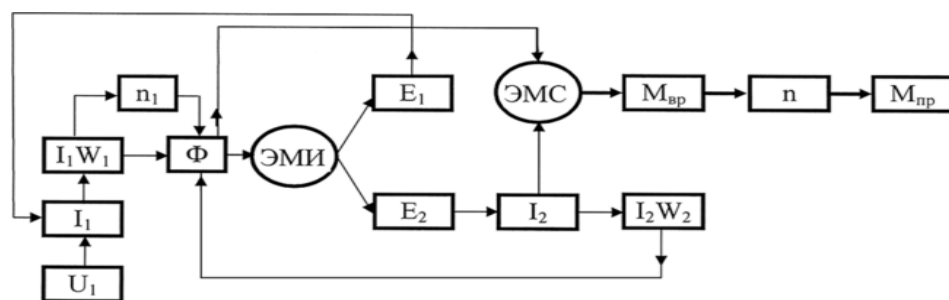


Рис 3.4. Схема умовно-логічної дії асинхронного електродвигуна

До трифазної обмотки статора підводиться симетрична трифазна напруга у кожній фазі обмотки протікає струм I_1 який створює МД $I_1 W_1$ і магнітний потік Φ обертається із частотою p . Останній перетинає обмотку ротора і згідно із законом електромагнітної індукції (ЕМІ) наводить в обмотках статора та ротора ЕРС E_1 та E_2 . ЕРС, разом із напругою U_1 визначає струм I_1 в обмотці статора. В обмотці ротора під впливом ЕРС E_2 протікає струм I_2 , що створює МДС ротора $I_2 W_2$. МДС $I_2 W_2$ і $I_1 W_1$ визначають результуючий робочий магнітний потік Φ . Струм I_2 , взаємодіючи з магнітним потоком Φ відповідно до закону електромагнітної сили (ЕМС), створює момент, що обертає $r_{вр}$, який спільно з протидіючим моментом визначає частоту обертання валу двигуна p .

Принципова особливість АЕД - наявність ковзання ротора відносно магнітного поля, що обертається, залежить від навантаження. При навантаженні ротор обертається із частотою p , а полі — із частотою p_1 .

Відношення різниці між ними, тобто «, - п до частоти обертання поля, називається ковзанням S :

$$S = (n_1 - n)/n_1,$$

Механічні характеристики АЕД розраховуються за формулою, одержаною з еквівалентної схеми (рис. 3.5).

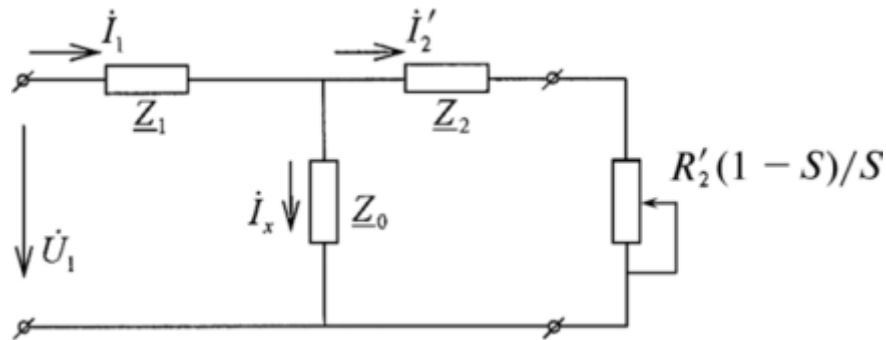


Рис. 3.5. Схема заміщення АЕД

Тому механічні характеристики двигуна відіграють істотну роль при виборі приводного двигуна.

Графік «(р) представлено на рис. 3.6. Все сказане про характерні точки та ділянки графіка р(5) справедливо і для графіка я(р).

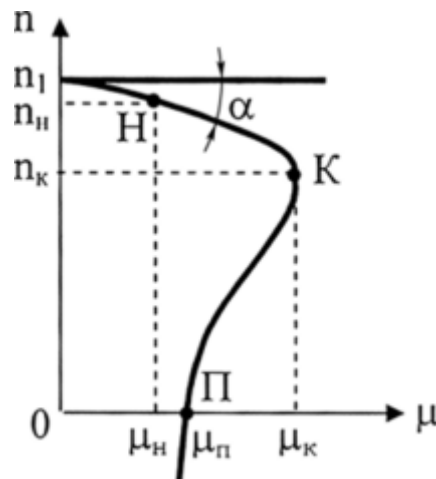


Рис. 3.6. Графік механічної характеристики асинхронного двигуна

Так, на робочій ділянці П - пн залежність я(р) лінійна. Так як на цій ділянці $S = ((s)R_2)/(3pU)$ то, підставляючи значення S в вираз $n = n_1(1 - S)$, матимемо:

$$n = n_1 - \mu(\omega_1 R'_2)/(3pU_1^2).$$

Швидке та ефективне гальмування необхідне для багатьох механізмів ГМК, особливо для тих, у яких є великі маси, що обертаються (шнек, погрузчики, та ін.). Від швидкого гальмування значною мірою залежить продуктивність праці та безпека. Крім того, швидке гальмування необхідне з точки зору заходів з охорони праці.

Проаналізуємо вимірювальні перетворювачі (датчики), які застосовуються в системах управління складними динамічними об'єктами ГМК.

Контроль та реєстрація множини неелектричних величин у ГМК здійснюється за допомогою електричних приладів. Необхідним елементом таких приладів є вимірювальний перетворювач - пристрій, що перетворює контрольовану величину на іншу (зазвичай, електричну) величину, зручну для передачі та застосування.

Параметричні вимірювальні перетворювачі для електричних засобів ГМК

Вихідною величиною параметричних перетворювачів є, як правило, один із параметрів електричного ланцюга (R , L , C).

Реостатні перетворювачі (R) у найпростішому випадку є реостатом, положення двигуна якого є функцією вимірюваної величини. Каркаси перетворювачів виконуються з діелектриків (пластмаси, кераміки), дріт для обмотки - з константану чи ніхрому. Перевагами реостатних перетворювачів є висока точність, простота конструкції. Недоліками - наявність ковзного контакту, потреба у спеціальному приводі для переміщення двигуна.

Найбільшого поширення набула тороїдальна форма потенціометрів каркасів, яка завдяки малому радіусу повзунка дозволяє знизити до мінімуму момент, необхідний для переміщення повзунка. Тензочутливі перетворювачі (тензорезистори) мають вигляд, представлений на рис. 3.7.

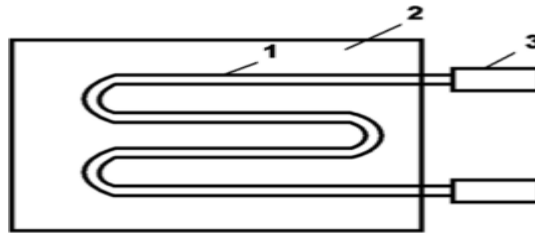


Рис. 3.7. Схема тензорезистору

Тензорезистори виготовляються зазвичай із константанового дроту 1 діаметром 0,02—0,05 мм (коефіцієнт тензочутливості $ST = 1,9 \dots 2,1$). Опір константанта мало залежить від температури, що вигідно відрізняє його від інших матеріалів, так як зміна опору від температури нерідко можна порівняти зі зміною опору від деформації.

Підкладкою 2 служить тонкий папір (0,02-0,05 мм), плівка лаку або клею; 3 - контакти. Зв'язкою між дротом та підкладкою є клей БФ-2 та ін.

При накладенні перетворювача на об'єм об'єкта поздовжня вісь дріотної решітки повинна збігатися з напрямком деформації. Похибка тензорезисторів у межах $\pm 1\%$.

Індуктивні перетворювачі (L) також належать до параметричних.

Індуктивність і взаємна індуктивність котушок є функціями числа їх витків та магнітного опору магнітопроводу, який, у свою чергу, є функцією його геометрії та магнітного стану.

Принцип роботи індуктивних датчиків заснований на зміні індуктивності при зміні вхідної величини, як використовується переміщення сердечника.

Робота індуктивного датчика описується рівнянням залежності індуктивності дроселя L із залізним осердям від його параметрів:

$$L = W / [R + l_M / (\mu_r \mu_0 S)]; \quad R_M = l_M / (\mu_r \mu_0 S),$$

де W-кількість витків обмотки дроселя; R - магнітний опір повітряного зазору; μ_r - Відносна магнітна проникність матеріалу сердечника; μ_0 - магнітна постійна; S - площа поперечного перерізу магнітопроводу; R_M - магнітний опір.

Для живлення індуктивних датчиків використовується змінний струм промислової чи вищої частоти.

Широке застосування отримали двотактні (реверсивні) індуктивні датчики, зібрані за диференційною чи бруківковою схемами (рис. 3.8).

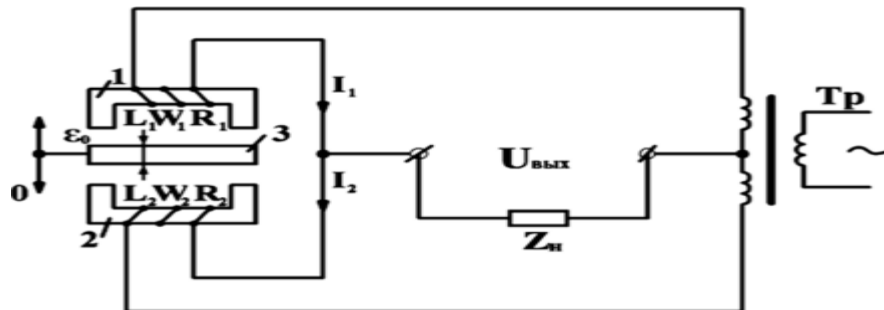


Рис 3.8. Схема двотактного індуктивного датчику

У цьому випадку магнітна система датчика складається з двох однакових сердечників 1 і 2 та загального для них якоря. На них розташовуються обмотки з однаковим числом витків $W_1 = W_2$ та однаковим активним опором $R_1 = R_2$.

У середньому положенні якоря, коли повітряні зазори між якорем і сердечниками однакові й рівні 50, а індуктивність обмоток однакова за відповідними обмотками протікають однакові струми, бо в кожен напівперіод живильна напруга спрямована зустрічно і різниця струмів в навантаженні дорівнює нулю, і вихідна напруга також дорівнює нулю. Отже, у середньому (нейтральному) положенні якоря схема збалансована.

При відхиленні якоря від середнього положення, наприклад, вниз, рівновага схеми порушується, оскільки струм збільшується, змінюється на 180° при зміні напрямку відхилення якоря від середнього положення.

Розглянуті індуктивні датчики мають такі недоліки: невеликий діапазон лінійної ділянки статичної характеристики); порівняно мала чутливість; велика залежність чутливості датчика від змін частоти струму.

Датчики Холла, поміщені в повітряний зазор під головним полюсом електричної машини, забезпечують непрямий вимір поточного значення ЕРС двигуна. При цьому в напівпровіднику зі струмом під дією зовнішнього

магнітного поля з індукцією виникає поперечна ЕРС, величина якої дорівнює:

$$E_x = -(k_x/d)IB,$$

де k_x - постійна Холла; d – ширина напівпровідника.

Пропускаючи через датчик Холла струм (I) від тахогенератору, пропорційний швидкості машини, можна отримати сигнал, пропорційний ЕРС машини. Датчики Холла можуть працювати як на змінному, так і постійному струмі.

Датчики Холла використовуються у приводах машин для керування, наприклад, процесом намотування канату, руху стрічки конвеєру тощо.

Ємнісні перетворювачі (C) також є різновидом параметричних перетворювачів. Місткість плоского конденсатора прямо пропорційна діелектричній проникності ϵ_d , площі його пластин S і назад пропорційна відстані між ними:

$$C = \epsilon_d S/d.$$

Отже, зміною S та d можна змінювати ємність конденсатору.

Найбільш простими є перетворювачі зі змінним зазором d (рис. 3.9) і перетворювачі зі змінною активною площею пластин. Перші використовуються для виміру малих переміщень (до 1 мм). Вони мають нелінійну функцію перетворення, мають високу чутливість.

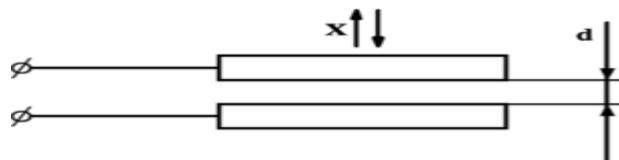


Рис. 3.9. Схема ємнісного перетворювача

Другі використовуються для вимірювання великих переміщень (понад 1 мм). Вони легко реалізувати лінійну функцію перетворення шляхом профілювання пластин, проте чутливість таких перетворювачів невисока.

Ланцюги з ємнісними перетворювачами живляться струмами високої частоти (десятки мегагерц).

До переваг ємнісних перетворювачів відносяться висока чутливість і мала інерційність, а до недоліків - помітний вплив зовнішніх електричних полів, температури, вологості.

Одиниця виміру ємності - фарада ($1 \text{ Ф} = 1 \text{ А С/В}$).

Найпростіший варіант виконання та використання ємнісного датчика ілюструє схема рис. 3.10.

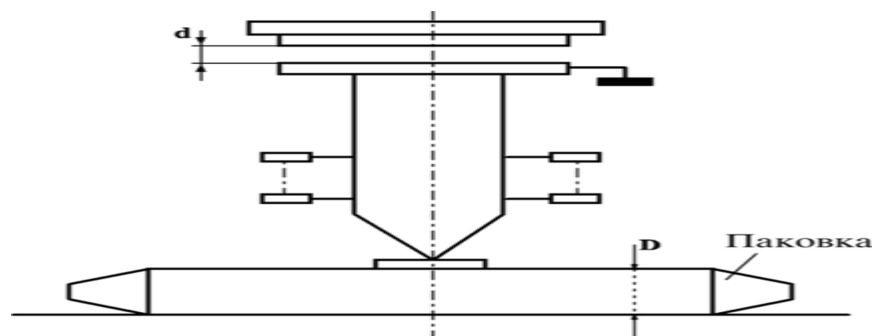


Рис. 3.10. Схема ємнісного датчику контролю

Датчик може бути використаний для контролю діаметрів пакувань (D). Діаметр визначає відстань між пластинами, що виконують функції обкладок конденсатору, ємність якого вимірюється. Одна із пластин нерухома, а інша пов'язана з рухомим щупом, що контролює вимірюваний діаметр. Кожному діаметру пакування відповідає певна ємність пластин. Такий ємнісний датчик.

Активно-ємнісний вимірювальний міст (рис. 3.11). Зміна ємності конденсатора перетворюється на виході моста в напругу, яка знімається з діагоналі моста і підводиться до підсилювача.

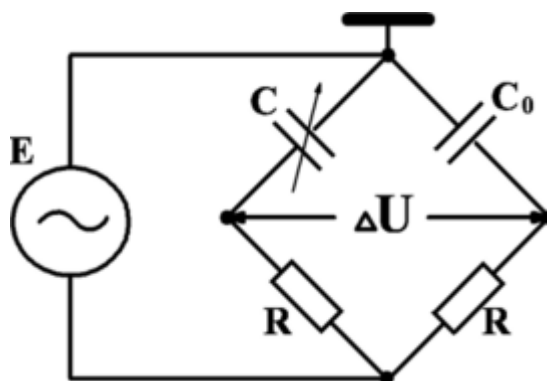


Рис. 3.11.. Схема активно-ємнісного вимірювального мосту

Вимірювальні генераторні перетворювачі. Принциповою відмінністю генераторних перетворювачів від параметричних є та обставина, що в них використовується активний елемент, а тому вони не потребують додаткового джерела живлення.

Термоелектричні перетворювачі засновані на відомому термоелектричному ефекті виникнення ЕРС у точках з'єднання двох провідників з різних матеріалів за різниці температур цих точок. Прилад, що ґрунтується на термоелектричному ефекті, називається термопарою (рис. 3.12).

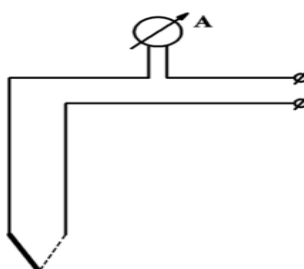


Рис 3.12. Схема термопары

При вимірі температури нагрітих тіл як датчик використовується термопара або термометр опорів, або температура визначається по опорі напівпровідникового теплового елемента - термістора (рис.3.13), у якого температурний коефіцієнт опору найбільший.

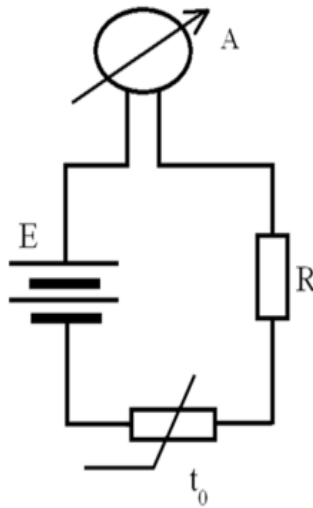


Рис. 3. 13 Схема термістору

П'єзоелектричні перетворювачі діють з використанням п'єзоелектричного ефекту збудження зарядів на поверхні деяких кристалів під впливом механічної напруги.

Найбільш яскраво виражений п'єзоефект у кристалах кварцу. Крім того, кварц має високу механічну міцність, стабільність характеристики при зміні температури середовища і хороші ізоляційні якості.

Кварцові перетворювачі мають нелінійну залежність між тиском та зарядом на поверхні, а отже, і різницю потенціалів.

Перевагами п'єзоелектричних перетворювачів є висока чутливість, простота і надійність конструкції, недоліками — можливість вимірювання величин, що швидко змінюються, оскільки заряд швидко «стікає» з поверхні перетворювача.

Фотометричні датчики використовуються при оцінці ступеня прозорості середовищ (рідини, газу, тонких шарів твердих речовин) або відбиття покриттів; як датчик-перетворювач часто використовують фотоопір, що являє собою напівпровідникову пластинку (рис. 3.14), у якої під дією світла змінюється ЕРС (E) і провідність (ν), що призводить до зміни струму (Γ) в ланцюзі.

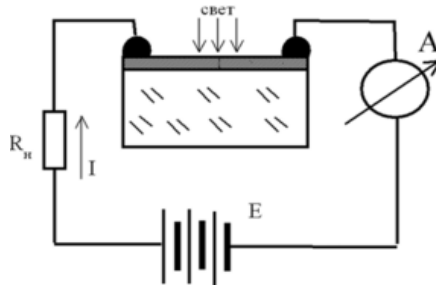


Рис 3.14 Схема фотоелектричного датчику

По вихідному струму судять про інтенсивність світлового потоку, що пройшов через середовище або відбитого нею. Значення світлового потоку і попередньо знята характеризують ступінь прозорості середовища.

Сельсинні датчики для машин ГМК, що самосинхронізуються. Вони призначені для синхронної передачі кута або для отримання напруги, пропорційного куту неузгодження сельсинів датчика і приймача. Сельсини застосовують у схемах керування електроприводами машин.

Залежно від величини моменту опору механізму застосовують індикаторну або трансформаторну схему включення сельсинів (рис. 3.15).

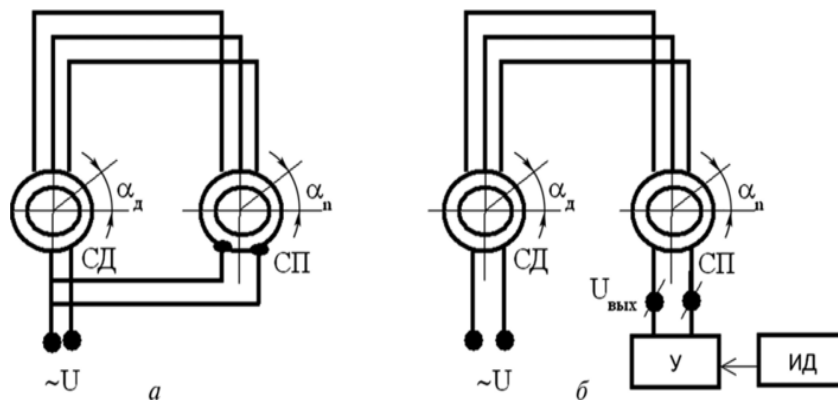


Рис. 3.15. Схеми індикаторна (а) та трансформаторна (б) включення сельсинів

Сельсини бувають трифазні та однофазні. Трифазні сельсини конструктивно виконані так само, як і асинхронні двигуни з контактними кільцями. Однофазні сельсини є поворотним трансформатором, в якому

обмотка збудження створює пульсуючий магнітний потік, що наводить в обмотці синхронізації ЕРС, яка залежить від кута повороту ротора:

$$E = E_{\max} \cdot \cos \Theta,$$

де $E_{\max}$ - максимальне значення ЕРС, В.

В індикаторному режимі зазвичай працюють два сельсина одного типу: сельсин-датчик ЦД та сельсин-приймач СП. Обмотки збудження сельсинів підключені до однофазної мережі змінного струму. Обмотки синхронізації з'єднані лінією зв'язку. Різниця між кутами повороту ротора сельсина-датчика та сельсина-приймача називається кутом неузгодженості.

При порушенні рівноваги ЕРС в обмотках синхронізації та лінії зв'язку з'являться струми. В результаті взаємодії цих струмів з потоком обмотки збудження сельсина-приймача виникає крутий (синхронізуючий) момент, який повертатиме ротор приймача доти, доки він не прийде в положення, узгоджене з ротором сельсина-датчика.

Індикаторна схема застосовується там, де момент опору на веденій осі малий за величиною або зовсім відсутня. Для передачі кута повороту сельсина-датчика на відстань з подоланням значного моменту опору використовують трансформаторний режим роботи сельсинів. При виведенні ротора сельсина-датчика з узгодженого положення на вихідній обмотці приймача сельсина з'являється напруга U . Ця напруга подається на вхід підсилювача і після перетворення потрапляє на обмотку управління виконавчого двигуна ВД, який, переміщуючи об'єкт управління, одночасно зменшує кут неузгодженості між ЦД і СП. Коли сельсини прийдуть у узгоджене положення, вихідна напруга дорівнюватиме нулю і вся система прийде в рівновагу.

Трансформаторний режим роботи сельсинів (рис. 3.15б) широко використовується в стежать системах, призначених для здійснення синхронного і синфазного обертання двох валів, механічно між собою пов'язаних. Один з валів є вхідним і зазвичай вимагає свого переміщення

невеликих зусиль, інший — вихідним і, зазвичай, щодо його переміщення необхідні значні зусилля. У цьому випадку напруга живлення подається тільки на один з роторів, зазвичай на ротор ЦД, а з обмотки ротора СП знімається напруга. Вихідна напруга дорівнюватиме нулю при різниці кутів повороту, що дорівнює 90° , так як результуючий потік в цьому випадку не перетинає витків обмотки ротора приймача. Це і приймається за нульове. Будь-яке неузгодженість супроводжується появою напруги на виході, причому величина вихідної напруги в поширених конструкціях є функцією синуса кута неузгодженості:

$$U_{\text{ВЫХ}} = K \cdot \sin \Theta_{\text{ВХ}},$$

де $K \sim 1 \text{ В/град.}$

Точність роботи сельсинової пари в трансформаторному режимі вища, ніж у індикаторному.

Сельсинна пара може працювати у системі автоматичного регулювання у трансформаторному, а й у обертальному режимі. У цьому варіанті обмотки статорів отримують живлення від загального джерела трифазної напруги, через що в датчику і приймачі створюються кругові, що синхронно і синфазно обертаються магнітні поля. Величини ЕРС, що наводяться в роторах датчика та приймача, при цьому завжди залишаються незмінними, а їхня фаза залежить від положення ротора. Величина неузгодженості визначається величиною фазового зсуву напруги роторів датчика і приймача. Отже, у фазорозважальному режимі на відміну від трансформаторної напруга несучої частоти (напруга живлення) модулюється не по амплітуді, а по фазі. Фазова модуляція менш чутлива до перешкод, але виявлення неузгодженості потрібне для застосування додаткового фазочутливого елементу.

Сельсинові датчики широко застосовують у пристроях для керування механізмів обертання. В цьому випадку обмотка збудження сельсина підключена до джерела стабілізованої напруги, а дві фази трифазної обмотки

пов'язані з вхідним пристроєм регулятора. При повороті валу сельсину в обмотках статора наводиться ЕРС, величина якої пропорційна зміні контрольованої величини.

Датчик-сельсин застосовується в системах керування процесом в режимі фазового обігу. У цьому режимі трифазна обмотка ротора отримує живлення від нерегульованого джерела трифазної напруги. Величина ЕРС, що наводиться в однофазній обмотці статора, залишається незмінною, а змінюється лише зсув фази в залежності від кута повороту вала сельсина. Це дозволяє включати датчик безпосередньо до підсилювача без будь-яких фазозсувних пристроїв.

На основі безконтактних сельсинів розроблені датчики натягу канату, які дозволяють досить точно фіксувати величину натягу в процесі намотування. Датчики складаються з важеля, закріпленого на валу сельсина, і перетворювача - власне сельсина. На рис. 3.16 показано схеми безконтактних датчиків залежно від способу завдання робочого натягу.

Датчик натягу канату з механічним завданням натягу (рис. 3.16, а) використовує як датчик вантажу 3. Живлення трифазної обмотки сельсина 2 здійснюється від джерела живлення 1, що не регулюється.

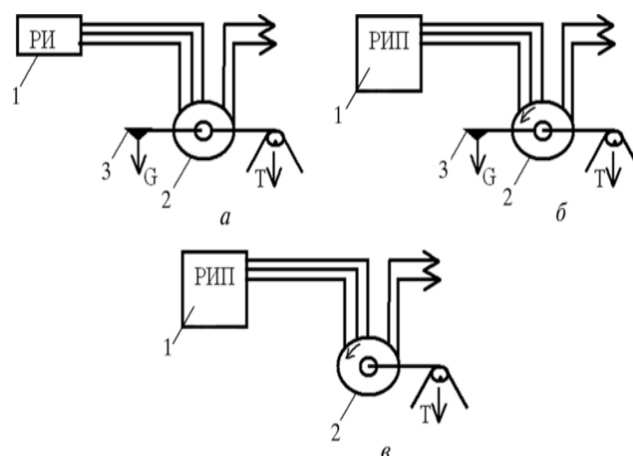


Рис. 3.16. Схеми безконтактних датчиків: а - датчик натягу канату з механічним завданням натягу; б - датчик натягу з електромеханічним завданням натягу; в - електронний датчик натягу

Датчик натягу з електромеханічним завданням натягу канату (рис. 3.16 б) виконаний на базі сельсина 2, однак величина заданого натягу визначається не тільки масою вантажу 3, але і величиною електромагнітного (реактивного) моменту сельсина. Величина реактивного моменту визначається за допомогою регульованого джерела живлення 1 (РП), який виконаний на базі трифазного трансформатору з керованою вторинною напругою. Перевагою електромеханічних датчиків є те, що при багатомісному керуванні намотувальними пристроями є можливість при зміні асортименту за допомогою РП змінювати напруги, причому за допомогою вантажу G компенсуються збурення, викликані мінімально можливим натягом канату для даного пристрою, а великі натяги компенсуються електромагнітним моментом сельсина.

Електричний датчик натягу (рис. 3.16, в) дозволяє практично виключити вантаж і змінювати величину сигналу, що задає шляхом зміни напруги РП 1 на трифазній обмотці сельсина 2. Тахогенератори широко застосовують у автоматизованих приводах натягу канатів та стрічок конвеєрів у вугільній промисловості. Їх використовують, по-перше, для вимірювання швидкості обертання частин виробничих машин та, по-друге, для здійснення зворотних зв'язків із швидкістю приводу. Тахогенератори бувають постійного струму (з незалежним збудженням або з постійними магнітами) та змінного струму (асинхронні та синхронні). У приводах гірничих машин найбільшого поширення набули тахогенератори постійного струму (рис.3.17).

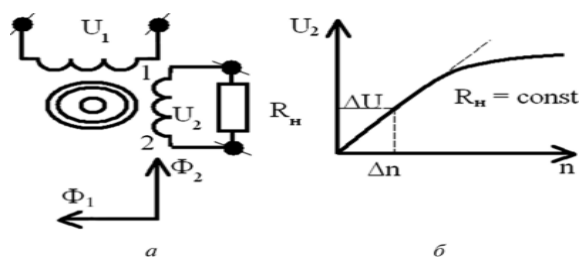


Рис 3.17 Схема асинхронного тахогенератору: а - схема з'єднання; б - залежність вихідної напруги від швидкості обертання ТГ вимірювальними пристроями швидкості, важливе значення мають: крутість характеристики U_2

$= Y(n)$ або відносна чутливість, а також величини похибок та залишкових напруг. Вони є невеликими машинами постійного струму, що працюють в генераторному режимі і призначені для перетворення механічного переміщення (обертання валу) в електричний сигнал — вихідна напруга.

Асинхронні тахогенератори з пристрою ротора поділяються на тахогенератори з порожнистим немагнітним ротором, і з коротко замкнутою обмоткою ротора. Конструкція тахогенератора з порожнистим ротором не відрізняється від керованого асинхронного мікродвигуна. У пазах статору розташовані дві обмотки, зміщені між собою на 90 град, (див. рис. 3.17), обмотка збудження, що живиться від мережі, та вихідна (генераторна) обмотка, приєднані до підсилювача або вимірювального приладу.

Обмотка збудження створює пульсуюче магнітне поле Φ . Якщо ротор нерухомий, то ЕРС вихідної обмотки дорівнює нулю через відсутність взаємоіндуктивності між обмотками. У роторі, що обертається, створюється ЕРС обертання, так як потік Φ_2 направлений по осі вихідної обмотки. Пульсуючи з частотою пропорційної швидкості обертання ротора (n) та кількості пар полюсів (p), потік Φ_2 наводить у вихідній обмотці ЕРС E_2 , що лінійно залежить від швидкості ротора при певних межах зміни останньої.

Також визначення нерівності риштаків ГМК, лінійної щільності укладання канату (тросу) тощо може здійснюватися приладом з ємнісним датчиком (рис. 3.18).

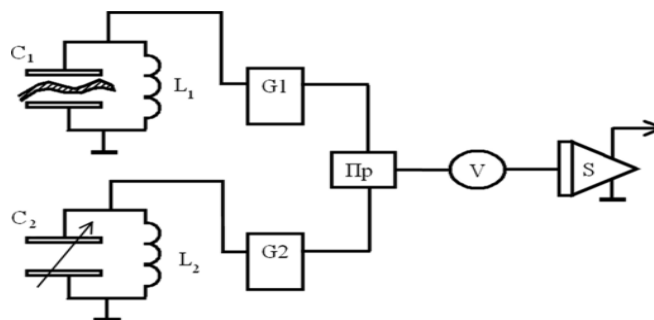


Рис 3.18. Схема для вимірів нерівностей риштаків ГМК на основі ємнісних датчиків.

Коливальні контури генераторів G1 та G2 утворені конденсаторами змінної ємності Cj та C2 та індуктивностями Lj та L2. Ємність конденсатора змінюється на функції товщини, введеної між його обкладинками. Місткість конденсатора C2 регулюється зміною положення пластин і є зразковою.

Частота коливання контуру залежить від ємності конденсатору, яка є функцією лінійних зазорів. Різниця частот генераторів G1 і G2 вимірюється частотоміром і перетворюється на напругу, яка після інтегрування виражає коефіцієнт нерівності тощо. Установка стрілки вимірювального приладу в нульове положення забезпечується конденсатором C2.

3.3. Регульований електропровід як засіб енергозбереження в гідравлічних системах ГМК

Проаналізуємо вибір потужності приводного двигуна механізмів ГМК. При зниженні напруги на навантаженні регулятор напруги зменшує величину магнітного потоку двигуна, що призводить до зростання втрат і перевищення температури обмоток двигуна за рахунок погіршення умов вентиляції при зниженні кутової швидкості. Звідси необхідність зниження величини допустимого моменту, отже, і завищення номінальної потужності двигуна проти потужністю на валу. При цьому коефіцієнт завищення потужності двигуна, що керується за допомогою регуляторів напруги, визначається допустимими втратами активної потужності в роторному ланцюзі, що виникають у процесі регулювання частоти обертання.

При регулюванні частоти обертання двигуна втрати в роторному ланцюзі електродвигуна, що працює на регульовальних характеристиках, пропорційні ковзанню S і визначаються із співвідношення:

$$\Delta P_2 = \mu \cdot \omega_0 - \mu_{\omega} = P_B S / (1 - S),$$

де P_B – корисна потужність на валу двигуна;

S - ковзання;

p - момент навантаження;

P - коефіцієнт пропорційності;

n - ціле число, що враховує характер навантаження.

Корисна потужність на валу двигуна:

$$P_{\text{в}} = \omega \cdot \mu = \beta \cdot \omega_0^{n+1} \cdot (1 - S)^{n+1}.$$

Тоді максимальна механічна потужність:

$$P_{\text{в max}} = \beta \cdot \omega_0^{n+1}.$$

Після відповідних перетворень можна отримати так званий коефіцієнт розсіювання потужності в роторі:

$$\Delta P_2 / P_{\text{в max}} = S(1 - S)^n.$$

Максимальний коефіцієнт розсіювання потужності знаходимо, прирівнявши

$$d\Delta P_p / dP_{\text{в max}} = 0; \quad \Delta P_{2 \text{ max}} / P_{\text{в max}} = n^u / (1 - n)^{1+n}.$$

Вирішуючи останні два рівняння, знаходимо величину ковзання S , при якій можливі максимальні втрати:

$$S = 1/(1 + n).$$

З отриманих рівнянь видно, що з постійному навантаженні максимальний коефіцієнт розсіювання потужності становить 1 і відповідає зупинці двигуна; при вентиляторному навантаженні максимум коефіцієнта розсіювання потужності досягає 0,148 і відповідає ковзанню, що дорівнює 0,1. Звідси випливає, що потужність валу двигуна, керованого з допомогою регуляторів напруги, значною мірою залежить від характеру навантаження. Тому при виборі потужності двигуна слід враховувати залежність статичного навантаження на його валу від частоти обертання.

Найбільш доцільною з погляду втрат потужності у роторному ланцюгу є вентиляторне навантаження. В цьому випадку момент на валу двигуна різко зменшується при зниженні швидкості. При повторно-короткочасному та короткочасному режимах роботи коефіцієнт завищення потужності двигуна

проводиться з урахуванням графіка роботи механізму і може бути дещо занижений.

При виборі потужності приводного двигуна слід враховувати, що застосування коротко замкнутих регульованих приводів обмежено через невелику величину номінального ковзання серійних двигунів. Двигуни з підвищеним ковзанням дозволяють збільшити діапазон регулювання, тому що в цьому випадку $S=0,15$. Більш широкий діапазон регулювання частоти обертання приводу забезпечують двигуни зі спеціальним виконанням ротора (масивним, порожнистим та ін), причому зміна частоти обертання приводу в цьому випадку можна отримати в межах.

На відміну від звичайного АЕД, де штучно розділені магнітопровід і струмопровідна частина, наприклад, з масивним ротором об'єднує обидві ці функції, будучи одночасно і магнітопроводом, і обмоткою. Слід зазначити, що для вирішення завдань, пов'язаних з розрахунком та вибором двигунів з масивним ротором для приводів пристроїв, що намотують, необхідно знати його механічну характеристику.

Регулятори швидкості з масивним роторним двигуном можуть працювати як у режимах регулювання частоти обертання, так і в режимі саморегулювання. У режимі саморегулювання точність підтримки постійного натягу визначається ступенем наближення механічної характеристики об'єкта до механічної характеристики приводного двигуна. Для підвищення чутливості приводу і розширення асортименту, що переробляється, використовується настановне регулювання, яке досягається за рахунок зниження напруги на статорній обмотці. Подібні системи працюють у виробництвах хімічного волокна. У вітчизняній практиці вони отримали застосування при намотуванні технічних ниток та джгутів.

Для отримання різних механічних характеристик використовується настановне централізоване та настановне індивідуальне регулювання. Централізоване регулювання здійснюється зміною напруги живлення за допомогою генераторної установки і автотрансформатора одночасно всіх

робочих місць машин. Індивідуальне підстроєне регулювання здійснюється, наприклад, за допомогою потенціометра, включеного в одну із фаз трифазного двигуна.

Регулювання частоти обертання пристроїв, що намотують троси та стрічки забезпечується зміною напруги на клеммах двигуна. Набув поширення привод виконаний з двигуном з масивним ротором і симетричною системою управління останнім. Привід встановлений для керування барабанною частиною машини і забезпечує зміну частоти обертання в діапазоні в залежності від кута повороту сельсинового валу, який є функцією зміни технологічних параметрів на попередніх операціях. Для малопотужних приводів пристроїв з постійною подачею канату або стрічки знаходять застосування несиметричні системи регулювання, в яких здійснюється управління за одним каналом. Використання таких систем дозволяє спростити систему управління та підвищити її надійність.

На рис. 3.19 наведена структурна схема системи регулювання, що забезпечує натяг канату або стрічки (нитки) T конвеєру.

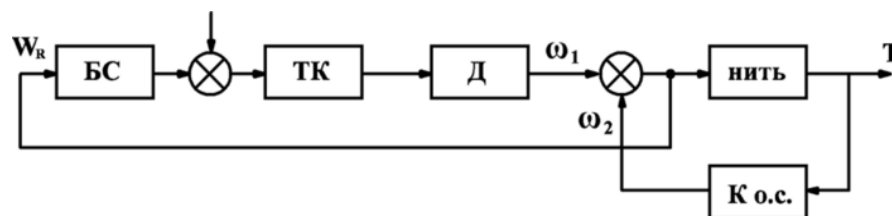


Рис. 3.19. Схема структури системи регулювання натягу T канату.

Схема має безконтактний датчик натягу БС, тиристорний регулятор напруги ТК і виконавчий двигун Д, що приводить в обертання барабанний механізм. Підтримка постійного натягу у міру зміни діаметра пакування забезпечується за рахунок введення зворотних зв'язків, що здійснюються безпосередньо ниткою. Один зв'язок виконується безпосередньо через систему важеля датчика натягу канату, яка інтегрує різницю лінійних швидкостей випуску і намотування і перетворює її в кут повороту ротора

сельсина. Інша забезпечується натягом нитки канату та за рахунок саморегулювання двигуна призводить до зменшення кутової швидкості на деяку величину.

Система працює наступним чином: при намотуванні канату на порожній барабан важільна система датчика знаходиться у рівноважному стані в положенні, що визначається посиленням нитки, початкова частота обертання відповідає заданому значенню натягу. У разі збільшення діаметру пакування зростає лінійна швидкість намотування, а отже, і натяг нитки канату, яке за рахунок зусиль, що діють на канат, викликає поворот валу сельсина на певний кут. Сигнал з сельсину надходить на тиристорний комутатор, який знижує напругу двигуна до величини, що відповідає початковому значенню натягу. Важільна система датчика займе нове стійке положення та перебуватиме у цьому стані до наступного впливу, що обурює.

Загальні відомості про регульовані об'єкти енергоємного технологічного обладнання ГМК стосуються автоматизації електрообладнання та технологічного процесу і складаються з наступних елементів: автоматизації контролю, управління процесом, регулювання та захисту.

Автоматизація контролю забезпечує систематичне спостереження за перебігом технологічного процесу за допомогою контролюючих та приладів реєстрації. Автоматизація управління процесом полягає в автоматичному пуску, гальмуванні, зміні швидкості та реверсуванні механізмів з необхідною послідовністю включення приводів механізмів ГМК. Автоматизація регулювання здійснює раціональне перебіг процесу функції технологічних параметрів із заданою точністю. Автоматизація захисту забезпечує справний стан механізмів шляхом своєчасного відключення їх при режимах, що загрожують нормальній роботі. Автоматизована система керування електроприводом містить три основні елементи: датчик, проміжний та виконавчий пристрій.

Датчики сприймають дію керуючих величин (натягу, температури, вологості і т. д.) і перетворюють їх на електричні. Проміжні елементи посилюють отримані від датчиків сигнали і за необхідності розподіляють між кількома ланцюгами. Виконавчі елементи роблять необхідну зміну режиму роботи керованої технологічної машини, наприклад збільшують (зменшують) кількість обертів її головного валу, подачу пари і т. д., терморезистори, тензорезистори, фоторезистори, магніторезистори, датчики Холла, магнітні та електронні апарати та ін. До проміжних елементів відносяться реле часу, напівпровідникові, магнітні та електромагнітні підсилювачі тощо. До виконавчих елементів відносяться контактори постійного та змінного струму, електромагнітні муфти та гальма, реостати, серводвигуни та ін.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі магістерського рівня за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за означеною тематикою дано нове рішення актуальної наукової задачі, що полягає в удосконаленні та підвищенні ефективності роботи гідравлічних та електромеханічних засобів гірничих механізованих комплексів вугільних шахт, а також в обґрунтуванні можливості мехатронного управління системами видобувних комплексів.

Основні висновки, результати і рекомендації з роботи такі.

1. Обґрунтовано електромеханічну сутність та технічну доцільність удосконалення гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК на основі мехатроніки та автоматизації, що підвищує ефективність видобутку пластового вугілля з глибоких шахт.

2. Викладено аналітично межі визначення основних гідродинамічних та електромеханічних характеристик, що необхідні як функціональні параметри пристроїв – датчиків, процесорів, електродинамічних маніпуляторів-приводів для автоматизації мехатронної системи переміщення ригів ГМК, що реалізує ідею дослідження у напрямку досягнення його мети.

3. Визначено, що удосконалення гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК дозволяє підвищити ефективність механізованого видобутку вугілля із зниженням загальних витрат електричної енергії мехатронними засобами.

Новизну роботи розкривають такі твердження:

- визначено, що удосконалення гідродинамічних та електромеханічних приводів ГМК на основі мехатронних засобів та автоматизації є доцільним та ефективним в умовах вугільних шахт;

- встановлено, що електронні датчики дозволяють оперативно контролювати роботу ГМК і виявляти умови для переміщення конвеєру;
- проведено аналітичне обґрунтування електронних датчиків і параметрів електродинамічних, електронних та комп'ютерних засобів для автоматизації гідродинамічних засобів ГМК;
- запропоновано датчики електронного контролю гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК, що підвищують його ефективність.

Обґрунтованість і достовірність висновків та рекомендацій, отриманих в магістерській роботі, забезпечується використанням відомих методів математичного моделювання електродинамічних процесів і достатнім обсягом матеріалу, отриманого при інформаційному аналізі досліджуваних питань гідравлічних та електромеханічних засобів ГМК .

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі закономірностей гідравлічних та електромеханічних процесів ГМК, обґрунтовано параметри мехатронних та електромеханічних пристроїв , що дозволяють удосконалити роботу комплексу і отримати вагомий виробничий ефект з видобутку вугілля.

Результати, висновки та матеріали дослідження можуть бути застосовані в таких напрямках:

- для розробки перспективних планів удосконалення гідродинамічних засобів та маніпуляторів з оснащення гірничих механізованих комплексів вугільних шахт;
- у заходах з підвищення ефективності роботи ГМК вугільних шахт на основі чіткого спрацювання гідравлічних маніпуляторів, керованих мехатронними засобами, у виробничих діях.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Офіційний веб-сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Енергетичне забезпечення шахт. [Електронний ресурс] / Document.ua. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/index>.
2. Методы и средства обеспечения энергетической эффективности угольных предприятий [Текст] / В.И. Логвиненко, Б.А. Грядущий, Н.А. Чехлатый, В.Н. Мялковский. // : тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. – К.: Аверс, 2003 – 287 с.
- 3 Coal. Information 2000-2018 // International Energy Agency Statistics, OECD/IEA, 2018. Джерело: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2018_coal-2018-en
4. Energy prices & **taxes** 2000-2018 // International Energy Agency Statistics, OECD/IEA, 2018. Джерело: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2018_coal-2018-en
5. Coal, BP Statistical Review of World Energy June 2018 // BP, 2018. Джерело: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
6. Ministry of Coal, Govt. of India Производство и поставки угля в Индии // Министерство угольной промышленности Индии, 2017 г.
Джерело: <https://coal.nic.in>
7. Кондратьев В.Б. Глобальный рынок угля // М.: Горная промышленность. - 2017. - № 2. - С. 17-23. Джерело: <https://www.imemo.ru/publications/info/globalnyy-rinok-uglya>
8. ДСТУ 3224-95 (ГОСТ 30356-96) Енергозбереження. Методи визначення норм витрачання електроенергії гірничими підприємствами [Електронний ресурс] / Document.ua.– Режим доступу: [www/vpl: http:// document.ua/energozberezhennja.-metodi – Viznachennja – el–std 1367. html](http://www.vpl: document.ua/energozberezhennja.-metodi-Viznachennja-el-std-1367.html) – 10/05/2010 р.

9. Системи ефективного енергозабезпечення вугільних шахт [Текст] / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, В.Т. Заїка, Ю.Т. Разумний; за ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2004. – 206 с.
10. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования машин и механизмов / А.Е.Козярук, А.В.Кривенко, Ю.Л.Жуковский и др. / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2013. 90 с.
11. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. [Електронний ресурс] / Document.ua.– Режим доступу: [www/vpl: http://consultant.parus.ua/?doc=0390D8ADC0](http://www.vpl: http://consultant.parus.ua/?doc=0390D8ADC0).
12. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования, работающего в тяжелых условиях, по электрическим параметрам / А.Е.Козярук, Ю.Л.Жуковский, С.В.Бабурин и др. // Записки Горного института. 2011. Т.192. С.161-166.
13. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение / Н.Ф. Ильинский, В.В.Москаленко. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 208 с.
14. Відмінні риси машин сучасних механізованих комплексів / Н.І. Стадник, А.В. Сергєєв, А.В. Мєзніков, В.П. Кондрахіна. - Донецьк: С. 111.
15. До питання підвищення технічного рівня високопродуктивних комплексів / Семенченко А. К., Шабасєв О. Є., Семенченко Д. О., Степаненко О. Ю., Мотін Н. М. // Наукові праці Донецького національного технічного університету, випуск 14 (127), Серія: гірничо-електромеханічна, Донецьк – 2007.
16. Очисні механізовані комплекси для видобутку вугілля у довгих вибоях / Габов В.В. проф., // Гірська техніка – 2004.
17. Гірничі машини для підземного видобутку вугілля: Навчальний посіб. для вузів / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкін, Н.М. Лисенка, С.В.

- Павленко, В.В. Косарєв; За заг. ред.П.А. Горбатова. - Донецьк, 2006. - 669с.
18. Семенченко А.К., Д.Е. Макаренко, Ю.М. Кирилюк. Математична модель переміщення конвеєра та секції механізованого кріплення очисного комплексу. Наукові роботи ДонНТУ -2010.
 19. Баландін А.А. Дослідження гідросистем пересування секцій механізованих кріплень та вдосконалення методики їх розрахунку: дис. канд. техн. наук. - М., 1981. - 190 с.
 20. Хорін В.М. Гідравлічні системи механізованих кріплень/В.М. В.М. Хорін, С.В. Мамонтов, В.Я. Каштанова. - М.: Надра, 1971. - 388 с.
 21. Хорін В.М. Об'ємний гідропривід забійного обладнання / В.М. Хорін. - М.: Надра, 1980. - 415 с.
 22. . Пономаренко Ю.Ф. Інженерна методика проектного розрахунку параметрів гідросистеми механізованих кріплень / Ю.Ф. Пономаренко, О.О. Баландін. - М.: ІГД ім. А.А. Скочинського, 1981.
 23. Козярук А.Е. Направления повышения эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах / А.Е.Козярук, С.И.Таранов, А.В.Самозадов // Горное оборудование и электромеханика. - 2014. № 1. С.6-11.
 25. Федоров О.В. Частотно-регулируемый электропривод в экономике страны. М.: ИНФРА, 2011. 143 с.
 26. Випанасенко, С.І. Передумови створення систем енергоменеджменту вугільних шахт [Текст] / С.І. Випанасенко // Зб. наук. праць НГУ. – 2004. – № 20. – С. 136 – 143.
 27. Справочник по электроснабжению угольных шахт [Текст] / под ред. В.П. Морозова. – М.: Недра, 1975. – 576 с.
 28. Праховник, А.В. Контроль і нормалізація енергоспоживання [Текст] / А.В. Праховник, Г.Р. Трапп // Управління енерговикористанням: зб. доп. – К.: Изд-во Альянс за збереження енергії, 2001. – С. 387 – 397.

29. Випанасенко, С.І. Центри обліку енергії у системі енергоменеджменту вугільної шахти / С.І. Випанасенко // Наук. вісн. НГУ. – 2005.– № 10. – С. 89 – 94.
30. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посібник / Г.Г. Півняк, С.У. Випанасенко, О.І. Хованська та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 214 с.- Джерело: <https://core.ac.uk/download/pdf/48403299.pdf>
31. Краткий справочник горного инженера угольной шахты [Текст] / под общ. ред. А.С. Бурчакова и Ф.Ф. Кузюкова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 454 с. Джерело: https://www.studmed.ru/view/burchakov-as-kuzyukov-ff-kratkiy-spravochnik-gornogo-inzhenera-ugolnoy-shahty_449eb006966.html