

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, екології та хімічних технологій
Кафедра обладнання видобувних та переробних комплексів

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.А.Топоров
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2020 року

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

_____ Магістр _____

на тему: «Підвищення ефективності роботи дробоструминної установки»

Виконав: магістр 2 – го курсу, групи ТПМм – 19
спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка
переробки сировинних матеріалів» _____

_____ Герасименко Олександр Юрійович _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник доц.,к.т.н. Топоров Андрій Анатолійович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(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 – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет машинобудування, екології та хімічних технологійКафедра «Обладнання видобувних та переробних комплексів»Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки 0505 «Машинобудування»

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Техніка переробки сировинних матеріалів»**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри:

А.А.Топоров

_____	_____
(підпис)	(ініціали, прізвище)
“ _____ ”	_____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
 Герасименко Олександрю Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення ефективності роботи дробоструминної установки»

керівник роботи Топоров Андрій Анатолійович, доц., к.т.н.

затверджені наказом по університету від „___” _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання теоретичної частини (Розділ 1)		
2	Підвищення продуктивності (Розділ 3)		
3	Проведення експериментальних досліджень		
4	Обґрунтування технічних рішень і напрямів подальших досліджень і розробок		
5	Підготовка презентації		
6	Оформлення пояснювальної записки		

Студент _____
(підпис)

Герасименко О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Топоров А.А
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Герасименко О.Ю. Підвищення ефективності роботи дробоструминної установки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (спеціалізація «Техніка переробки сировинних матеріалів»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Актуальність теми магістерської роботи полягає в тому, що неправильна обробка поверхонь металу або погана їх обробка може спричинити аварійні ситуації на виробництві, які можуть спричинити до травм або загибелі людей.

Об'єкт дослідження: підвищення ефективності дробоструминної установки.

Предмет дослідження: конструкція установки та процес очистки поверхонь.

Мета роботи: запропонувати та обґрунтувати напрями підвищення ефективності дробоструминної установки.

В ході магістерської роботи для дослідження обрано дробоструминну установку; розкриті питання щодо ефективності обраної установки; змодельовані процеси, які мають місце при роботі дробоструминної установки; розроблене параметричне креслення дробоструминного колеса; проведені експериментальні дослідження, на основі яких визначено вплив навколишнього середовища на дробинку; створена база даних та запропоновано варіанти для підвищення ефективності роботи установки.

Моделювання в DEM Solutions та експериментальні випробування стали можливими завдяки програмі Міжнародного академічного обміну DAAD.

Окрема вдячність доктору технічних наук, професору Технічного університету Кайзерслаутерна Антонюку С.І. за організацію експериментальних досліджень.

**ЧАСТИНКИ, КОЕФІЦІЄНТ ВІДНОВЛЕННЯ, МІКРОСТРУКТУРА,
СПІВУДАРНА ПОВЕДІНКА, РІДИННІ СИЛИ, ВАКУУМНИЙ НАСОС,
ДРОБЕСТРУМ**

Список публікацій:

1. П.В. Белицький, О.Ю. Герасименко, Я.Р. Калмиков. Математична модель цільової функції багатокритеріальної оптимізації структури приводу стрічкового конвеєра // 4 Міжнародна конференція «Проблеми техніки та технології»: ст., Покровськ: ДонНТУ, 2018. УДК 621.314.26:622.647.2

2. О.Ю. Герасименко, М.В. Петряєв, А.А. Топоров, П.В. Трет'яков Порівняльно–оглядова характеристика піскоструминної та дробоструминної

установок // «Машинобудування і машинознавство», ст., Покровськ: ДонНТУ, 2019. – с.46. УДК 621.79.023

3. Ю.П. Полякова, О.Ю. Герасименко, А.А. Топоров, П.В. Трет'яков. Огляд установки для холодного газодинамічного наплення // «Машинобудування і машинознавство», ст., Покровськ: ДонНТУ, 2019. – с.53. УДК 621.793.7

4. О.Ю. Герасименко, М.В. Петряєв та ін. Вплив мікроструктури поверхні на ударну поведінку дрібних частинок в різних ситуаціях // «Машинобудування і машинознавство», ст., Покровськ: ДонНТУ, 2020. – с. – – . УДК

5. Ю.П. Полякова, О.Ю. Герасименко та ін. Дослідження ударної поведінки частки при взаємодії з підкладкою методом кінцевих елементів // «Машинобудування і машинознавство», ст., Покровськ: ДонНТУ, 2020. – с. – – . УДК

ANNOTATION

Herasymenko Oleksandr. Improving the efficiency of the shot blasting unit / Qualification work for obtaining an educational degree "Master" in specialty 133 Sectoral engineering (specialization "Technique of processing of raw materials"). – DonNTU, Pokrovsk, 2020.

The relevance of the topic of the master's thesis is that improper treatment of metal surfaces or their poor treatment can lead to accidents at work, which can lead to injury or death.

Object of research: increasing the efficiency of shotgun installation.

Subject of research: installation design and surface cleaning process.

Purpose: to propose and justify ways to increase the efficiency of shot blasting.

In the course of the master's work, a shot-blasting unit was selected for research; revealed questions about the effectiveness of the selected installation; simulated processes that take place during the operation of the shot blasting unit; developed parametric drawing of shot blasting wheel; experimental researches on the basis of which influence of environment on a grain is defined are carried out; created a database and proposed options to improve the efficiency of the installation.

The DAAD International Academic Exchange Program made modeling in DEM Solutions and experimental trials possible.

Special thanks to the doctor of technical sciences, professor of the Technical University of Kaiserslautern Antonyuk Sergiy for the organization of experimental research.

PARTICLES, COEFFICIENT OF RESTITUTION, MICROSTRUCTURE,
IMPACT BEHAVIOR, LIQUID FORCES, VACUUM PUMP, SHOT BLASTING
MACHINE

List of publications:

1. P. Belytskyi, O. Herasymenko, Y. Kalmykov. Matematychna model tsilovoi funktsii bahatokryterialnoi optymizatsii struktury pryvodu strichkovoho konveiera/ // 4 Mizhnarodna konferentsiia «Problemy tekhniky ta tekhnolohii», pub., Pokrovsk: DonNTU, 2018. UDK 621.314.26:622.647.2

2. O. Herasymenko, M. Petriaiev, A. Toporov, P. Tretiakov. Porivnialno–ohliadova kharakterystyka piskostrumynnoi ta drobostrumynnoi ustanovok // «Mashynobuduvannia i mashynoznavstvo», pub., Pokrovsk: DonNTU, 2019. – p.46. UDK 621.79.023

3. Y. Poliakova, O. Herasymenko, A. Toporov, P. Tretiakov. Ohliad ustanovky dlia kholodnoho hazodynamichnoho napylennia // «Mashynobuduvannia i mashynoznavstvo», st., Pokrovsk: DonNTU, 2019. – p.53. UDK 621.793.7

4. O. Herasymenko, M. Petriaiev and others. Vplyv mikrostruktury poverkhni na udarnu povedinku dribnykh chastynok v riznykh sytuatsiiakh // «Mashynobuduvannia i mashynoznavstvo», pub., Pokrovsk: DonNTU, 2020. – p. – – . UDK

5. Y. Poliakova, O. Herasymenko and others. Doslidzhennia udarnoi povedinky chastky pry vzaiemodii z pidkladkoiu metodom kintsevykh elementiv // «Mashynobuduvannia i mashynoznavstvo», st., Pokrovsk: DonNTU, 2020. – p. – – . UDK

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП	12
1. ІСНУЮЧІ ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ОЧИЩЕННЯМ ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ.....	14
1.1. Актуальність проблеми обробки металевих поверхонь	14
1.2. Загальні відомості про існуючі методи очистки.....	15
1.3. Порівняння існуючого обладнання для очистки поверхні металів	16
1.4. Вибір обладнання для очистки	19
2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДРОБЕСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ.....	21
2.1. Конструкція та принцип роботи установки	21
2.2. Технічні характеристики вибраної установки	26
2.3. Постановка задач дослідження.....	29
2.4. Конструктивні особливості установки	30
2.5. Ефективність дробеструминної установки	32
3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИ ДРОБЕСТРУМИННІЙ ОБРОБЦІ ..	34
3.1. Теорія відскоку	34
3.2. Теорія зіткнення	38
3.3. Рух частинок в рідинах.....	39
3.3.1. Вільне падіння без опору повітря.....	45
3.3.2. Падіння з опором повітря.....	47
3.4. Моделювання роботи дробеструминної установки	50
3.5. Моделювання падіння дробинки з використанням EDEM.....	60
4. РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ ДРОБЕМЕТНОГО КОЛЕСА.....	65
4.1. Параметричне креслення дробометного колеса	65

4.2.	Розробка параметричної 3D моделі дробометного колеса	69
4.3.	Таблиці зовнішніх змінних	75
4.4.	Об'єднання параметричного креслення та 3D моделі	78
5.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОСТРУКТУРИ ПОВЕРХОНЬ НА УДАРНУ ПОВЕДІНКУ ДРІБНИХ ЧАСТИНОК У ПОВІТРІ ТА ВОДІ	82
5.1.	Матеріали, які використовуються для експериментів	82
5.2.	Схема установки для проведення ударних випробувань.....	86
5.3.	Експериментальні дослідження співударної поведінки частинок.....	88
6.	РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДРОБОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ.....	91
6.1.	Результати моделювання зіткнення частинок в EDEM	91
6.2.	Результати експериментальних досліджень.....	92
6.3.	Визначення та порівняння структурних впливів у повітрі та у воді	93
6.4.	Розробка інформаційної системи досліджень роботи дробоструминної установки	95
6.5.	Рекомендації щодо підвищення ефективності роботи дробоструминної установки	112
	ВИСНОВКИ.....	114
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	116

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Розділ 3

v – швидкість, м/с;

E – енергія, Дж;

m – маса, кг;

e – кількість ударів о поверхню;

F – сила, Н;

V – об'єм, м³;

ρ – щільність, кг/м³;

g – сила тяжіння, м/с²;

A – підйомна сила, Н;

d – діаметр частинки, мкм;

p – тиск, кг/мс²;

a – прискорення, м/с²;

c_w – коефіцієнт опору;

A_w – площа притоку, м²;

η – динамічна в'язкість, кг/мс;

Re – число Рейнольдса;

t – деформація;

v_0 – швидкість при $t = 0$, м/с;

R – конструктивний радіус дробометного колеса, м;

f – коефіцієнт тертя дробу про лопатки;

γ – насипна щільність дробу, кг/м³;

n_0 – базова швидкість обертання ротора (колеса), хв⁻¹;

δ_l – висота лопатки імпелера, м;

Δ – радіальний зазор між імпелером і втулкою, м;

A – середній розмір використовуваної, м;

b – ширина лопатки імпелера, м;

i – кількість лопаток імпелера;

t – час, с;

α_0 – кут відхилення від дотичної вектору абсолютної швидкості викидання дробинки імпелером;

δ – кут між лінією зіткнення дробинок 1 та 2 у напрямку лопатки;

v_0 – радіальна швидкість, м/с;

v_x – окружна швидкість, м/с;

k – коефіцієнт відновлення швидкості при зіткненні дробинок;

m_1 та m_2 – маси дробинок 1 та 2;

ω – кутова швидкість, рад/с.

Розділ 6

СУБД – система управління базами даних.

ВСТУП

Вироби металопрокату часто потребують додаткової обробки поверхні, але перш, ніж приступити до таких робіт, поверхню металевого виробу необхідно ретельно очистити від сторонніх слідів забруднення. Це можуть бути сліди жиру, пил, іржа, дрібні корозії і т. д.

Продуктивність і ефективність — дуже актуальні теми в області обробки поверхні. Щоб залишатися конкурентоспроможними та розвиватися далі, необхідно модернізувати існуючі дробометні/дробоструминні установки відповідно до сучасних потреб.

Але для того, щоб запропонувати рішення щодо покращення ефективності роботи дробоструминної установки потрібно провести дослідження її роботи завдяки сучасним програмним можливостям дискретного моделювання, а також провести серії експериментальних досліджень, на основі результатів яких потрібно створити базу даних, яка допоможе знайти ті параметри, змінивши котрі можна буде збільшити продуктивність та ефективність роботи установки.

Для даної роботи великий інтерес представляють DEM – симуляції. Але щоб їх правильно використовувати, необхідно розуміння динаміки рідини і складних фізичних процесів зіткнень. Для частинок дуже важливо, в якому середовищі вони знаходяться.

Крім того, зіткнення частинок–стіни і частинок–частинок, а також структура стіни впливають на поведінку потоку. Потрібно більш детально охарактеризувати ударну поведінку частинок на поверхнях в різних навколишніх рідинах на основі експериментальних серій.

Таким чином, для того, щоб досягти мети магістерської роботи, необхідно обрати установку для подальшого дослідження; змодельовати конструкцію та принцип роботи обраної установки та визначити її конструктивні особливості;

вивчити теорію поведінки частинки в різних середовищах, на основі чого створити модель роботи установки та провести серії симуляцій; провести серії експериментів у воді та повітрі: на необроблених, оброблених, канальній та пірамідній поверхнях з різними фракціями частинок. Після чого запропонувати варіанти підвищення ефективності роботи дробоструминної установки.

Досліджуються удари окремих частинок по різних поверхнях. Чим шорсткіша стіна, тим швидше вона може призвести до турбулентності в потоці. Ось чому різні поверхні з мікроструктурою і без неї використовувалися для представлення впливу на ударну поведінку. Змінюючи навколишню рідину повітря і води, необхідно додатково вивчити вплив в'язких сил, щоб зробити висновки про подальші рідинах.

1. ІСНУЮЧІ ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З ОЧИЩЕННЯМ ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ

1.1. Актуальність проблеми обробки металевих поверхонь

Проблема підготовки поверхні від корозії відіграє важливу роль у сьогоденні. На небезпечних виробничих об'єктах погана обробка поверхонь металів може спровокувати аварії та надзвичайні ситуації, які загрожують серйозними екологічними проблемами, а також нещасними випадками з заподіянням шкоди здоров'ю та життю персоналу, так як іржа викликає деградацію виробів і конструкцій, виготовлених з матеріалів на основі заліза. Захист матеріальної частини промислових підприємств від іржі та інших корозійних процесів є сьогодні актуальним питанням в частині забезпечення промислової безпеки та зменшення матеріальних витрат.

Для інтерпретації технічних установок моделювання набуває все більшого значення. Для імітації установки з потоком, завантаженим частинками, потрібне з'єднання DEM і моделювання. Моделювання DEM дає можливість обчислювати складні течії. Таким чином, цей підхід до моделювання дозволяє одночасно точно представити поведінку потоку частинок, а також поведінку потоку навколишньої рідини.

Для реалізації такого моделювання необхідно максимально детально розібратися з фізичними процесами всередині потоку. Чим точніше можна визначити параметри моделювання, тим ефективніше моделювання. Поведінка потоку, навантаженого частинками, пов'язаного з стіною потоку, залежить від частинок – частинок і частинок – стінових зіткнень, а також морфології стіни. Важливо, щоб ці впливові фактори могли бути відтворені особливо точно в симуляції.

Таким чином робота є актуальною.

1.2. Загальні відомості про існуючі методи очистки

Існує кілька методів очищення поверхонь металопрокату, які підходять до певного виду металопрокату і ступеня забруднення. Проводити очищення потрібно обов'язково, щоб попередити руйнування шару покриття і руйнування самого виробу металопрокату.

Найбільш популярні методи очищення металу є піскоструминне очищення або гідропіскоструменеве [1]. Очищення піском полягає в тому, що за допомогою стисненого повітря дрібний кварцовий пісок направляють на поверхню металу, тим самим очищаючи її від зайвих залишків забруднення. На даний момент піскоструминне очищення намагаються замінювати на гідропіскоструменеве, дробоструминне або дробометне, так як ці способи очищення є менш небезпечні і більш екологічні.

Гідропіскоструминне очищення являє собою також використання спеціально відібраного піску, тільки зволоженого, тоді частинки пилу не витають в повітрі, що дає можливість вважати цей спосіб очищення більш безпечним.

Для проведення дробометного очищення металопрокату необхідні спеціальні установки, які викидають чавунний дріб 0,4 – 0,5 мм діаметром або шматочки 0,5 – 2 мм сталевих дроту. Після очищення металу використану дріб очищають, і вона знову надходить в турбіну. Завдяки дробометним установкам, поверхня металу не тільки очищається, але і поліпшуються її характеристики міцності [1].

1.3. Порівняння існуючого обладнання для очистки поверхні металів

У загальному випадку, для очищення поверхонь, існують два типи установок: дробоструминні і піскоструминні.

Дробоструминна установка (рис. 1.1) – це обладнання, призначене для очищення металу від іржі і забруднень, що працює за принципом метання дробу. Дробострум працює за технологією обробки поверхонь шляхом впливу на них дрібних сферичних частинок. Через дробометні метальники на робочу поверхню потрапляє дріб, яка при зіткненні з оброблюваним матеріалом забезпечує його очищення. Енергокінетичні властивості абразивних засобів, що подаються під великим тиском на металеву поверхню в процесі обробки, дозволяють повністю позбутися від жирного нальоту, окалини та іржі на оброблюваній поверхні і видалити корозійні вогнища [2].

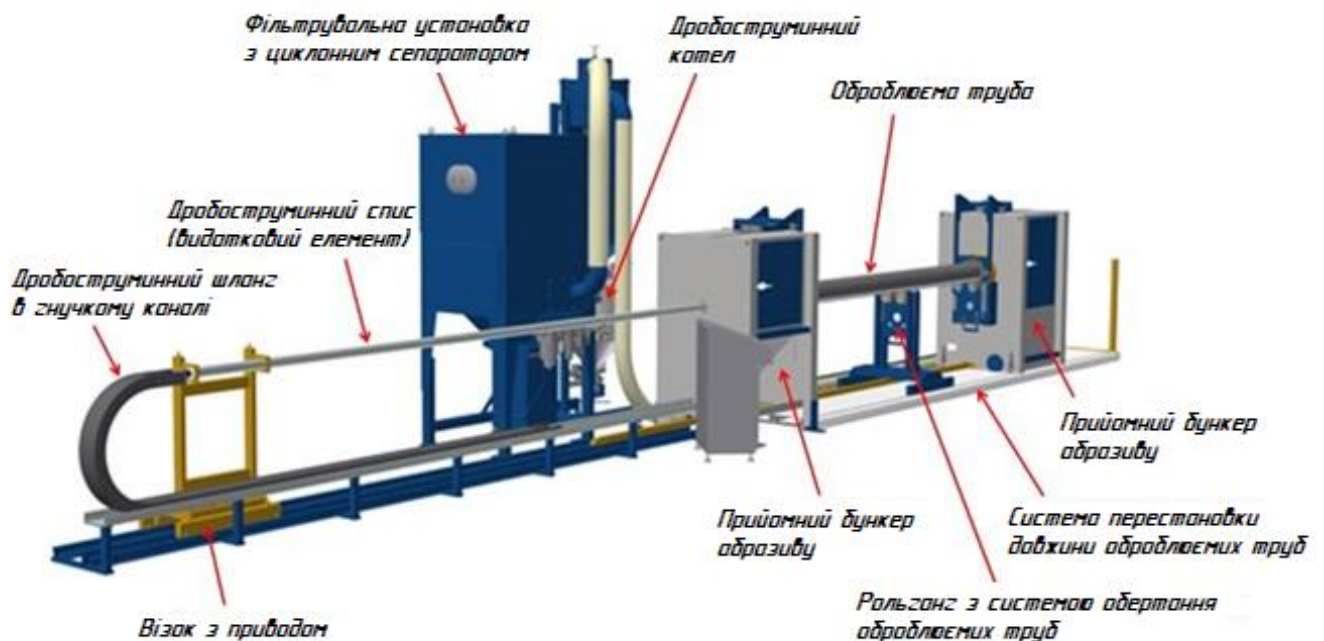


Рисунок 1.1 – Схема дробоструминного апарату

Сила і швидкість подачі сталевго абразиву залежить від моделі металевиків. У вирішенні таких завдань використовується установка

дробоструминна, що діє за принципом механічної подачі дробу спеціальними лопатями. В результаті оброблювана поверхня набуває необхідну для наступних операцій шорсткість. Мікрочастинки абразивних матеріалів утворюють на оброблюваній металевій поверхні надійний захисний шар.

Піскоструминний апарат — це пристрій, призначений для холодної абразивної обробки різних поверхонь шляхом розпилення абразиву за рахунок потоку повітря, що подається під великим тиском [3].

Область застосування піскоструминних апаратів і піскоструминної обробки дуже широка. В основному дане устаткування застосовується для очищення внутрішніх і зовнішніх поверхонь від старої фарби, окалини, різного роду забруднень і корозії. Також апарати даного типу застосовуються для зачистки і знежирення поверхонь перед фарбуванням різних виробів: колісні диски, кузова автомобілів, корпусу човнів і суден, труб, старих підйомних кранів і т. д.

Для роботи піскоструминного апарату необхідне джерело стисненого повітря — компресор. Ефективна робота апарату, безпосередньо залежить від правильного підбору повітряного компресора за такими його характеристиками як продуктивність і тиск.

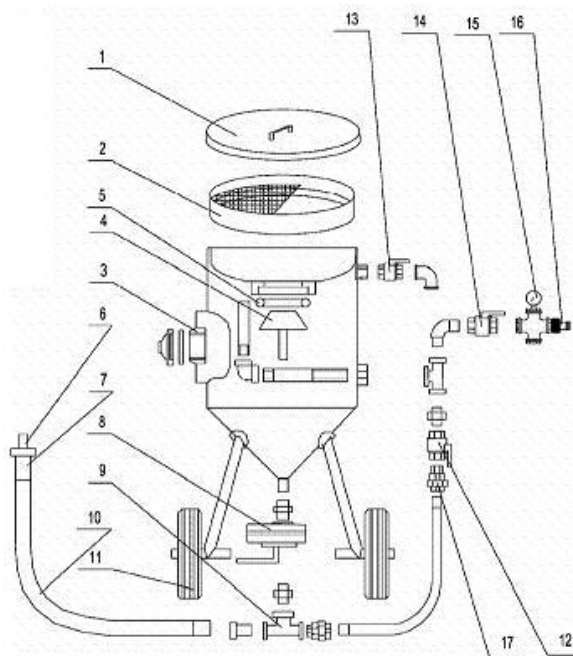
В якості абразивного матеріалу для піскоструминних апаратів найчастіше використовують звичайний річковий просіяний і добре просушений пісок. Основні переваги цього виду абразиву — це його вартість і поширеність. Однак, річковий пісок має досить середній коефіцієнт ступеня очищення, тому рекомендується використовувати більш дорогий і якісний абразивний матеріал — кварцовий пісок, гранітну крихту, сталеву чи чавунну січку з розміром частинок 0,1 – 0,8 мм [3].

При обробці металевих поверхонь струменем піску цей процес виконує подвійну функцію: він очищає поверхню і надає їй шорсткість. Це подвійна дія

досягається з допомогою абразивних частинок, які з високою швидкістю врізаються в металеву поверхню. Залежно від типу застосовуваного абразиву поверхня обробляється або їй надається шорсткість у вигляді певної текстури ґрунтовки. Таким чином, очищена і шорстка металева поверхня являє собою бездоганну основу для зчеплення з сучасними захисними покриттями.

Одним з важливих елементів піскоструминної установки є піскоструминний апарат. Піскострум впливає на цільову поверхню абразивом, який викидається з величезною швидкістю.

На рисунку 1.2 показана принципова схема піскоструминного апарату [3].



1 – кришка; 2 – сито; 3 – люк; 4 – запірний конус; 5 – запірний кільце; 6 – абразиво – струминне сопло; 7 – соплотримачь; 8 – піщаний затвор; 9 – змішувальний трійник; 10 – абразиво-струминний рукав; 11 – колеса; 12 – повітряний клапан; 13 – спускний клапан; 14 – вступний клапан; 15 – манометр; 16 – повітряне сполучення; 17 – швидкокороз'ємне з'єднання.

Рисунок 1.2 – Схема піскоструминного апарату

У більшості піскоструминних установок застосовується сопло Вентурі (рис. 1.3). Воно використовується для вимірювання витрати рідини, пара та газів при перепадах тиску нижче критичних значень і при стаціонарному характері потоку. До переваг сопла Вентурі відносять його високу експлуатаційну надійність і можливість застосування для вимірювання витрати рідин, газів і пари, включаючи рідини з високим робочим тиском і значно перегрітий водяний пар [5].

До переваг сопла Вентурі також відносять можливість установки елементів вимірювання на всмоктуванні з вільного простору. В такому випадку має бути гарантована наявність простору без будь – яких порушень довжиною $10D$ перед вхідним соплом Вентурі і довжиною $5D$ по сторонам. Коефіцієнт витрати вхідного сопла Вентурі становить близько 0,99 незалежно від β_2 .

Сопло Вентурі може бути вбудовано як у вертикальному, так в горизонтальному трубопроводі [5].

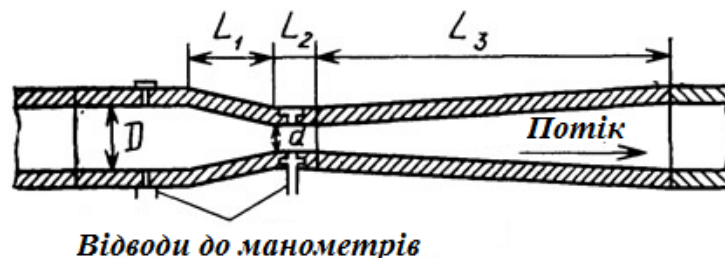


Рисунок 1.3 – Стандартне сопло Вентурі

1.4. Вибір обладнання для очистки

Перевагами піскоструму є: можливість віддалено працювати; низькі витрати на обладнання; можливість обробляти різні вироби з металу за габаритами і формою.

Недоліки: втрата часу на заповнення абразиву в напірний агрегат; великі експлуатаційні витрати; небезпека для здоров'я оператора і людей, які знаходяться поблизу (можливість захворювання на силікоз); при застосуванні більш якісного абразиву отримуємо підвищення експлуатаційних витрат.

Використання піску в процесі очищення металу створює велику кількість шкідливого для здоров'я пилу, який тим або іншим способом потрапляє в дихальні шляхи. Великі обсяги відходів і пилу, які утворюються під час піскоструминної очищення, поширюються на великій площі, не тільки завдають шкоди для здоров'я, але і призводять до різного роду фінансових проблем.

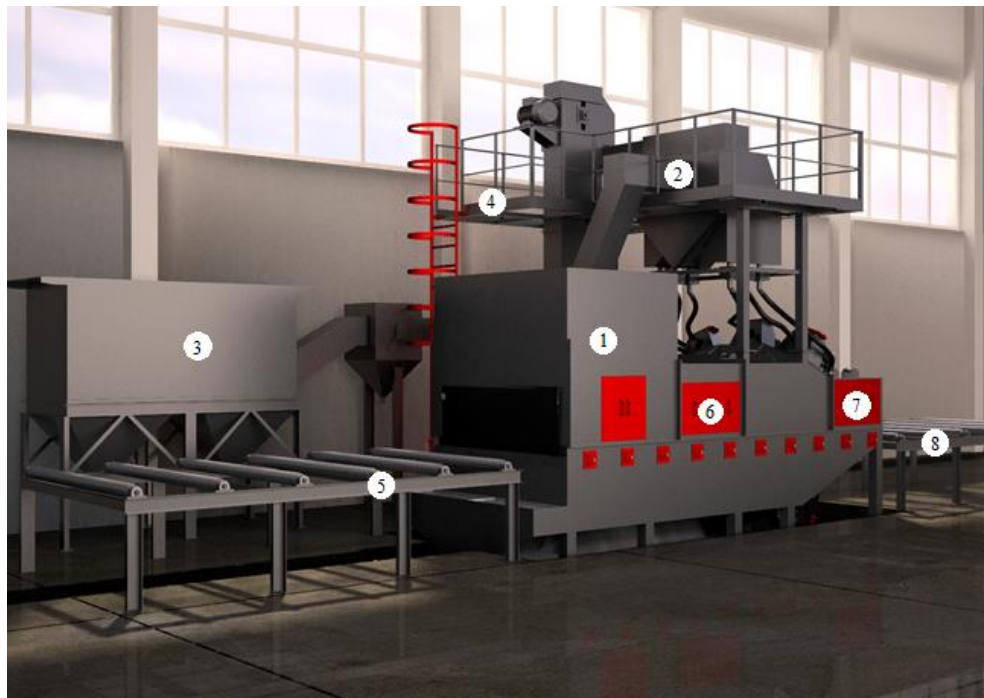
Дріб ж позбавлена кварцу, який міститься в піску, тому в процесі дробоструминної обробки не створюється велика кількість шкідливого пилу. При цьому роботи по дробоструминній обробці здійснюються в закритому корпусі камери, що запобігає викид будь – яких пильних забруднень.

Використання дробоструминної установки дозволяє не тільки позбутися від негативних факторів піскоструминної установки, але і зробити процес обробки більш економічним, а також сприяє збереженню навколишнього середовища.

2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДРОБЕСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ

2.1. Конструкція та принцип роботи установки

Установка для дробометання призначена для очищення від окалини і іржі листового і профільного прокату та інших заготовок з чорних металів відповідних технічних характеристик габаритів [4]. Установки можуть бути вбудовані в потокові лінії або використовуватися відокремлено (рис.2.1) за умови комплектації позакамерними рольгангами (рис.2.6) – подаючим і приймальним [4].



1 – камера з встановленими дробометними апаратами; 2 – система очищення і рекуперації абразиву (система дробообігу); 3 – бункер з дробом; 4 – майданчики обслуговування; 5 – рольганги докамерні; 6 – пневмообладнання; 7 – електрообладнання; 8 – рольганги позакамерні

Рисунок 2.1 – Фото дробоструминної установки

Кабіна камери (рис. 2.2), з будь – якими розмірами робочої зони, виготовляється з несучим каркасом з внутрішніми панелями з оцинкованої сталі товщиною 1,5 мм, які закриваються смугами абразивостійкої гуми або армованого ПВХ світло – сірого кольору. Для зниження шуму стінові панелі заповнені мінеральною ватою товщиною 50 мм і з зовнішньої сторони закриті лицьовими панелями з полімерним покриттям товщиною 0,65 мм, які пофарбовані покриттям RAL 9003 [4].

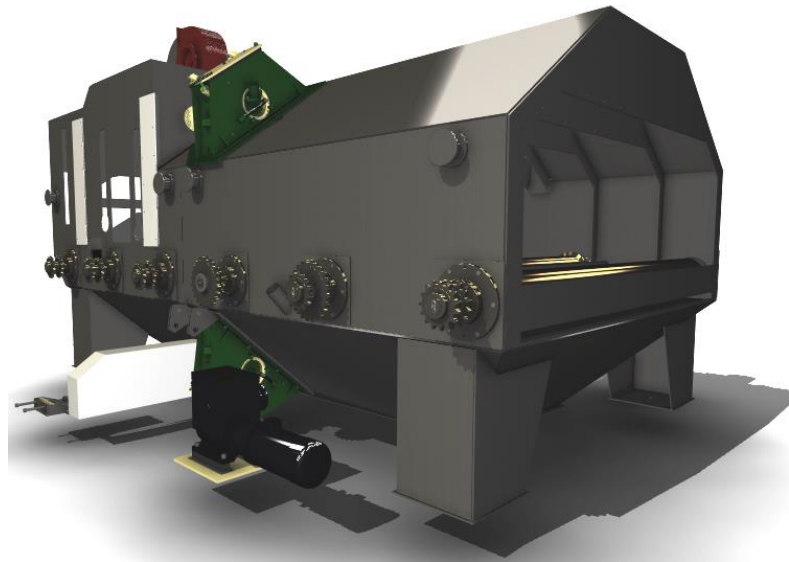


Рисунок 2.2 –Зовнішній вигляд кабіни камери

Рух потоку повітря в камері може бути діагональним поперечним, але за замовчуванням проектується діагональне поздовжнє уздовж довгої сторони, зі швидкістю руху повітря в порожній камері 0,4 – 0,45 м/с, від воріт до торцевій стіні зверху вниз. В торцевій стіні передбачені забірні повітроводи.

Підлога камери (рис. 2.3) являє собою автоматичну скреперну систему. З розрахунку довжини і ширини камери, пропонується використовувати 3 поздовжні секції, розміщені паралельно існуючому рейковому шляху, які працюють поступально, зі збором дробу на центральний канал, секції закриті оцинкованими ґратами з перетином комірки від 35 мм, товщина пластин від

3 мм (решітки розраховані на вагу обслуговуючого персоналу). Для збору дробу в центральній частині передбачена поперечна секція скреперної системи, дріб і відпрацьований великий пил подається в ковшовий елеватор. За допомогою електроприводу, через кругове обертання кривошипа, візки транспортерів скреперної системи переміщуються в прямому і зворотному напрямках. Недорогі змінні гумові вставки скребків періодично підлягають заміні, що не вимагає високих виробничих витрат.

Перевагою даної системи є неглибоке фундаментне заглиблення, простота конструкції, стабільність в роботі і надійність [4].

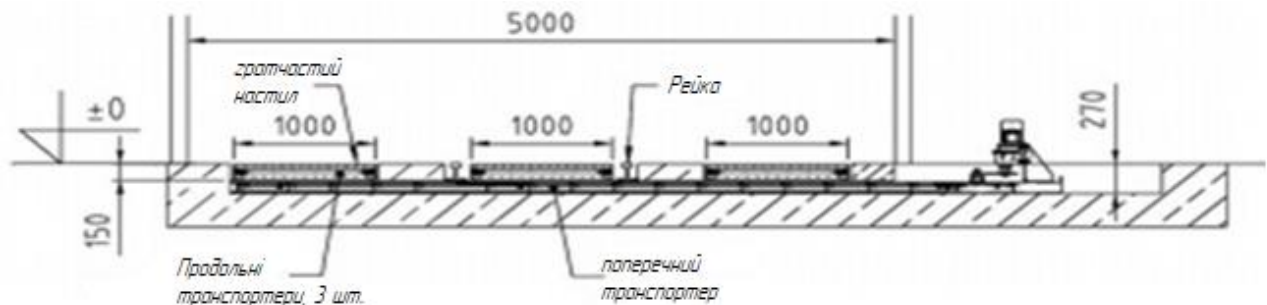


Рисунок 2.3 – Схема розташування елементів підлоги камери

Для створення умов роботи персоналу і забезпечення збору пилу і очищення повітря від летючих частинок сміття, встановлюється аспіраційна система (рис.2.4). Для більш енергозберігаючого режиму роботи в зимовий час пропонується для дробоструминної установки використовувати діагональний принцип (рис.2.5), де напрямок руху повітря усередині камери організовано по довгій стороні з режимом рециркуляції для холодного часу року. Дане рішення дозволяє знизити потужність аспіраційної установки [4].

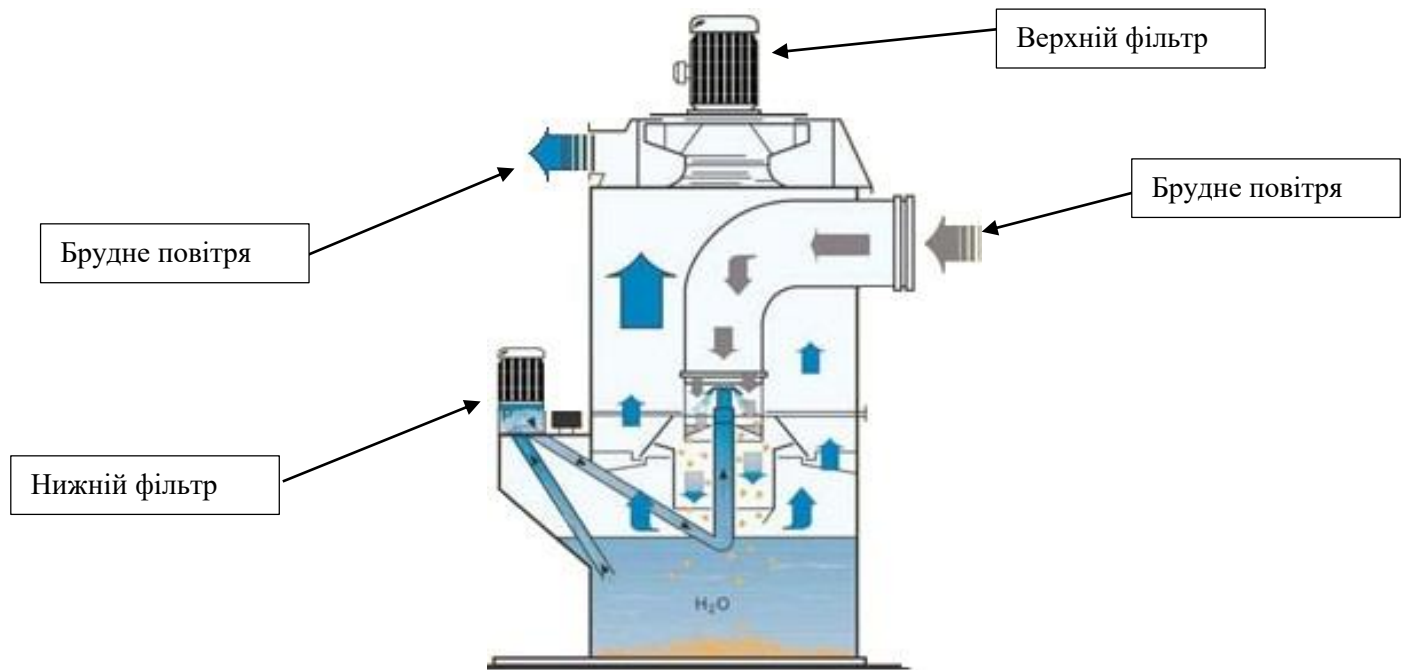


Рисунок 2.4 – Схема руху повітря в аспіраційній установці

Для створення повітрообміну в дробоструминній камері пропонується виготовити систему напірних повітроводів, в які інтегрується аспіраційна установка.

Верхній фільтр виготовляється з системою клапанів і повітроводів для літнього і зимового режимів, два діагональних нижніх повітроприймача встановлюються або в торцевій стіні при тупиковому розташуванні або по сторонах біля виїзних воріт.

Для всіх дробоструминних камер передбачається система рециркуляції з можливістю підмішування свіжого повітря в обсязі 10 – 15% [4].



Рисунок 2.5 – Схема повітреобміну в установці

Роликовий конвеєр (рольганг) (рис.2.6) складається з групи роликів, осі яких закріплені в рамі, що встановлюється на стійках. На нерухомих осях рами конвеєра в підшипниках обертаються ролики [4].

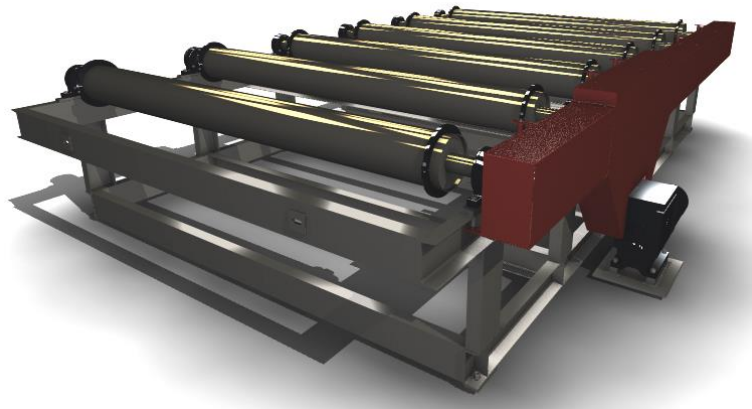


Рисунок 2.6 – Рольганг позакамерний

Через дробометні металіники на робочу поверхню потрапляє дріб, яка при зіткненні з оброблюваним матеріалом забезпечує його очищення. До особливостей агрегатів цього типу відноситься і застосування металевих частинок в якості активного компонента очищення [4].

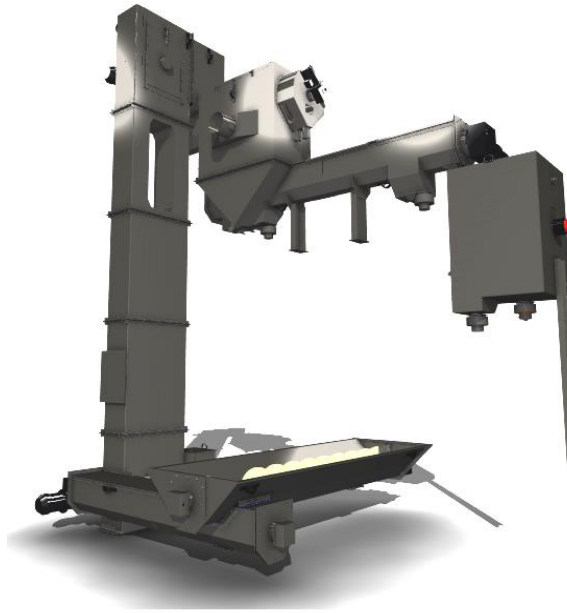


Рисунок 2.7 – Вигляд системи дробообігу

Дробострум працює за технологією обробки поверхонь шляхом впливу на них дрібних сферичних частинок. Енергокінетичні властивості абразивних засобів, що подаються під великим тиском на металеву поверхню в процесі обробки, дозволяють повністю позбутися від жирного нальоту, окалини та іржі на оброблюваній поверхні і видалити корозійні вогнища.

2.2. Технічні характеристики вибраної установки

Для дослідження та подальшого розрахунку була вибрана установка дробометна для очищення листового і профільного прокату моделі 24581М [5].



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд установки

Установка повинна експлуатуватися при температурі від +1 до +35 °С, відносній вологості повітря 65 % (при +20 °С і атмосферному тиску від 630 до 800 мм.рт.ст.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика установки

Параметр	Значення
Габаритні розміри виробів, що очищаються, не більше, мм:	
довжина	1 300
ширина	1 000
висота	600
Мінімальна товщина стінок, мм	4
Продуктивність очищення листового прокату з низьколегованої сталі при максимальній ширині листа, м ² /хв	6,0

Продовження табл. 2.1

Діапазон швидкостей рольганга, м/хв	1,0...10
Типи дробометних апаратів	4Б114/2
Маса дробу, що викидається апаратами дробометними, кг/хв	800
Маса початкового завантаження дробу, кг	2 000
Рекомендований абразив	Сталева колота фракція 0,8...1,2
Рекомендований фільтр	8.2000 – 01
Об'єм відсмоктуваного повітря, м ³ /год	16 000
Потужність електродвигунів, кВт	70,0
Розміри установки, мм:	
довжина без рольгангів	4 100
ширина	2 800
загальна висота	5 800
висота над рівнем підлоги	5 500
Маса, кг	10 000

Для обраної установки, щоб отримати найкращу продуктивність, повинен використовуватися дробометний апарат 4Б114/2.

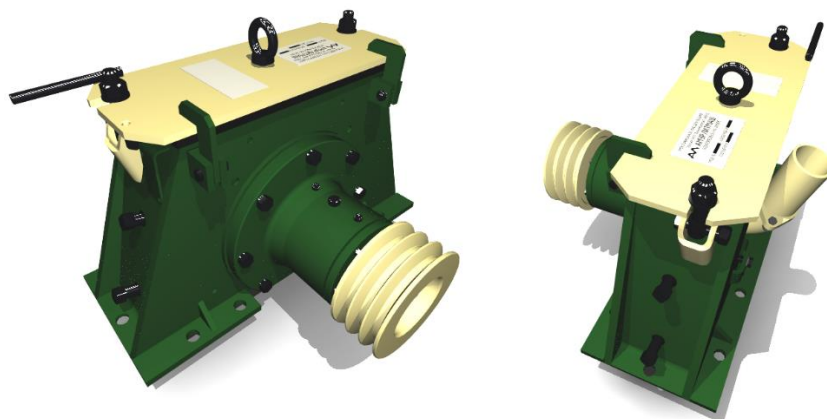


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд дробометного апарату

Запропонований апарат призначений для створення концентрованого високошвидкісного (70...80 м/с) дробопотоку з метою очищення дробометним способом виливків від залишків формувальної землі, стрижнів, окалини; поковок, штамповок, листового і профільного прокату від окалини та іржі, а також з метою поверхневого зміцнення деталей (наклеп) [5].

2.3. Постановка задач дослідження

В ході виконання роботи необхідно вирішити наступні задачі:

1. Охарактеризувати вплив мікроструктури різноманітних поверхонь на співударну поведінку тонкодисперсних частинок в різних середовищах.
2. Провести моделювання зіткнення частинок у різних умовах на різних поверхнях у програмному середовищі DEM Solution (EDEM).
3. Провести експериментальні дослідження по визначенню коефіцієнта реституції (відновлення) в ході зіткнення частинки о поверхні, включаючи удари окремих частинок по різних поверхнях.
4. На основі проведених моделювання та експериментальних досліджень визначити вплив мікроструктури поверхонь на співударну поведінку частинок та знайти коефіцієнт реституції (відновлення).
5. Описати змодельовану дробоструминну установку у СУБД та запропонувати напрями підвищення її ефективності робіт, тим самим тим самим об'єднавши моделювання з експериментами та досягти поставленої мети.

2.4. Конструктивні особливості установки

Апарат повинен експлуатуватися в закритих приміщеннях при температурі від $+1^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря 65% при $+20^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика апарату дробометання 4Б114/2

Параметр	Значення
Продуктивність, кг/хв при потужність електродвигуна 18,5 кВт	230
Діаметр робочого колеса, мм	380
Частота обертання робочого колеса, об/хв	3 000,0
Кількість лопатей, шт.	6
Розміри апарату (без електродвигуна), мм	
– довжина	700
– ширина	550
– загальна висота	440
– висота від поверхні установки	300
Маса апарата, кг	300
Рекомендований абразив	Дріб сталеве ГОСТ 11964 – 81 №0,5...3,6

Дробометний апарат (рис. 2.10) призначений для роботи зі сталевим абразивом з розміром фракції 0,8 – 2,5 мм, твердістю HRC 45 – 50; при роботі з чавунним дробом зносостійкість швидкозношуваних деталей (лопатей, імпелера, розподільної камери, виконаних з високохромистого чавуну) зменшується у три – чотири рази [6].

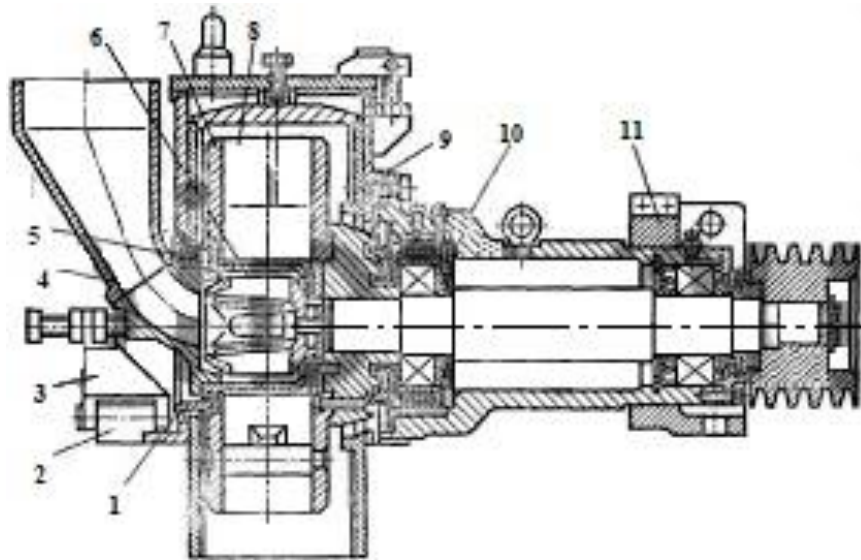


Рисунок 2.10 – Схема устаткування обладнання 4Б114/2

Шпиндель 10 встановлений в опорі 11 і фланцем кріпиться до корпусу 9, всередині якого розміщено робоче колесо 7, встановлене на валу шпинделя. Поворотним притискним пристроєм 3 до корпусу кріпиться живильник 4. Змінні швидкозношувані елементи, до яких відносяться лопаті 8, імпелер 6, розподільна камера 2, встановлюються в апараті при демонтованому живильнику 4. Поворотом кільця 1 зі штифтом 5, що знаходиться в зачепленні з фланцем камери 2, змінюється напрямок факела дробу в межах 35° . Подальша зміна напрямку факела при необхідності має змінюватися поворотом корпусу апарату [6].

Під час роботи апарату дріб самопливом з живильника потрапляє в імпелер, що обертається з робочим колесом (ротором). Імпелер розганяє дріб, що потрапила в нього і через вікно розподільної камери, яка залишається нерухомою, викидає дріб на лопаті ротора. Під дією відцентрової сили дріб ковзає по лопаті від центру до периферії і викидається з великою швидкістю у вигляді віяла (факела).

2.5. Ефективність дробоструминної установки

Ефективність дробоструминної установки заснована на правильному управлінні струменем дробу, одержуваним при високому тиску стисненого повітря або використанні сопла турбіни великого діаметру, а також на роботі поперечних конвеєрів з підйомними механізмами, які призначені для завантаження і розвантаження дробоструминної камери матеріалом.

Ефективність дробоструминної обробки підвищується завдяки автоматичному циклічному руху сопла вперед – назад.

Для обробки застосовуються як для окремих не серійних виробів в ручному режимі управління, так і для обробки серійної продукції в повністю автоматичному режимі.

Завдяки відмінній конструкції, дробоструминні машини вимагають мінімум технічного обслуговування і мають відмінне відношення ціна/якість.

Фактори, що впливають на ефективність дробометної обробки:

- розмір дробу (маса);
- сепарування дробу (очищення від продуктів зносу і видалення пошкодженої дробу);
- швидкість дробу (залежить від діаметра ротора і частоти обертання ротора);
- ударний кут (кут вектору до оброблюваної поверхні – ідеальний 90°);
- форма дробу (сферична, колота – гострогранна);
- очищення повітря (підтримання чистоти повітря в дробометній камері);
- конструкція дробометної турбіни;
- продуктивність дробометної турбіни, подача дробу кг/хв (чим більше, тим краще);
- інтенсивність покриття кг/м^2 (чим більше, тим краще);

- коефіцієнт відновлення;
- структура поверхні.

В роботі досліджувалась лише частина факторів, які впливають на ефективність, у даному випадку – коефіцієнт реституції та поверхні.

Підвищення продуктивності дробоструминної обробки йде за кількома напрямками.

Найпростіший з них – створення спеціалізованих дробоструменевих установок для обробки виробів нескладної форми, що дозволяють організувати їх переміщення на рольгангах або конвеєрах (труби, прокат, листи і т.п.). При цьому обробні сопла (зазвичай декілька) розташовуються на найпростіших маніпуляторах типу «качалка» для збільшення площі обробки.

Обробка труб або стрижнів круглого перетину – найпростіший приклад такої установки. Зазвичай виріб подається за допомогою гвинтового рольганга зі схрещених або катушкових роликів в камеру, де проходить під дробоструменевими соплами, встановленими на гойдалці. Іноді такі установки забезпечуються пристроями подачі і знімання виробів. Швидкість обробки залежить від кількості і діаметрів сопел і визначається, в кінцевому підсумку, потужністю використовуваного компресора. Зазвичай швидкість обробки в кілька разів більше, ніж при ручній обробці. Додатковим фактором є біліше високу якість обробки.

При обробці профільних виробів типу прямокутних або квадратних труб, будівельних профілів і т.п., часто використовують 4 сопла, встановлених на 4 гойдалках по гранях виробу. Якщо виріб має значну довжину, то, щоб уникнути пропусків при перезавантаженні абразиву, гойдалки розташовують на попереджувальній рампі.

3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИ ДРОБОСТРУМИННІЙ ОБРОБЦІ

Оскільки досліджуємо зіткнення частинка – частинка, а також частинка – стінка інтерес представляє вивчення фізичних процесів. Щоб дослідити удари частинок, необхідно знати, як визначається удар і які параметри можуть описати удар. У наступному розділі буде створено огляд теоретичних передумов, для кращого розуміння. У роботі проводимо огляд технічних передумов та вводимо припущення, що частинка не руйнується та не прилипає в результаті контакту з поверхнею.

3.1. Теорія відскоку

Удар описує зіткнення двох або декількох тіл. На рисунку 3.1 зображено удар частинок по нахиленій стіні. При цьому частинка спочатку вдаряється об стіну зі швидкістю V . Оскільки це нахилений удар, при якому вектор швидкості частинки не паралельний нормалі поверхні, швидкість удару може бути розділена на дві компоненти.

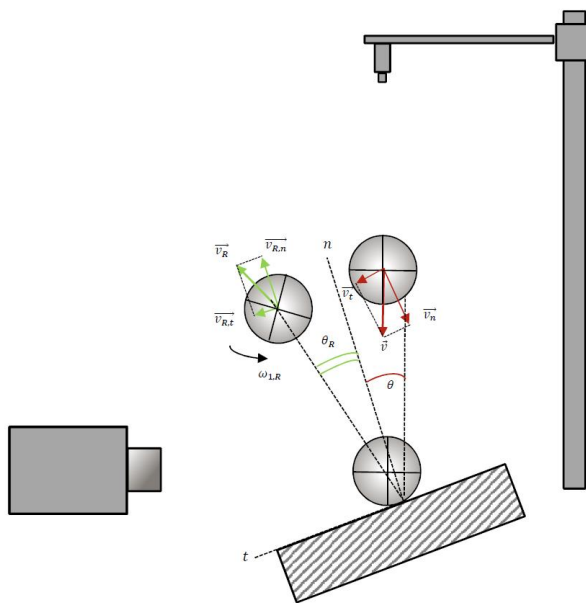


Рисунок 3.1 – Ескіз зйомки косого удару

Тангенціальний компонент проходить горизонтально до стіни (v_t), нормальний компонент (v_n) перпендикулярний поверхні. Це відноситься аналогічно для швидкості частинок після зіткнення, крім того, необхідно враховувати обертання частинки.

Для опису реального удару потрібно ударне число e , яке визначається як міра опису дисипації енергії в процесі удару [7]. Тому вона визначається як:

$$e = \frac{|v_R|}{|v|} = \sqrt{\frac{E_{kin,R}}{E_{kin}}} = \sqrt{1 - \frac{E_{diss}}{E_{kin}}}$$

де v – швидкість, м/с;

E – енергія, Дж.

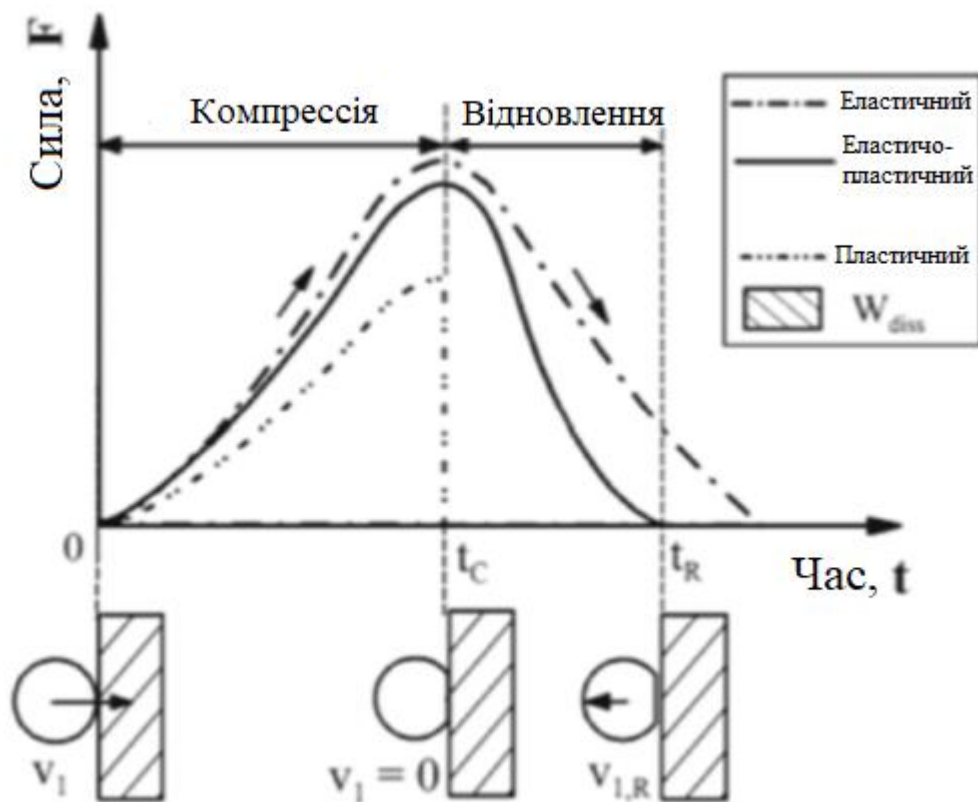


Рисунок 3.2 – Схематичне представлення контактних сил з плином часу

Якщо частка потрапляє на поверхню, вона деформується локально (рис. 3.2). Ця фаза удару називається фазою стиснення. У момент максимальної деформації t_c , максимальна сила $F_{\max}$ діє на частинки. За фазою стиснення слідує фаза реституції (відновлення), в якій тіло повністю або частково повертається у свою первісну форму [6]. Вона закінчується відділенням обох тіл один від одного.

Щоб зробити заяви про деформацію частинки під час удару, необхідно розрізняти три різних типи удару:

1. Ідеальний еластичний удар, $e = 1$.
2. Ідеальний пластичний удар, $e = 0$.
3. Частково – еластичний удар, $0 < e < 1$.

Ідеальний еластичний удар (тип 1) характеризується тим, що суми кінетичної енергії ударної хвилі до і після зіткнення рівні. Це означає, що $E_{\text{diss}} = 0$. Тобто кінетична енергія не перетворюється на внутрішню енергію, таку як тепло або деформацію. Для наступних рівнянь передбачається нормальний удар. Тіло приймається за точку маси, а обертанням нехтують. Таким чином, удар може бути повністю описаний за допомогою набору імпульсного і енергетичного збереження.

Імпульс тіла – це векторний розмір і описаний через добуток маси і швидкості, див. рівняння 3.2 [8]. Таким чином, імпульс першого тіла перед ударом – $m_1 v_1$, а другого тіла – $m_2 v_2$. За умови наявності нормального поштовху можливе просте додавання імпульсів, так як напрямки руху тіл збігається. При цьому v_1' і v_2' являють собою швидкості після удару.

$$p = mv \tag{3.2}$$

де m – маса, кг.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad 3.3$$

Набір збереження енергії може бути застосований для плавних систем і говорить про те, що в такій системі зберігається вся механічна енергія.

Для ідеального еластичного удару застосовується:

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2'^2$$

При ідеально пружному ударі частинки стіною швидкість стіни може бути прийнята з $v = 0$, а вся енергія руху зберігається, тому ударне число $e = 1$.

Для спрощення 3.3:

$$m_1 v_1 e_1 = m_1 v'_1$$

де e – кількість ударів о поверхню.

Ідеал пластичний удар (тип 2) характеризується тим, що при ударі частинки зі стіною ніякого руху енергії не зберігається. При цьому ударне число становить $e = 0$, і частка більше не відскакує від поверхні. Таким чином:

$$m_1 v_1 e_1 = m_1 v'_1 = 0$$

та

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot v^2 + \Delta E$$

Тут ΔE являє собою дисиповану енергію, а v^2 йде до нуля.

Це відповідає удару, який найбільш часто відбувається в реальності і який математично складніше описати:

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2'^2 + \Delta E$$

У разі частково – еластичного удару (тип 3) частина кінетичної енергії перейде в інші види енергії, такі як тепло, тертя, обертання і пластичну енергію деформації перетворення.

3.2. Теорія зіткнення

Адгезійні сили діють між поверхнями, такими як частинки і стіна. Розрізняють поверхневі і польові сили і «матеріальні Мости». Прикладами поверхневих і польових сил є сили Ван – дер – Ваальса, магнітні сили або електростатичні сили, «матеріальні Мости» відносяться до рідких і твердотільних «мостів». У цій розробці розглядаються тільки сили Ван – дер – Ваальса, оскільки інші сили не відіграють істотної ролі для розглянутих впливів.

Сили Ван дер Ваальса можна розрахувати для частинок з шорсткою поверхнею по фюзеляжу за допомогою наступного рівняння [15]:

$$F_{ad} = \frac{A}{6H_0^2} \left[\frac{rR}{r+R} + \frac{R}{\left(1+\frac{r}{H_0}\right)^2} \right] \quad 3.9$$

Для опису результуючої сили зчеплення при вимірних значеннях шорсткості, виходить наступне рівняння [15]:

$$F_{ad} = \frac{A}{6H_0^2} \left[\frac{rR}{r+\frac{R}{1,48rms}} + \frac{R}{\left(1+\frac{1,48rms}{H_0}\right)^2} \right] \quad 3.10$$

За рівняннями видно, що сили зчеплення зменшуються зі збільшенням шорсткості.

3.3. Рух частинок в рідинах

При ударі об поверхню частинка майже завжди оточена рідиною. Ці сили діють на частинки і, таким чином, може змінити їх ударну поведінку. Діють поверхневі сили, такі як сили тиску і тертя, і сили маси, що протистоять їм. Вагова сила V і інерційна сила W відносяться до масових сил. Вони атакують частинку через її маси X . Їм протидіють поверхневі сили плавучості Y і сили опору.

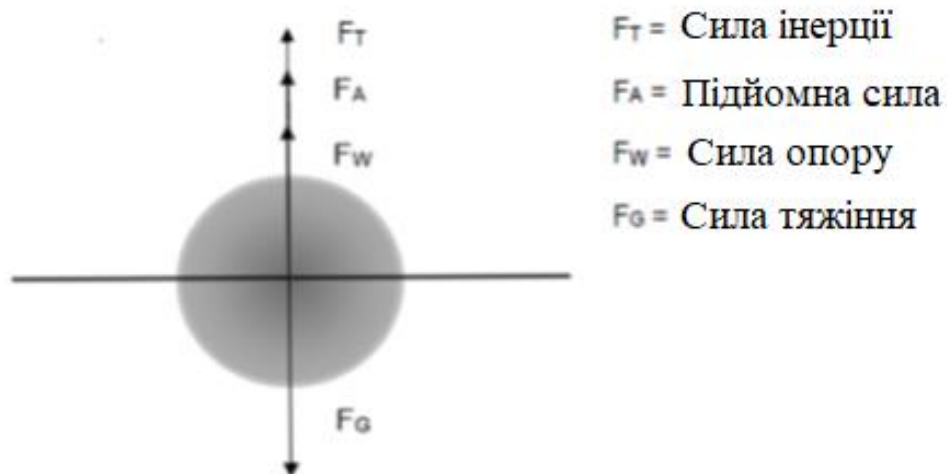


Рисунок 3.3 – Баланс сил для частинок у навколишній рідині

Рівняння 3.11 схематично описує на рис. 3.3 баланс сил частинки в навколишній рідині і служить основою для розрахунку швидкості, з якою частинка рухається в рідині.

$$F_G - F_A - F_T - F_W = 0 \quad 3.11$$

де F – сила, Н.

Підйомна сила F_A

Прискорення тіла в рідині викликає градієнт тиску. Це протидіє статичній плавучості в полі тяжіння. Плавучість у виходить шляхом інтеграції діючих сил тиску над поверхнею тіла.

$$F_A = V_p \text{grad}(p) = V_p \rho_F g \quad 3.12$$

де V – об'єм, м³;

ρ – щільність, кг/м³;

g – сила тяжіння, м/с².

Крім того, якщо частинка протікає незбалансовано, виникає незбалансоване розподіл тиску, в результаті якого виникає сила, що діє перпендикулярно напрямку потоку.

Вона називається – динамічна підйомна сила і може бути представлена рівнянням 3.13.

$$F_D = C_D A \frac{\rho_F}{2} v^2 \quad 3.13$$

де A – підйомна сила, Н.

Вагова сила F_G

Вагова сила описує силу, з якою тіло притягується до землі. Вона викликана дією поля тяжкості на тіло і залежить від ваги тіла і місця, де знаходиться тіло.

$$F_G = V_p g = V_p \rho_s g = \frac{\pi d_p^3 \rho_s g}{6} \quad 3.14$$

де d – діаметр частинки, мкм.

Символ p_s символізує щільності в рівняння 3.14 частинки, ρ_F в 3.12 і 3.13 щільність рідини, A коефіцієнт підйомної сили і C_D діаметр частинок.

Сила інерції F_T

При розгляді прямолінійного прискорення частинки, протилежно цьому руху діє сила інерції. Вона приймається як допоміжна величина до подальших сил, що діють на тіло, щоб мати можливість розрахувати тимчасова зміна прискорення.

$$F_T = m_p a = \rho_s V_p a = \frac{\pi d_p^3 p_s v}{6} \quad 3.15$$

де p – тиск, кг/мс²;

a – прискорення, м/с².

Сила опору F_W

Після удару [9] в механіці рідини підсумовуються сили тиску і тертя, що надаються рідиною на поверхню циркулюючого тіла, і розглядаються їх компоненти в напрямку потоку (сила опору) і перпендикулярно йому (динамічна плавучість). Сила опору діє на тіло в напрямку потоку, так що, при розгляді частинок в якості поверхні потоку кулі можна прирівняти з $\pi/4 d_p^2$. Таким чином, сила опору в залежності від діапазону потоку може бути представлена як [10]:

$$F_W = \frac{1}{2} c_W A_W \rho_F v^2 \quad 3.16$$

де c_W – коефіцієнт опору;

A_W – площа притоку, м².

Сила опору залежить від коефіцієнта опору. Це залежить від числа Рейнольдса або типу потоку частинок.

Число Рейнольдса є безрозмірною мірою потоку і розраховується з відношення сил інерції і міцності [11]:

$$Re = \frac{v d_P \rho_F}{\eta} \quad 3.17$$

де η – динамічна в'язкість, кг/мс.

Вона залежить від витрати потоку, діаметра частинок, щільності рідини і динамічної в'язкості рідини. Якщо число Рейнольдса менше 0,25, сили міцності послаблюють можливу турбулентність в потоці.

При дуже великих числах Рейнольдса (> 10) сили інерції знаходяться на передньому плані, і це призводить до турбулентності в потоці [12].

Це призводить до різних діапазонів потоку:

1. Область в'язкого обтікання Стокса (рис. 3.4) [13] відносять до чисел Рейнольдса розміром менше 0,25. Це відноситься для області, де переважає опір тертя [9].

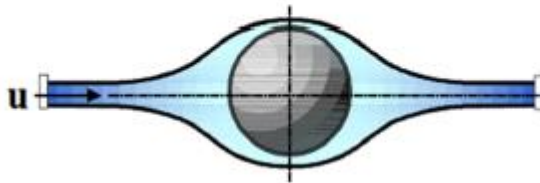


Рисунок 3.4 – Циркуляція в області Стокса

2. В області переходу існує область чіпкого турбулентного обтікання (перехідна зона, рис. 3.5) [13] для відшарування збільшуючих в швидкостях і

вихрових утворень, це призводить до несиметричності розподілу тиску. Сили інерції набувають все більшого впливу. Це відноситься до чисел Рейнольдса від 0,25 до 10 .

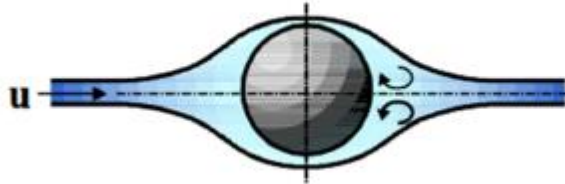


Рисунок 3.5 – Жорстке турбулентне циркуляція

3. Переважає вплив сили опору від сил інерції рідини. Призводить до повністю турбулентного обтікання (рис. 3.6). Це відноситься до чисел Рейнольдса від 10 [13].

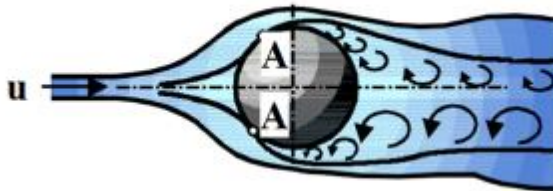


Рисунок 3.6 – Повний Турбулентний Циркуляційний Потік, діапазон Ньютона

Коефіцієнт опору описує відношення сили опору до тиску скупчення потоку частинок і перетину частинок. Таким чином, він залежить від чисел Рейнольдса. Це можна проілюструвати діаграмою для циркулюючих частинок (рис.3.7) [9].

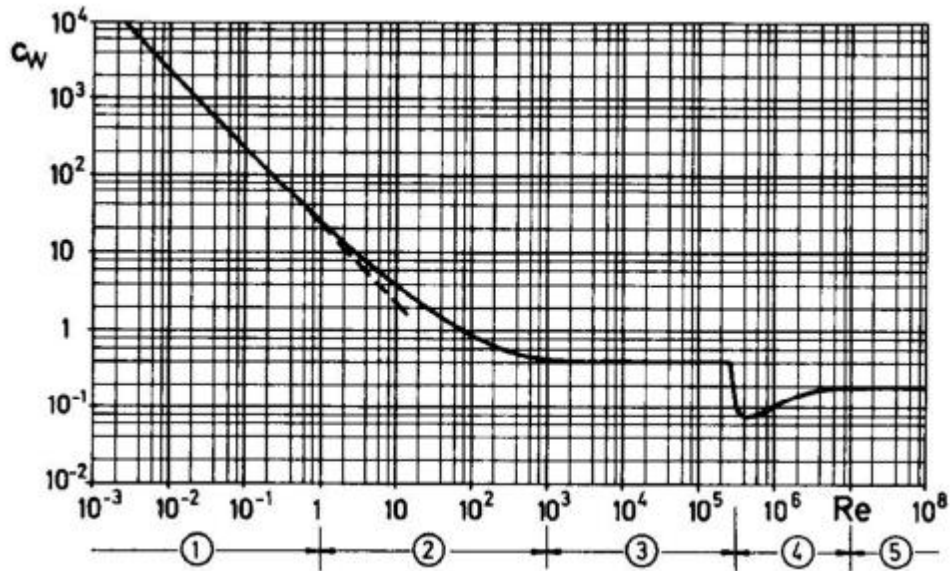


Рисунок 3.7 – Діаграма c_W для сферичної частинки

Часто осадові частинки досягають низьких чисел Рейнольдса через опір ($< 2 \cdot 10^4$). Крім того, вимірювальну систему для таких високих швидкостей було б дуже важко реалізувати, тому цими діапазонами швидкостей можна знехтувати. Крім того, на таких швидкостях може статися розрив частинок або руйнування поверхні, але це не є метою цієї роботи.

На коефіцієнт аеродинамічного опору, як уже говорилося раніше, перерозподіли в області в'язкого обтікання визначається за теорією Стокса [9]:

$$c_W = \frac{24}{Re} \quad 3.18$$

де Re – число Рейнольдса.

Щоб визначити коефіцієнт опору в перехідній області і змоделювати реальне вимірювання [14], необхідно звернутися до даних емпіричних відносин, які охоплюють область після Каскасу [9]:

$$c_W = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4 \quad 3.19$$

На рисунку 3.7 в області турбулентного потоку видно майже постійна функція опору. Вона не залежить від числа Рейнольдса і приймає значення в середньому:

$$c_W = 0,44$$

3.3.1. Вільне падіння без опору повітря

Вільне падіння – це рівнозмінний рух тіла в полі тяжіння без впливу навколишнього середовища [16]. При цьому для всіх тіл, незалежно від їх маси, виникає однакове прискорення. Виходячи з другого закону Ньютона, використовуючи в якості маси m , і прискорення a для цього випадку рівняння буде наступним:

$$F_G = ma \quad 3.20$$

Якщо висота дуже мала в порівнянні з радіусом Землі, гравітація g може бути представлена як похила маси і прискорення Землі [16]. Якщо порівняти рівняння 3.20, отримаємо:

$$-mg = ma \quad 3.21$$

Прискорення Землі тут вибрано негативне, так як це спадний рух, а вектор розташування спрямований вгору. При цьому прискорення є похідною швидкості за час [17]:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad 3.22$$

В результаті рівняння для 3.21:

$$-mg = m \frac{dv}{dt} \quad 3.23$$

Якщо проінтегрувати рівняння, отримуємо відношення до швидкості [17]:

$$v(t) = -gt + C_1 \quad 3.24$$

де t – деформація.

У момент $t = 0$ отримуємо для константи інтеграції швидкість $v = 0$ і, отже:

$$v(t) = -gt + v_0 \quad 3.25$$

де v_0 – швидкість при $t = 0$, м/с.

За допомогою припущення 3.26 подальша інтеграція забезпечує рівняння 3.27 висоти падіння для s , причому початковий рівень в момент часу $= 0$, тоді швидкість являє собою [18]:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad 3.26$$

$$s(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + C_2 \quad 3.27$$

Це описує гарне наближення для низьких швидкостей. Для реальних ударів необхідно додатково враховувати плавучість, тертя Стоукса і тертя Ньютона.

3.3.2. Падіння з опором повітря

Для визначення швидкості ударів частинок в рідині, використовуються баланс сил 3.11. Підставляючи формули 3.12, 3.14, 3.15 і 3.16 отримаємо похідну сили інерції до прискорення:

$$V_p g(\rho_S - \rho_F) - \frac{1}{2} c_W \frac{\pi}{4} d_p^2 v^2 \quad 3.28$$

Шляхом формування 3.3.9 виходить :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{d_p g(\rho_S - \rho_F) - \left(\frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4\right) \frac{3}{4} \rho_L v^2}{d_p \rho_S} \quad 3.29$$

Якщо інтегрувати диференціальне рівняння для малих кроків за часом ($t \rightarrow 0$), то зміна швидкості 3.30 і висоті 3.31 визначається:

$$v = at + v_0 \quad 3.30$$

$$s = \frac{at^2}{2} + v_0 t \quad 3.31$$

Розглядаючи стаціонарний потік, а також припущення, що $W = 0$ [19], для 3.11 виходить:

$$F_G - F_A - F_W = 0 \quad 3.32$$

$$\frac{\pi d_p^3 \rho_S g}{6} - \frac{\pi d_p^3 \rho_F g}{6} - \frac{1}{2} c_W \frac{\pi}{4} d_p^2 \rho_F v^2 = 0 \quad 3.33$$

І це робиться шляхом формування для стаціонарної швидкості падіння:

$$v_S = \sqrt{\frac{4(\rho_S - \rho_F) d_p g}{3 c_W \rho_F}} \quad 3.34$$

Формула Стокса [9] описує швидкість падіння під дією сили тяжіння однієї частинки на нескінченно розширену сплячу рідину. При цьому вона

залежить від щільності частинок і рідини, а також від міцності рідини, розміру і форми частинок. Як описано на рисунку 3.3, на частинки діє баланс сил. При збільшенні швидкості вона все сильніше гальмується силою опору. При цьому в міру падіння прискорення і сила інерції зменшуються до тих пір, поки в рівновазі не залишаться тільки гравітація, плавучість і сила опору. Потім ця швидкість називається стаціонарною швидкістю падіння.

При осадженні частинки досягають різних швидкостей в залежності від висоти падіння і розміру частинок, тому змінюється і тип потоку.

Таким чином, для області Стокса сили опору:

$$F_W = \frac{1}{2} c_W A_W \rho_F v^2 = 3\pi d \eta v \quad 3.35$$

І, отже, для стаціонарної швидкості:

$$v_S = \frac{(\rho_S - \rho_F) g d_p^2}{18\eta} \quad 3.36$$

Для більш високих швидкостей і, отже, чисел Ньютона – Рейнольдса, значення коефіцієнта аеродинамічного опору після 3.19 прийнятий $\sim 0,44$, і баланс сил такий:

$$\frac{\pi d_p^3 \rho_S g}{6} - \frac{\pi d_p^3 \rho_F g}{6} - 0,055 \pi d_p^2 \rho_F v^2 = 0 \quad 3.37$$

$$v_S = \frac{100 g d_p (\rho_S - \rho_F)}{33 \rho_F} \quad 3.38$$

Для різних навколишніх рідин через відмінності в в'язкості і щільності також виникають різні стаціонарні швидкості. На рисунку 3.8 показані швидкості частинок в залежності від шляху їх седиментації. Для розрахунків швидкості щільність частинок становила 6060, а діаметр частинок 800 – 1100 мкм [14].

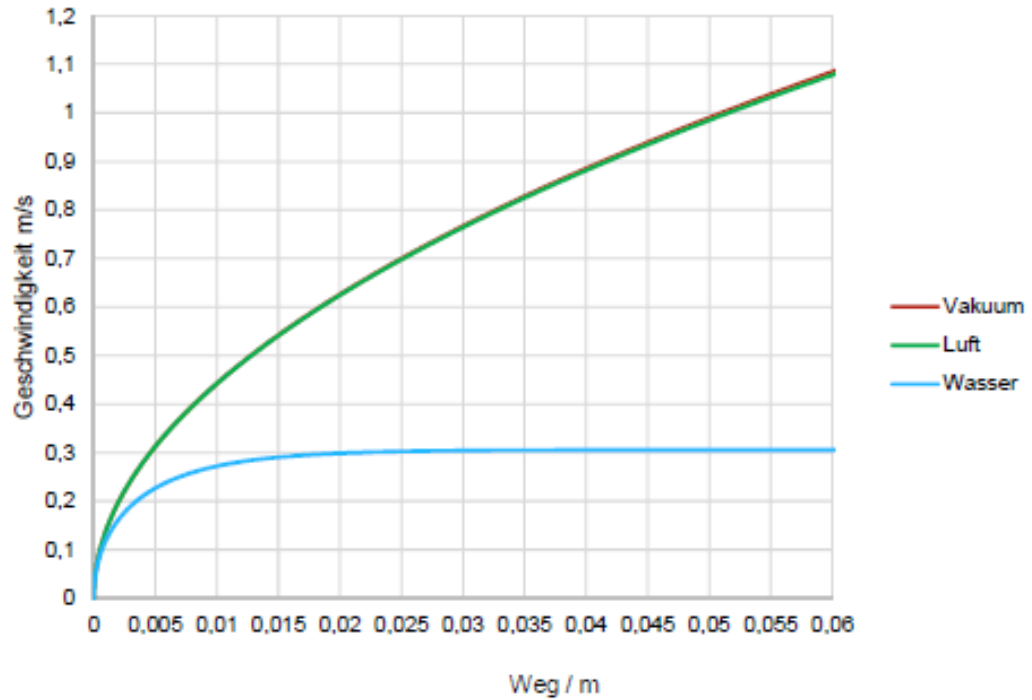


Рисунок 3.8 – Порівняння швидкостей падіння частинки 800 – 1000 мкм у воді і повітрі

Стаціонарну швидкість у воді частинки досягають приблизно через 0,02 секунди шляху падіння. Оскільки на рисунку 3.8 швидкість стаціонарного падіння в повітрі не досягається, на рисунку 3.9 слід її відображати в порівнянні з вакуумом. Значення для розрахунку швидкостей у вакуумі засновані на законі збереження енергії, (рівняння 3.39).

$$v = \sqrt{2gh} \quad 3.39$$

Тільки з висоти падіння 5 мм відбувається помітна різниця між повітрям і вакуумом, а нерухома швидкість досягається тільки з висоти падіння 15 мм [14].

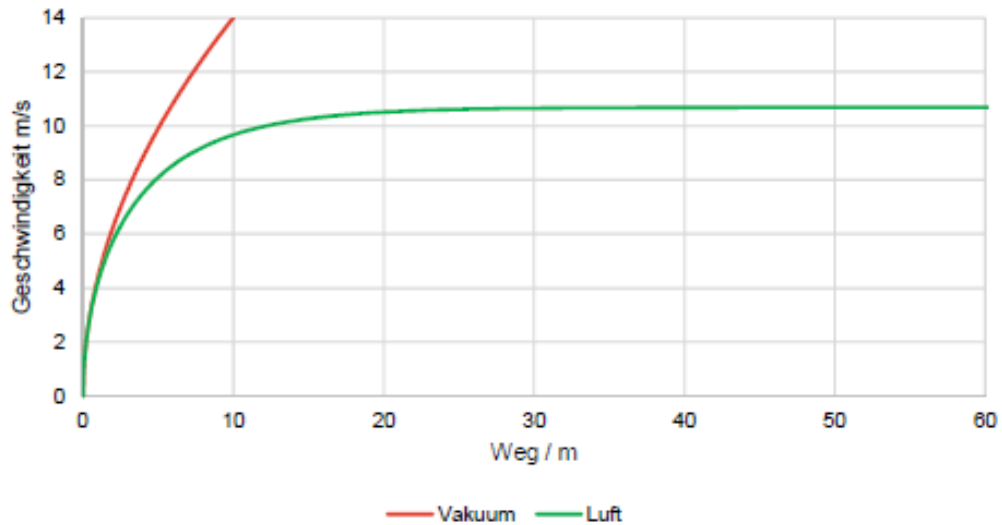
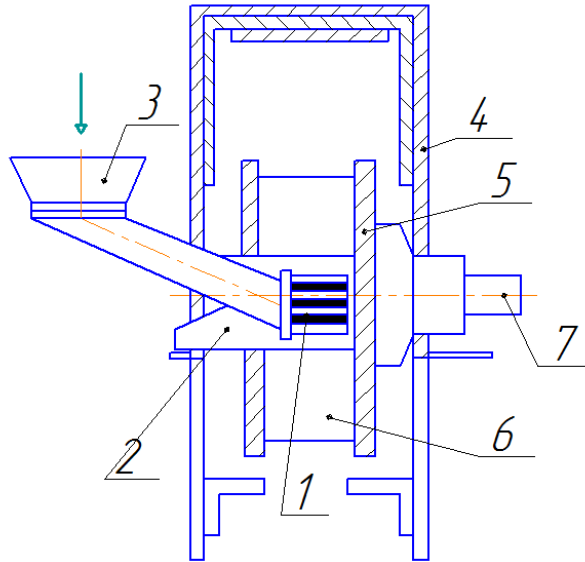


Рисунок 3.9 – Порівняння швидкостей падіння частинки 800 – 1000 мкм в повітрі і воді

3.4. Моделювання роботи дробоструминної установки

До основних конструктивних параметрів можна віднести: швидкість обертання ротора і робочого колеса, діаметр отвору для дробу в днищі бункера, діаметр прохідного перетину живильного патрубку, радіуси імпелера та величина розмірів пакетів дробу [20].



1 – імпелер; 2 – рухома напрямна коробка; 3 – завантажувальний пристрій; 4 – корпус; 5 – диски робочого колеса; 6 – лопатки; 7 – вал привода робочого і розподільного колеса (імпелера)

Рисунок 3.10 – Схема дробометного апарату

Розрахункова швидкість обертання ротора і робочого колеса [20]:

$$n_p = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot R \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - f + f^2)}}, \text{ хв}^{-1}$$

де R – конструктивний радіус дробометного колеса, м;

f – коефіцієнт тертя дробу про лопатки.

Діаметр отвору для дробу в днищі бункера:

$$D = 0,168 \cdot \left(\frac{\Pi}{\gamma} \right)^{0,4}, \text{ м}$$

де γ – насипна щільність дробу, кг/м³;

Π – продуктивність, уг/хв.

Діаметр прохідного перетину живильного патрубка:

$$d_B = 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{0,08 \cdot \Pi \cdot n_0}{n_p} + 17}, \text{ м}$$

де n_0 – базова швидкість обертання ротора (колеса), хв⁻¹.

Внутрішній радіус імпелера [20]:

$$\rho_1 = \frac{d_B}{2}, \text{ м}$$

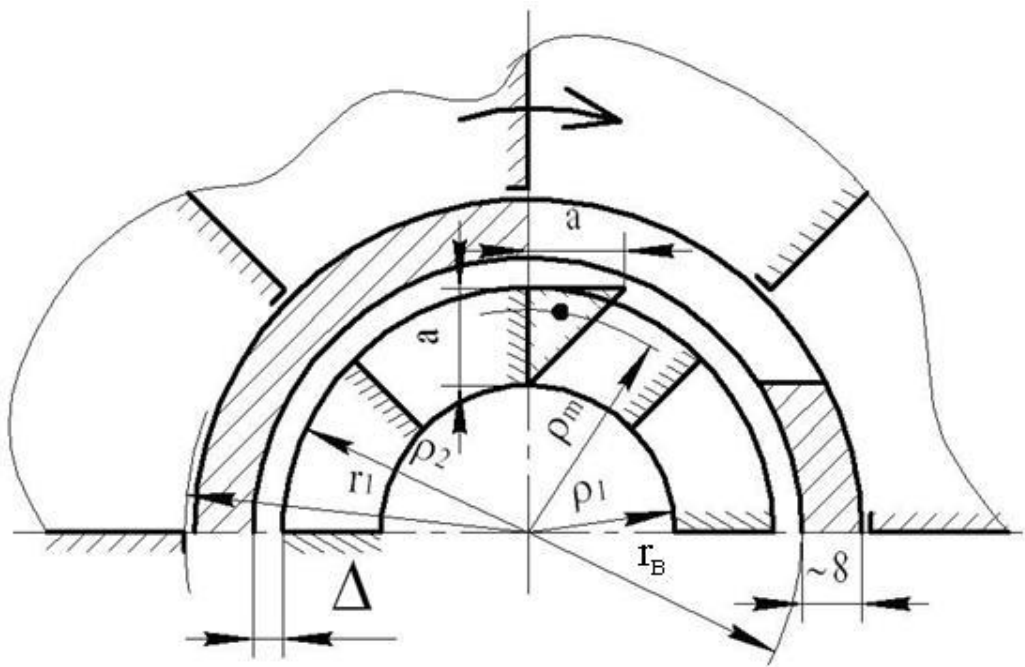


Рисунок 3.11 – Схема до розрахунку розмірів пакета дробу

Визначення зовнішнього радіусу імпелера:

$$\rho_2 = \rho_1 + \delta_l, \text{ м}$$

де δ_l – висота лопатки імпелера, м.

Визначення внутрішнього радіусу розподільної втулки:

$$r_b = \rho_2 + \Delta, \text{ м}$$

де Δ – радіальний зазор між імпелером і втулкою, м.

$$\Delta \sim (3,0 \dots 4,0) \cdot A, \text{ м}$$

A – середній розмір використовуваної, м.

Встановлюється ширина вікна розподільної втулки імпелера, рівна ширині лопатки імпелера $b = 0,05 \dots 0,06$ м.

Визначаються усереднені розміри пакетів дробу, що викидається лопатками імпелера:

$$a = \sqrt{\frac{2 \cdot \Pi}{b \cdot i \cdot n_p \cdot \gamma}}, \text{ м}$$

де b – ширина лопатки імпелера, м;

i – кількість лопаток імпелера.

Величина розмірів пакетів дробу є одним з параметрів продуктивності установки. Звідси можна зробити висновок, що кількість лопаток імпелера впливає на продуктивність дробоструму. Однак, виходячи з конструктивних

особливостей імпелера отримуємо, що більше ніж 7 лопаток поставити неможливо.

Завдяки збільшенню лопаток на одну, отримуємо більш раціональний вихід пакету дробу з імпелера, що тягне за собою збільшення загальної продуктивності.

Схему зустрічі дробинки з лопаткою імпелера приведена на рис. 3.12 [20].

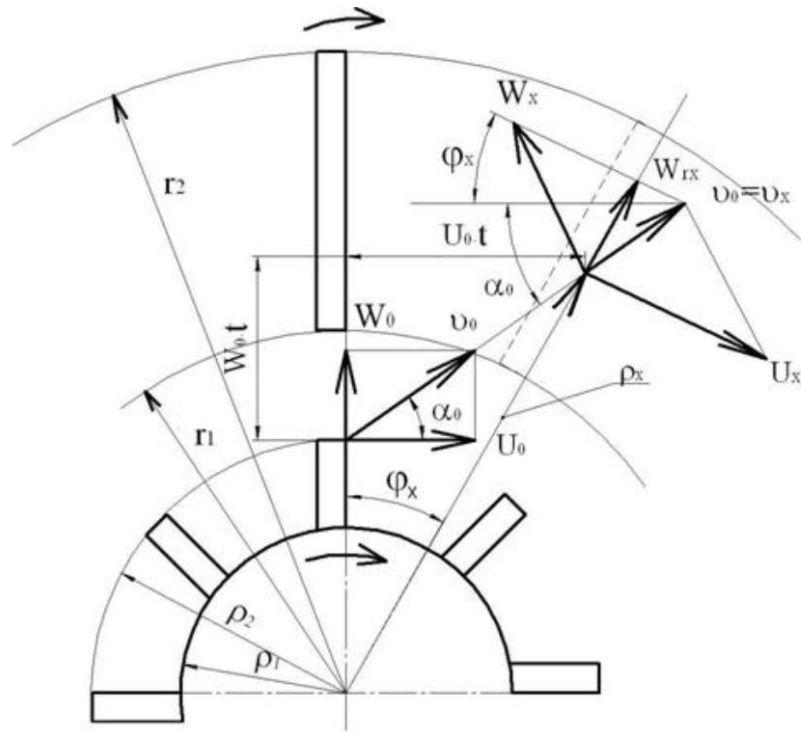


Рисунок 3.12 – Схема до розрахунку радіусу кола, на якому дробинка зустрічається з лопаткою робочого колеса

$$\rho_{\text{ш}} \sim \rho_2 - \frac{a}{3}, \text{ м}$$

Окружна складова швидкості сходу дробинок з лопатки імпелера:

$$U_0 = \frac{\pi \cdot n_p \cdot \rho_2}{30}, \text{ м/с}$$

Радіальної складової швидкості сходу дробинки з лопатки імпелера:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot n_p}{30} \cdot \sqrt{\rho_2^2 - \rho_{ш}^2}, \text{ м/с}$$

Абсолютна швидкість виходу дробинки з лопатки імпелера:

$$v_0 = \sqrt{W_0^2 + U_0^2}, \text{ м/с}$$

Положення дробинки в просторі після сходу з лопатки імпелера в момент часу t може бути визначений в полярних координатах:

- 1) поточним значенням радіусу ρ_x ;
- 2) кутом повороту дробинки φ_x щодо центру обертання з використання наступних формул:

$$\rho_x = \sqrt{(U_0 \cdot t)^2 + (\rho_2 + W_0 \cdot t)^2}, \text{ мм}$$

де t – час, с.

$$\varphi_x = \arctg\left(\frac{U_0 \cdot t}{\rho_2 + W_0 \cdot t}\right)$$

Обчислення проводяться для різних проміжків часу і заносяться в таблицю.

Проміжки часу з моменту сходження з імпелера до зустрічі з робочими лопатками: $t = 0,001 \dots 0,006$ сек.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання параметрів місця зустрічі дробинки з лопаткою робочого колеса

Розрахункові параметри	Час, с					
	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006
$U_0 \cdot t$, мм	13,9	27,8	41,7	55,6	69,5	83,4
$\rho_2 + W_0 \cdot t$, мм	6,5	13	19,5	26	32,5	39
ρ_x , мм	6500	6500,1	6500,2	6500,3	6500,4	6500,6

Потім шляхом графічної побудови в масштабі траєкторії дробинки і положення в різні моменти часу лопатки робочого колеса з параметрами r_1 і r_2 (внутрішній і зовнішній радіус установки лопаток) встановлюється місце зустрічі дробинки і лопатки), припускаючи, що установка лопаток колеса і імпелера здійснюється на одній осі [20].

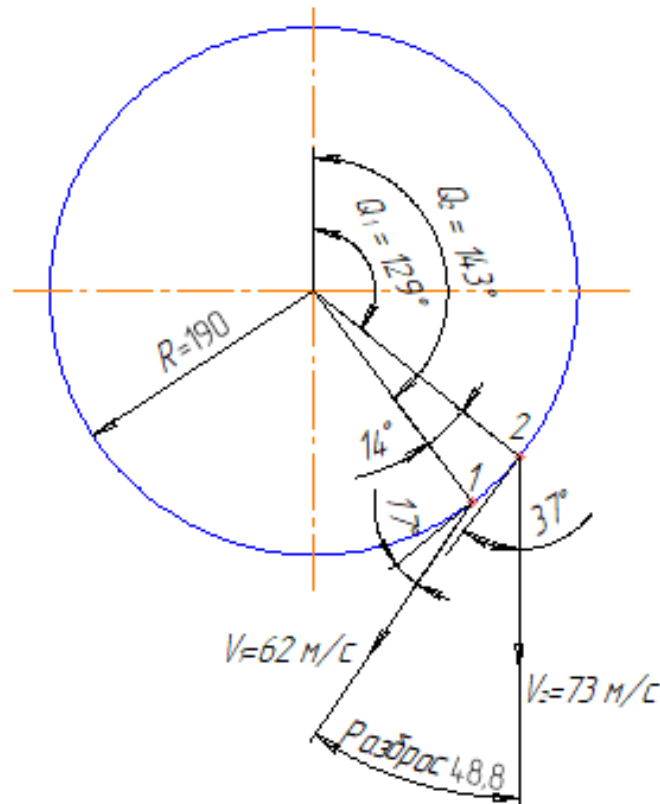


Рисунок 3.13 – Розрахунковий розкид дробу

При зустрічі двох дробинок близько робочої лопатки, що не вдарилася о лопатку і вже відбилася від неї, відбувається їх взаємне зіткнення, або косий центральний удар дробинок 1 і 2 (рисунок 3.14) [20].

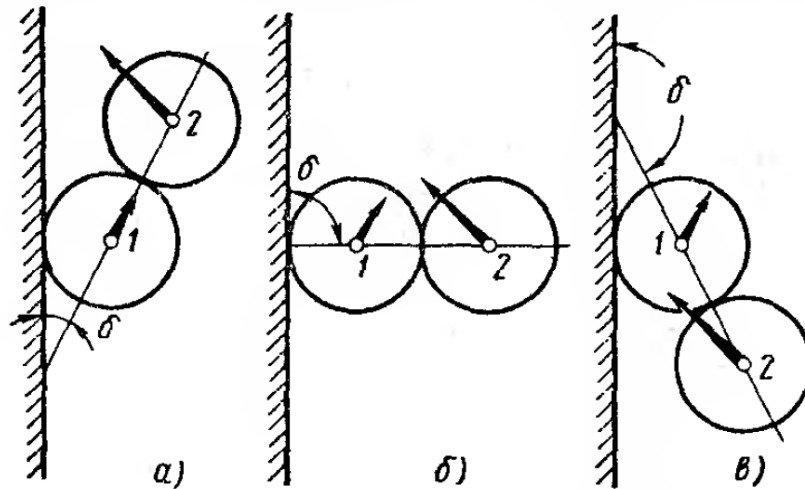


Рисунок 3.14 – Схема взаємного розташування дробинок при їх зіткненні у робочій лопатці

При цьому лінія удару може утворити з лопаткою кут $\delta < 90^\circ$ (випадок а), $\delta = 90^\circ$ (випадок б) та $\delta > 90^\circ$ (випадок в). У випадках б і в може мати місце більш складне явище зіткнення з передачею удару від дробинок, які зустрічаються в самій лопатці. Допускається, що після зіткнення дробинок 1 і 2 не відбудеться їх відбиття від лопатки, тобто кути зустрічі дробинок з лопаткою будуть достатньо малі [20].

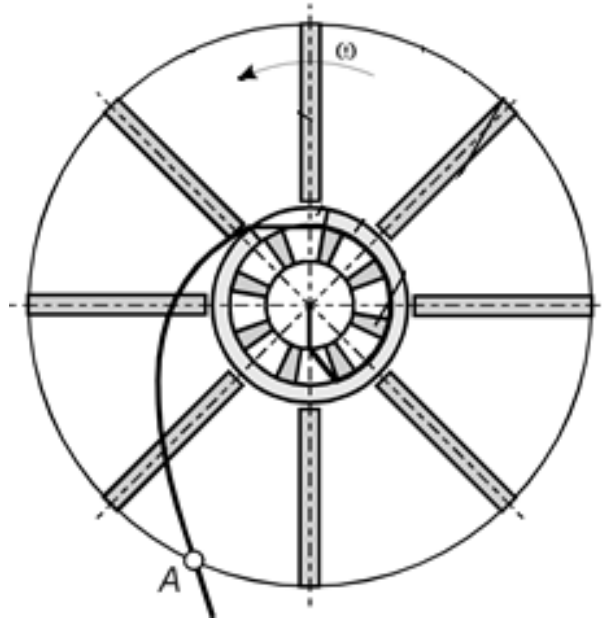


Рисунок 3.15 – Траєкторія руху дробу в дробометному колесі

Для дробинки 1 ця швидкість буде дорівнювати:

$$w_{q1} = v_0 \sin(\alpha_0 + \varphi_x) + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{(1 + k)^2}{2} \sin 2\delta (u_x - v_0 \cos(\alpha_0 + \varphi_x))$$

де α_0 – кут відхилення від дотичної вектору абсолютної швидкості викидання дробинки імперелером;

δ – кут між лінією зіткнення дробинок 1 та 2 у напрямку лопатки;

v_0 – радіальна швидкість, м/с;

v_x – окружна швидкість, м/с;

k – коефіцієнт відновлення швидкості при зіткненні дробинок;

m_1 та m_2 – маси дробинок 1 та 2.

Для дробинки 2 швидкість буде дорівнювати:

$$w_{q2} = v_0 \sin(\alpha_0 + \varphi_x) + \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{(1 + k)^2}{2} \sin 2\delta (u_x - v_0 \cos(\alpha_0 + \varphi_x))$$

Обраний дробомет працює зі сталеною литою дріб'ю 08 ГОСТ 11964 – 8.

Її виконують сферичної форми з діаметром фракції 0,8 мм. Ця дріб є економічно вигідним виробом, так як може експлуатуватися багато разів.

Таблиця 3.2 – Основні параметри сталеного литого дробу 08 ГОСТ 11964 – 81

Номер дробу	Робочий номінальний розмір отвору (номінальний розмір сторони комірки в світлі) сита, мм	Робочий номінальний розмір отвору (номінальний розмір сторони комірки в світлі) сита для розсіву, мм	Допустимий вміст залишку на ситі, %	
			не менше *	не більше
08	0,800	0,630	90	–
		0,800	80	–
		1,250	–	6
		1,400	–	1

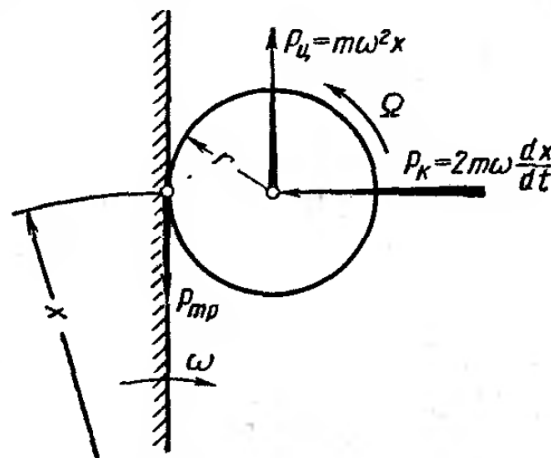


Рисунок 4.16 – Схема кочення дробинки по радіальній лопатці ротора з одночасним ковзанням

Згідно з [4] кругла дробинка повинна одночасно котитися під дією сил тертя, якщо тільки остання не дорівнює нулю. Ковзання дробинки при русі по лопатці припиняється в той момент, коли окружна швидкість дробинки в її власному обертанні досягає швидкості її відносного руху по лопатці.

Умова переходу до чистого коченню дробинки можна записати наступним чином:

$$5\omega f(x - x_1) = w$$

де ω – кутова швидкість, рад/с.

Чисте кочення дробу по лопатках дробометні колеса звичайного типу практично не має місця і при розрахунках може не враховуватися.

Таким чином, дробинки з радіусом 0,8 мм = 0,0008 м коефіцієнт тертя ковзання буде дорівнювати 0,044.

Дробометне колесо, яке швидко обертається повідомляє рух повітря в кожусі, що закриває колесо, і витрачає на ці вентиляційні втрати близько 50% споживаної потужності. Близько 40 % потужності витрачається корисно на повідомлення живої сили дробу, що викидається. Решта 10 % витрачаються на тертя дробу по лопатках імелера і робочим лопаткам колеса [20].

3.5. Моделювання падіння дробинки з використанням EDEM

Моделювання падіння дробинки проводимо в програмі EDEM без впливу будь – якої рідини для визначення залежностей швидкості від часу, для того щоб визначити коефіцієнт реституції, припускаючи що повітря буде відігравати незначну роль у цьому процесі.

Для поверхні, о яку вдаряються частинки та для частинок вихідні параметри представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вихідні параметри для проведення симуляцій

Параметр	Розмір, мм	Щільність, кг/м ³	Модуль Юнга, ГПа	Число Пуассона	Коефіцієнт відновлення	Коефіцієнт тертя	Висота падіння, мм
Значення для частинки	0,3; 0,45; 0,9	6060	215	0,3	0,92	0,2	2
Значення для поверхні	10×10	4500	110	0,33	0,92	0,2	2

На першому етапі зробити моделювання частинки та задаємо її параметри. Для цього необхідно задати параметри матеріалу, ввести координати частинки, її радіус та розрахувати фізичні характеристики у програмному середовищі. Описані кроки відображені на рисунках 3.18–3.19.

The image shows two screenshots from a simulation software. The top screenshot is the 'ParticleMaterial Properties' dialog box, and the bottom screenshot is a summary of calculated parameters for a particle.

ParticleMaterial Properties

- Poisson's Ratio (ν): 0.3
- Solids Density (ρ): 6060 kg/m³
- ☐ Shear Modulus (G): 8.269e+09 Pa
- ☒ Young's Modulus (E): 2.15e+10 Pa
- Work Function: 0 J
- Interactions
 - Interaction: ParticleMaterial
 - Coefficient of Restitution: 0.92
 - Coefficient of Static Friction: 0.2
 - Coefficient of Rolling Friction: 0.01
- Particle Ratios
 - Total mass %: 100

Calculated Parameters:

- Mass: 3,53429e-08 kg
- Volume: 1,41372e-11 m³
- Moment of Inertia X: 3,18086e-16 kgm²
- Moment of Inertia Y: 3,18086e-16 kgm²
- Moment of Inertia Z: 3,18086e-16 kgm²

Рисунок 3.18 – Обрані параметри матеріалу частинки

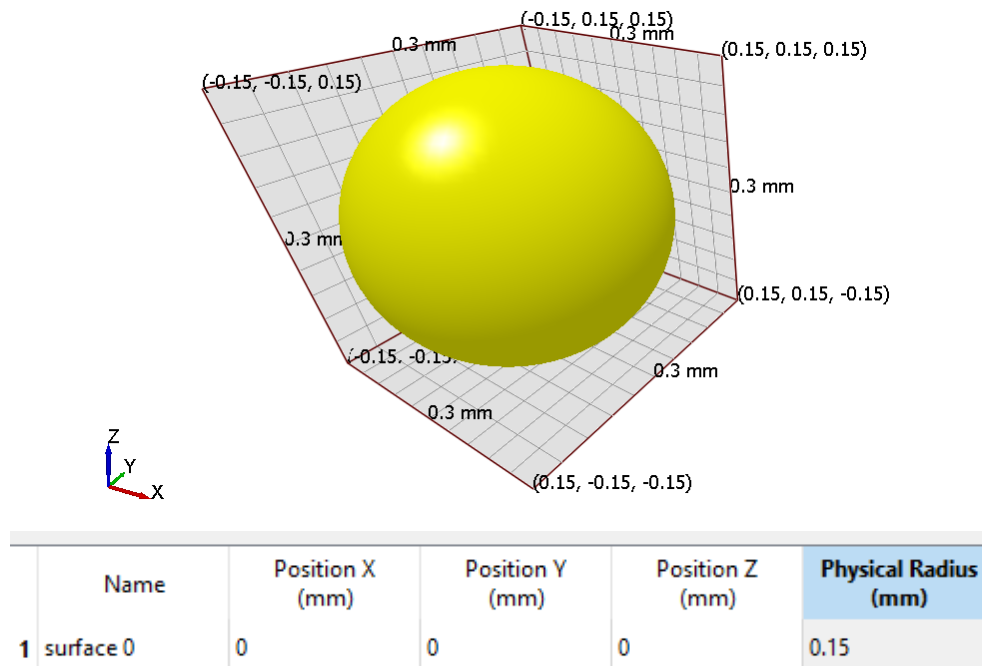


Рисунок 3.19 – Змодельована частинка у програмі EDEM

Наступним кроком є створення поверхні, о яку буде проходити удар частинки. Задаємо вхідні параметри (рис. 3.20), після чого створюємо поверхню.

Необхідно створити полігон, з якого буде генеруватися частинка (рис. 3.20) і задати вхідні параметри для початку симуляції (вказати час початку, загальна кількість частинок і кількість частинок в секунду) – рисунок 3.21.

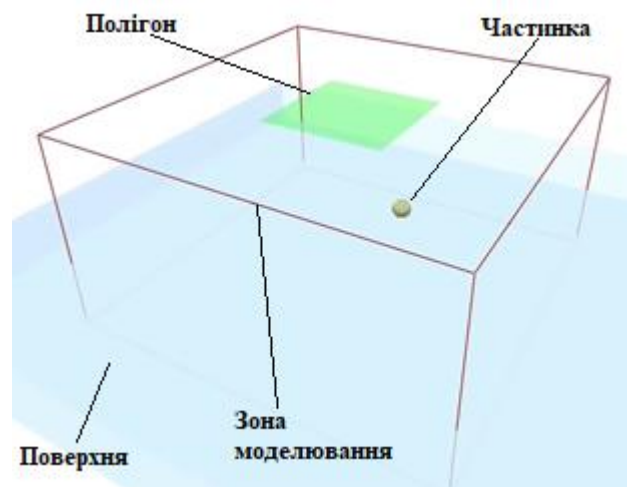
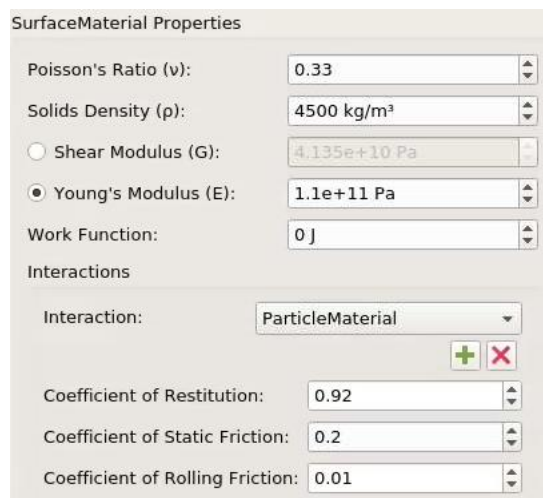


Рисунок 3.20 – Створена поверхня та полігон, який генерує частинки

Particle Generation

Factory Type: dynamic

☐ Unlimited Number

☒ Total Number: 1

☐ Total Mass: 100 kg

Generation Rate

☒ Target Number (per second) ☐ Target Mass

1

Start Time: 0.01 s

Max Attempts to Place Particle: 20

Overlap Check Based on: ☒ Physical Radius ☐ Contact Radius

Рисунок 3.21 – Вхідні параметри для полігона, який генерує частинки

Після виконання симуляції програми ми можемо використовувати отримані дані для побудови графіка, що показує залежність швидкості від часу (рисунок 3.22).

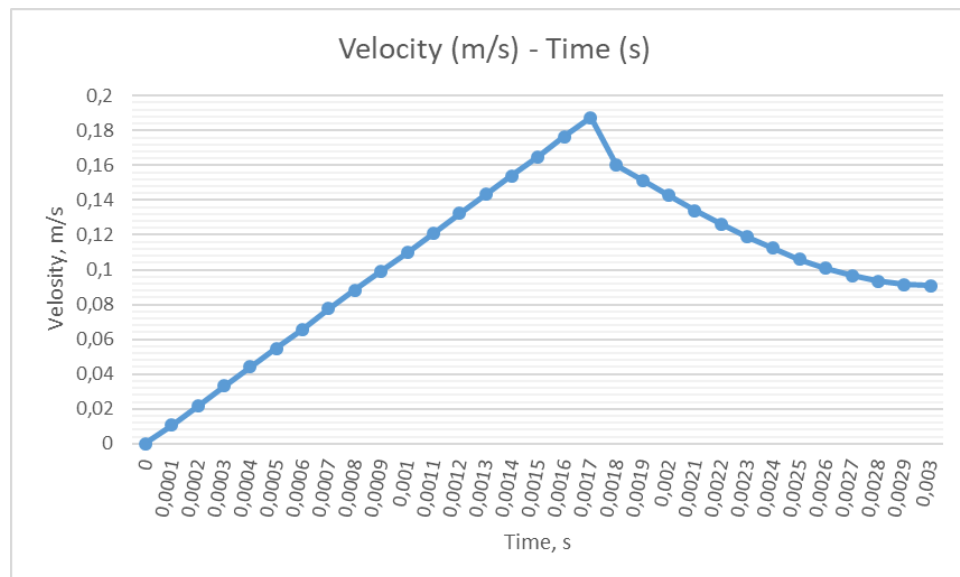


Рисунок 3.22 – Графік залежності швидкості частинки від часу за результатами симуляцій

Вершина на графіку вказує на зіткнення частинки на поверхню. Але, щоб розрахувати коефіцієнт реституції, потрібно використовувати максимальну швидкість до зіткнення і після.

Коефіцієнт реституції (e), який моделюється прямим ударом частинки об нерухому поверхню, дорівнює швидкості частинки в кінці зіткнення (u) до швидкості на початку зіткнення (v):

$$e = u/v$$

Значення U , поділене на V , є спрощенням розподілу енергії, оскільки не очікується, що маси зміняться.

4. РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ ДРОБОМЕТНОГО КОЛЕСА

Параметрична модель необхідна для подальшої роботи. Так як вона дозволить змінювати конструктивні параметри створеної моделі в менший термін часу. В результаті можна отримати комплекс креслень для цілого ряду типорозмірів однотипних деталей.

4.1. Параметричне креслення дробометного колеса

Параметричні залежності – це декілька пов'язаних деталей, які впливають на розмір конструкції. Це необхідно для подальшого автоматичного розрахунку моделі. Змінюючи декілька параметрів розмірів, модель генерується в автоматичному режимі.

В роботі для створення параметричного креслення використовується САПР Компас 3D.

Першим кроком при створенні параметричного креслення є створення плоского креслення типової деталі за заданими розмірами. У процесі використовується стандартний інструментарій САПР. В результаті проектування отримано зображення деталі (рис. 4.1).

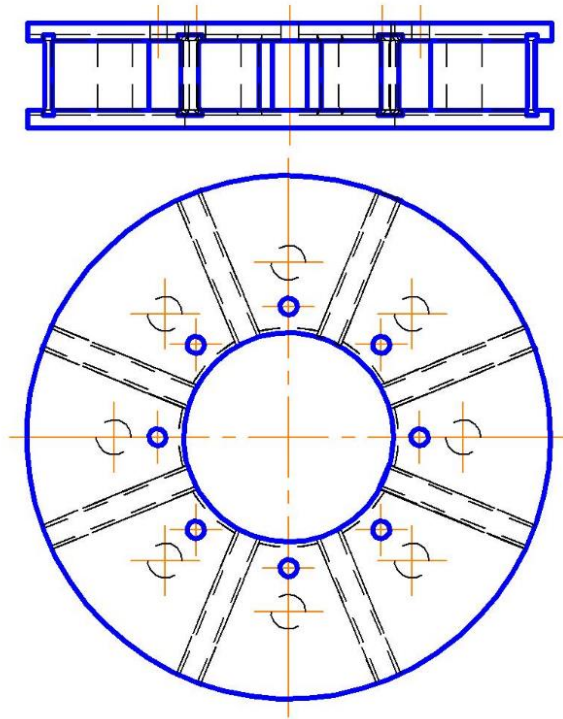


Рисунок 4.1– Зображення дробемерного колеса

Наступним кроком є включення можливості параметризації наявного креслення. Для цього необхідно:

1. Виділити всі елементи креслення, які необхідно параметризувати.
2. На панелі інструментів в розділі "параметризація" клікнути на кнопку "Параметризувати об'єкти "(рис. 4.2).
3. У діалоговому вікні «Встановіть типи обмежень» вибрати необхідні параметри і підтвердити операцію (рис. 4.3).

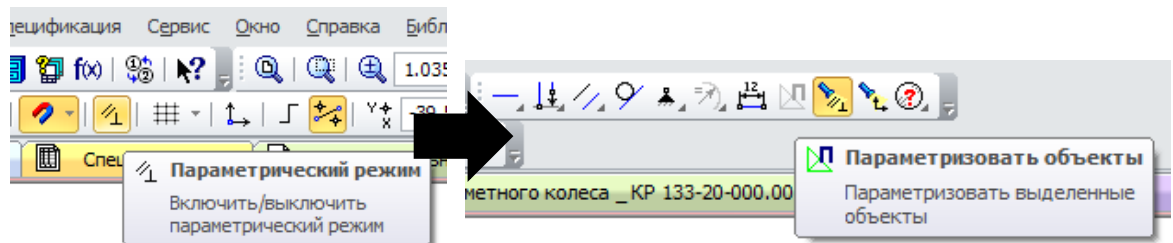


Рисунок 4.2– Порядок включення параметризації

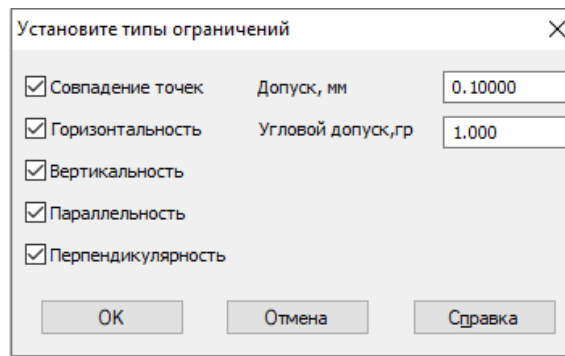
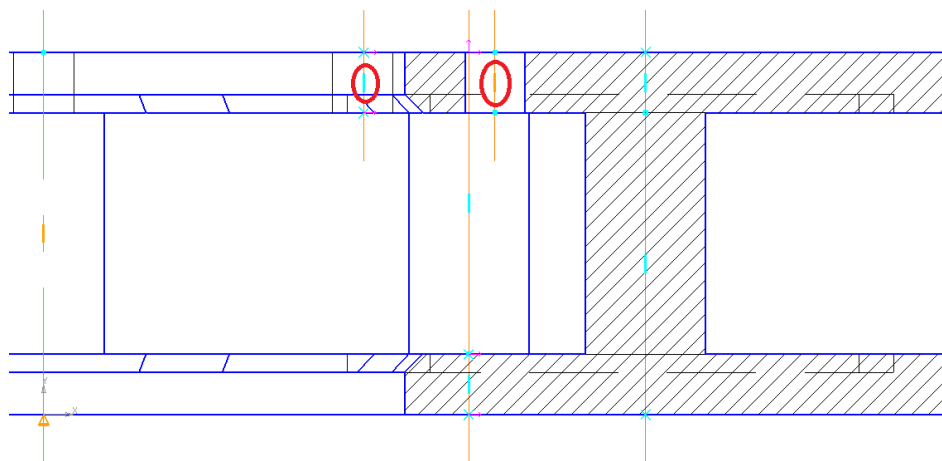


Рисунок 4.3– Діалогове вікно параметрів параметризації

Для відображення залежностей, змінних, обмежень та ін. на панелі інструментів "Параметризація" необхідно активувати режим перегляду обмежень об'єктів шляхом кліка на кнопці "Відображати обмеження". В результаті даних дій на кресленні з'являються деякі значки обмежень, які означають, що елементи креслення вже мають деякі умови розташування в поле креслення (рис. 4.4).



а – обмеження неповне (блакитний маркер); б – повне обмеження, тобто параметри елемента повністю визначені параметрами моделі (помаранчевий маркер)

Рисунок 4.4 – Відображення обмежень елементів креслення

Крім обмежень, створюваних автоматично при створенні нових об'єктів, присутня можливість встановлення обмежень за вказівкою користувача. Для цього використовується панель «Параметризація», на якій знаходяться інструменти для встановлення обмежень об'єктів креслення (рис. 4.5).

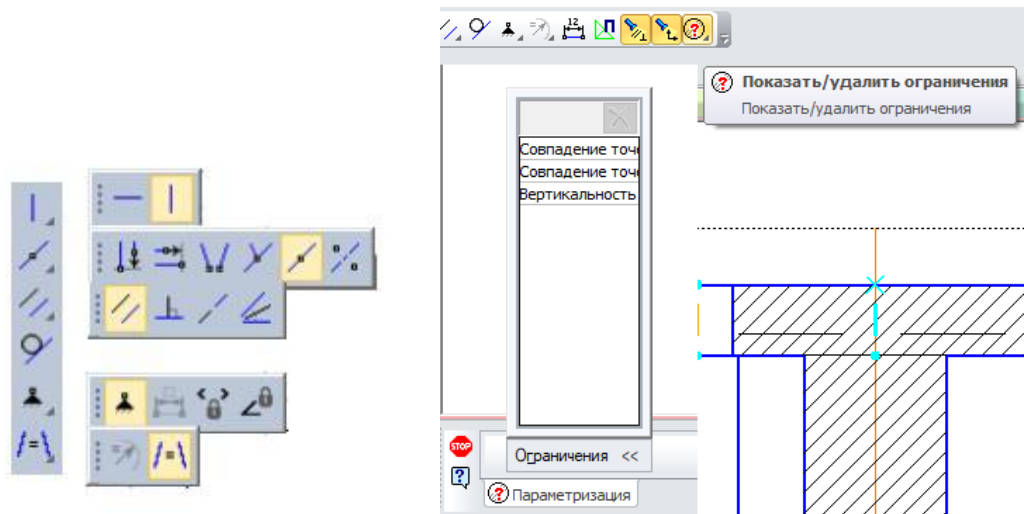


Рисунок 4.5 – Встановлення обмежень об'єктів креслення

Крім встановлення обмежень і візуального їх спостереження за допомогою значків – маркерів можливо переглянути обмеження кожного окремо взятого об'єкта. Для цього необхідно скористатися інструментом «Показати / видалити обмеження», який знаходиться на панелі інструментів «Параметризація» (рис. 4.5).

При активації інструменту необхідно вказати об'єкт креслення, обмеження якого необхідно переглянути чи редагувати. При вказівці об'єкта на нижній панелі з'являється відповідне меню, що містить список обмежень обраного об'єкта. За допомогою кнопки у верхній правій частині меню можливо видалити окремі обмеження обраного об'єкта.

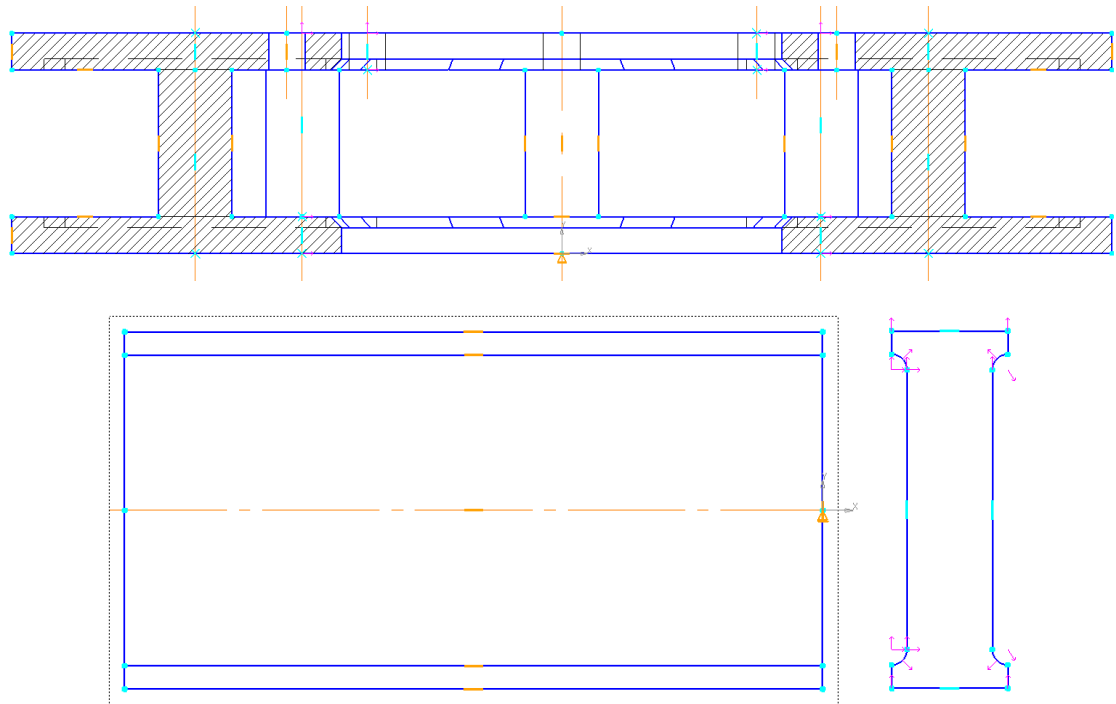


Рисунок 4.6 – Дробометного колеса та лопатка після встановлення обмежень

В результаті роботи з обмеженнями кожного об'єкта креслення можна отримати плоске креслення деталі (рис. 4.6), що володіє геометричними залежностями, які визначають його положення на аркуші креслення. Тепер креслення готове до подальшої параметризації і присвоєння змінних.

4.2. Розробка параметричної 3D моделі дробометного колеса

Створення параметричної моделі в просторі практично нічим не відрізняється від параметризації на площині.

У режимі створення деталі параметричний режим включений за замовчуванням.

Потрібно створити новий документ КОМПАС – Деталь і відразу зберегти його під ім'ям «Параметризація.m3d». Необхідно переконатися у вікні

«Параметри», що в системі включена повна параметризація ескізів, після чого можна приступати до побудови.

Запустити створення ескізу, в якості базової площини якого необхідно вибрати ZX. Натиснути кнопку «Окружність» на панелі інструментів «Геометрія» та побудувати креслення корпусу (рис. 4.7). Якщо була включена параметризація, то система повинна автоматично накласти на створене зображення наступні обмеження:

- збіг точок відрізків;
- горизонтальність;
- вертикальність.

Щоб переконатися в цьому, необхідно виділити будь – який відрізок і виконати команду «Показати/видалити обмеження контекстного меню».

Далі необхідно задати змінні для зображення ескізу так, щоб при зміні однієї з них креслення перебудовувалося, зберігаючи положення свого центру і рівність довжин сторін. Для цього необхідно перейти на панель інструментів "Розміри» і натиснути кнопку «Лінійний розмір». На панелі властивостей у групі кнопок "Тип" натисніть кнопку вертикальний, щоб увімкнути створення вертикального розміру.

Оскільки на геометричні об'єкти накладені обмеження, після фіксації розміру система відразу запропонує встановити його значення і присвоїти йому змінну (рис. 4.7).

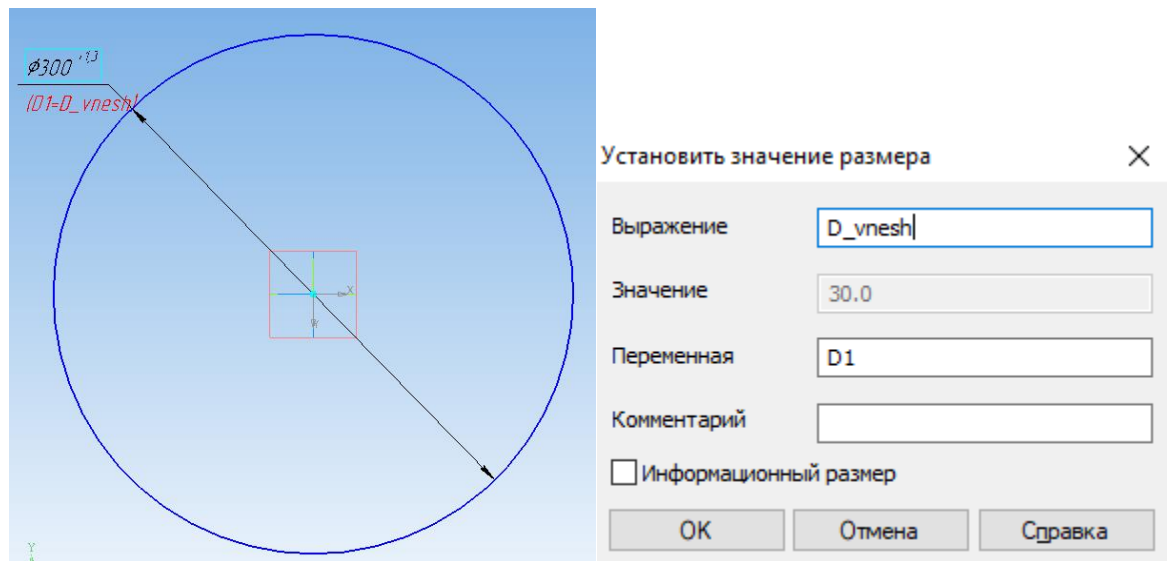


Рисунок 4.7 – Постановка параметричних розмірів та присвоєння значення та імені змінної параметризованого розміру

Після чого, потрібно натиснути кнопку на панелі інструментів «Редагування деталі», потім «Операція видавлювання». Далі необхідно вказати величину, на яку потрібно «розширити» деталь.

Тепер необхідно вибрати отриману верхню грань та натиснути «Ескіз». Для зручності виставляємо допоміжні прямі. Вписуємо коло на поверхню. Після чого будуємо кола по периметру (рис. 4.8) та обираємо операцію «Видавлювання».

Знову тиснемо на ту ж саму грань – «Ескіз». Креслимо коло по центру та обираємо операцію «Вирізати видавлюванням».

Потрібно зробити канавки (посадкові місця) для лопаток. Знову користуємося для зручності допоміжними лініями. Після чого, відступаємо необхідну відстань та креслимо канавки (рис. 4.8) та обираємо операцію вирізання.

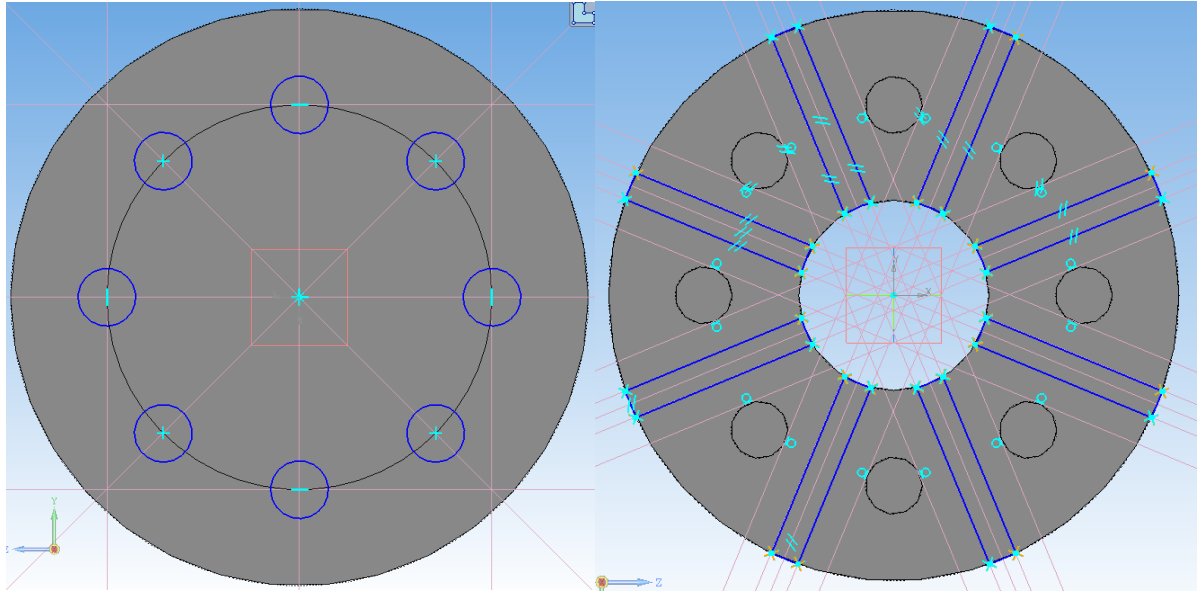


Рисунок 4.8 – Креслення стовбурів та канавок

Робимо фаски у внутрішньому колі (рис. 4.9).

Аналогічно з нижньою кришкою робимо верхню разом з канавками. Однак, тут додатково потрібно буде зробити отвори для з'єднання. На верхній грані тиснемо «Ескіз», далі робимо допоміжне коло та креслимо отвори (рис. 4.9).

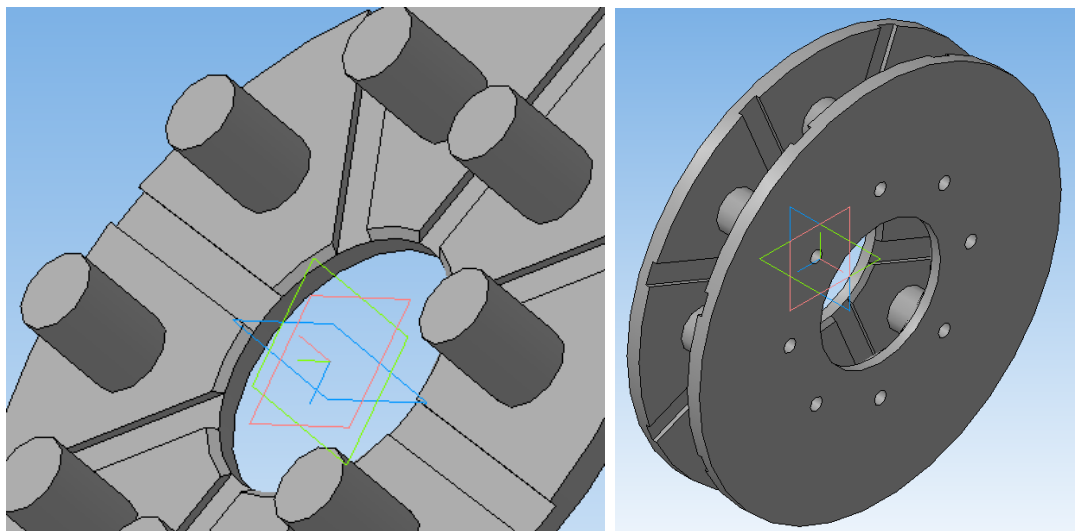


Рисунок 4.9 – Зображення фасок та готової деталі

Для визначення параметричних залежностей між змінними як креслення, так і моделі, в КОМПАС – 3D існує спеціальне вікно «Редактор формул». Воно викликається за допомогою кнопки «Змінні – ».

Панелі інструментів «Стандартна» або команди меню «Вид» – > «Панелі інструментів» – > «Змінні». У цьому вікні відображаються всі змінні, які були присвоєні параметризованим розмірам графічного документа, ескізу або моделі. У ньому також задаються значення цих змінних і вводяться формули, за якими вони будуть розраховуватися.

Вікно редактора формул може бути зафіксовано у однієї із сторін головного вікна програми, відображатися в плаваючому стані (тобто ховатися за межами вікна, коли неактивно), вільно розміщуватися в межах головного вікна або взагалі не відображатися на екрані. За замовчуванням вікно змінних закрито.

Не виходячи з режиму редагування ескізу, необхідно викликати вікно «Змінні» і переконатися, що в ньому автоматично з'явилася додана в ескізі змінна (рис.4.10).

Переменные		
Имя	Выражение	Значение
[-] Деталь (Тел-1)		
..... D_vnesh	300.0	300.0
..... D_kollon	30.0	30.0
..... D_vnutr	100.0	100.0
..... H_kan	15.0	15.0
..... K_chan	100.3781	100.3781
..... D_otv	10.0	10.0
[+] (т)Начало координат		
[-] (-) Эскиз:1		
..... v8		0.0
..... D1	D_vnesh	300.0
[+] Операция выдавливания:1		
[-] (-) Эскиз:2		
..... v30		0.0
..... D2	D_kollon	30.0
[+] Операция выдавливания:2		
[-] (+) Эскиз:3		
..... v59		0.0
..... D3	D_vnutr	100.0
[+] Вырезать элемент выдавливания:1		
[-] (-) Эскиз:4		
..... v80		0.0
..... H1	H_kan	15.0
..... L1	K_chan	100.3781
[+] Вырезать элемент выдавливания:2		
[+] Фаска:1		
[-] (+) Эскиз:5		
..... v120		0.0
..... D4	D_vnesh	300.0
[+] Операция выдавливания:3		
[-] (+) Эскиз:6		
..... v142		0.0
..... D5	D_vnutr	100.0
[+] Вырезать элемент выдавливания:3		
[-] (-) Эскиз:7		
..... v182		0.0
..... D6	D_otv	10.0
[+] Вырезать элемент выдавливания:4		
[-] (-) Эскиз:8		
..... v201		0.0
[+] Вырезать элемент выдавливания:5		
[+] Фаска:2		

Рисунок 4.10 – Вікно Змінні

В результаті виконаних дій можна отримати повністю параметризовану модель корпусу.

4.3. Таблиці зовнішніх змінних

Для створення таблиці зовнішніх даних можна використати табличний процесор MS Excel. Враховуючи, що таблиця буде використовуватися в якості джерела зовнішніх змінних при створенні параметричного креслення в Компас 3D необхідно виконати наступні вимоги:

1. Імена змінних розташовуються в рядок і являють собою імена стовпців таблиці.
2. Значення змінних розташовуються по рядках. Діапазон значень кожної змінної необхідно розташувати по стовпцю з відповідним ім'ям.
3. Для забезпечення оптимальної сумісності файл таблиці виконати у форматі .xls.

	A	B	C	D	E	F
1	D_vnesh	D_kollon	D_vnutr	H_kan	K_chan	D_otv
2	140	15	46,6	7	46,6	10
3	160	20	53,3	7	53,3	10
4	180	20	60	10	60	10
5	200	25	66,6	10	66,6	10
6	220	25	73,3	10	73,3	10
7	240	25	80	10	80	10
8	260	30	86,6	10	86,6	10
9	280	30	93,3	15	93,3	10
10	300	30	100	15	100	10
11	320	35	106,6	15	106,6	10
12	340	35	113,3	15	113,3	10
13	360	35	120	20	120	10
14	380	40	126,6	20	126,6	10
15	400	40	133,3	20	133,3	10

Рисунок 4.11 – Таблиця зовнішніх змінних, виконана в MS Excel

Прив'язка таблиці зовнішніх змінних до параметричного креслення дозволяє автоматизувати підстановку значень змінних для кожного конкретного виконання деталі шляхом вибору відповідного рядка значень.

Перед прив'язкою зовнішньої таблиці значень необхідно задати таблицю змінних у файлі креслення. Для цього необхідно активувати панель "Змінні": в рядку головного меню вибрати «Вид → Панелі інструментів → змінні». В результаті зліва з'являється панель змінних для даного документа.

Далі необхідно задати в осередках панелі імена і значення змінних для креслення деталі. В результаті отримуємо наступне (рис. 4.12).

Щоб уникнути помилок програми необхідно для всіх змінних параметричного креслення задати параметр «Зовнішня».

Для прив'язки таблиці значень зовнішніх змінних необхідно клікнути на кнопку «Таблиця змінних» на панелі «Змінні».

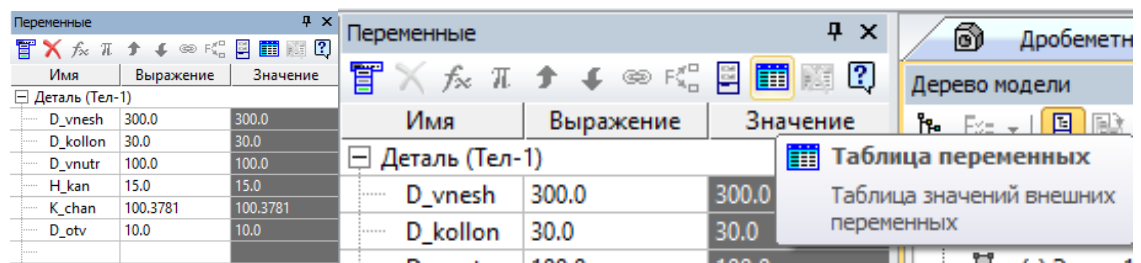


Рисунок 4.12 – Панель змінних та її вигляд

Для пошуку необхідного файлу з даними на жорсткому диску необхідно клікнути на кнопку «Читати з файлу».

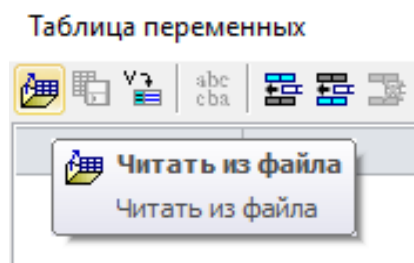
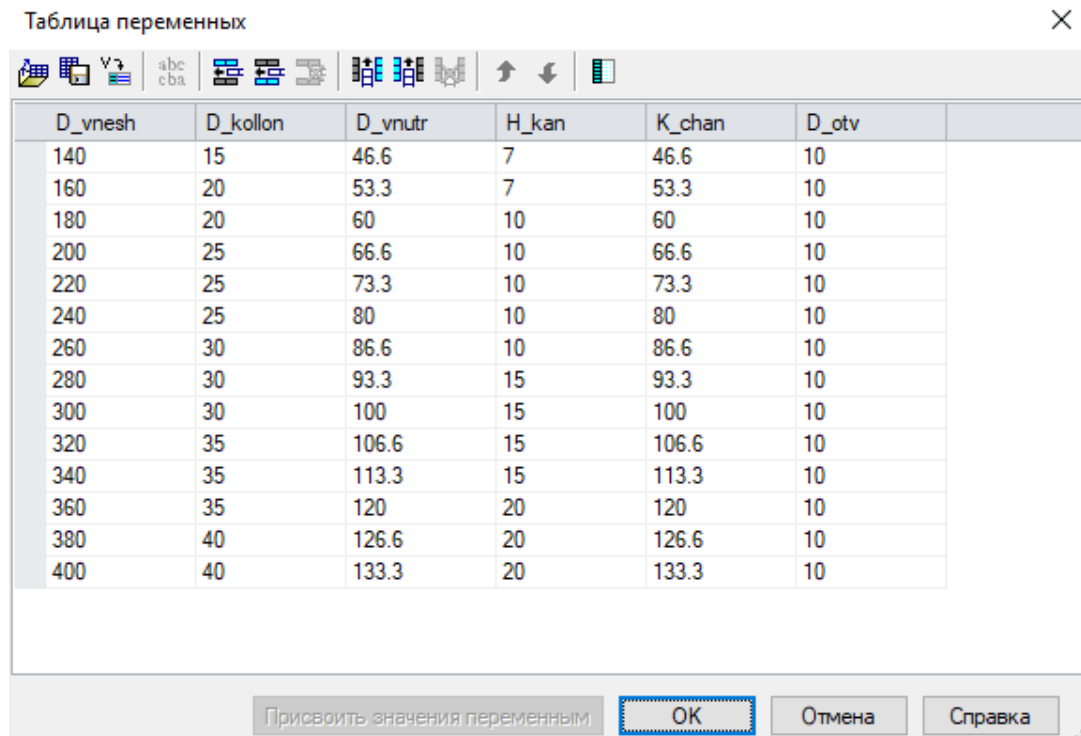


Рисунок 4.13 – Вид кнопки «Читати з файлу»

Далі в вікні "Провідника" необхідно вибрати необхідний файл таблиці зі змінними. Після вибору заздалегідь створеного файлу, при повторному кліці на кнопку "Таблиця змінних" відкривається діалогове вікно таблиці змінних.

Вибір значень змінних здійснюють шляхом вибору необхідного рядка в діалоговому вікні. Для підтвердження вибору необхідно клікнути на кнопці "присвоїти значення змінним" і система автоматично присвоїть значення змінним з відповідними іменами. Варто звернути увагу, що імена змінних в таблиці змінних і на панелі «Параметризація» повинні збігатися з урахуванням регістра.

Таблица переменных



D_vnesh	D_kollon	D_vnutr	H_kan	K_chan	D_otv
140	15	46.6	7	46.6	10
160	20	53.3	7	53.3	10
180	20	60	10	60	10
200	25	66.6	10	66.6	10
220	25	73.3	10	73.3	10
240	25	80	10	80	10
260	30	86.6	10	86.6	10
280	30	93.3	15	93.3	10
300	30	100	15	100	10
320	35	106.6	15	106.6	10
340	35	113.3	15	113.3	10
360	35	120	20	120	10
380	40	126.6	20	126.6	10
400	40	133.3	20	133.3	10

Присвоить значения переменным OK Отмена Справка

Рисунок 4.14 – Діалогове вікно таблиці змінних

Можливість зв'язування таблиці з зовнішніми змінними дозволяє значно прискорити процес проектування, а також підвищує якість одержуваного креслення і зменшує ймовірність людської помилки при введенні даних.

4.4. Об'єднання параметричного креслення та 3D моделі

Завершальним і найбільш відповідальним кроком при створенні параметричного креслення деталі є встановлення залежностей між розмірами і змінними.

В САПР Компас 3D цей процес автоматизований і відбувається при виставленні розмірних ліній на кресленні. При включеній параметризації після проставлення лінійного розміру з'являється діалогове вікно, в якому користувач може встановити значення величини розміру і його позначення.

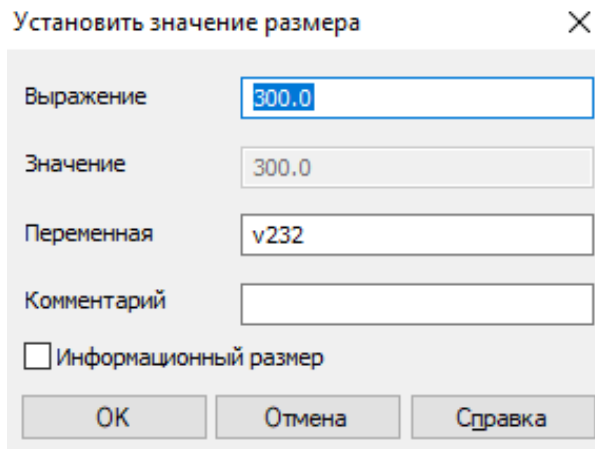


Рисунок 4.15 – Діалогове вікно встановлення розміру елемента креслення

Вивчивши діалогове вікно варто відзначити, що в якості розміру елемента можна встановити вираз із застосуванням змінних, заданих раніше (див. п. 3). Крім того, для спрощення сприйняття можливо кожному розміру задати своє ім'я змінної, відмінне від глобальних змінних. Для зручності користувача присутня можливість залишати коментарі до змінної, щоб надалі спростити її ідентифікацію. Всі значення, записані в даному діалоговому вікні, будуть відображені у відповідних комірках панелі "Параметризація". Проставлення маркера «Інформаційний розмір» призведе до того, що цей розмір буде

виводиться лише для довідки і не буде сприйматися системою як змінна. Відповідно вплив цього розміру на параметри моделі виключається.

Після проставлення розміру і завдання йому необхідних параметрів, при включеній опції «Показувати обмеження» під значенням розміру з'явиться червона напис із змінною, присвоєної йому і виразом, за яким ця змінна розрахована, якщо таке було задано раніше (рис. 4.16)

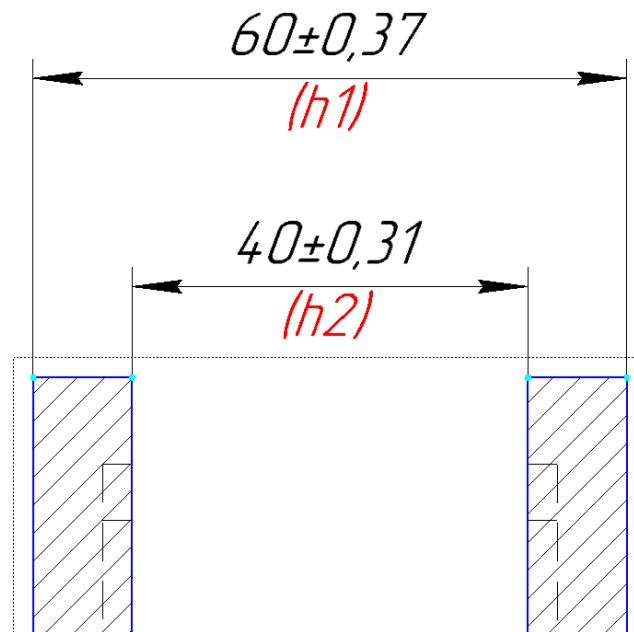


Рисунок 4.16 – Відображення параметричного розміру

Варто відзначити, що синім кольором відображаються зовнішні змінні, а жовтим кольором – інформаційні розміри.

Варто відзначити, що синім кольором відображаються зовнішні змінні, а жовтим кольором – інформаційні розміри. Як видно, у інформаційних розмірів комірка « вираз» заблокована для редагування.

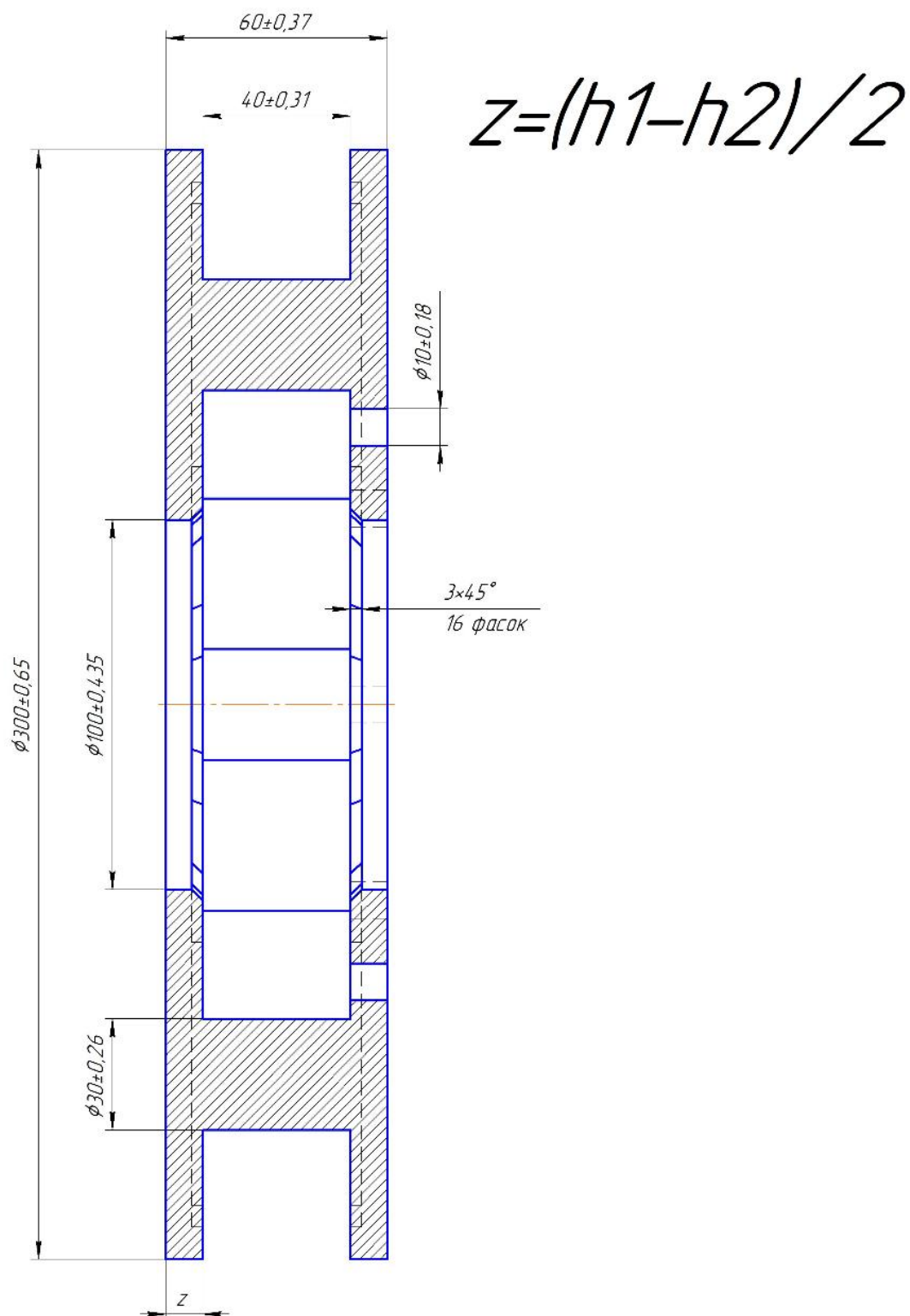


Рисунок 4.17 – Розміри і зазначені вирази

В результаті можна отримати наступне зображення (рис. 4.18).

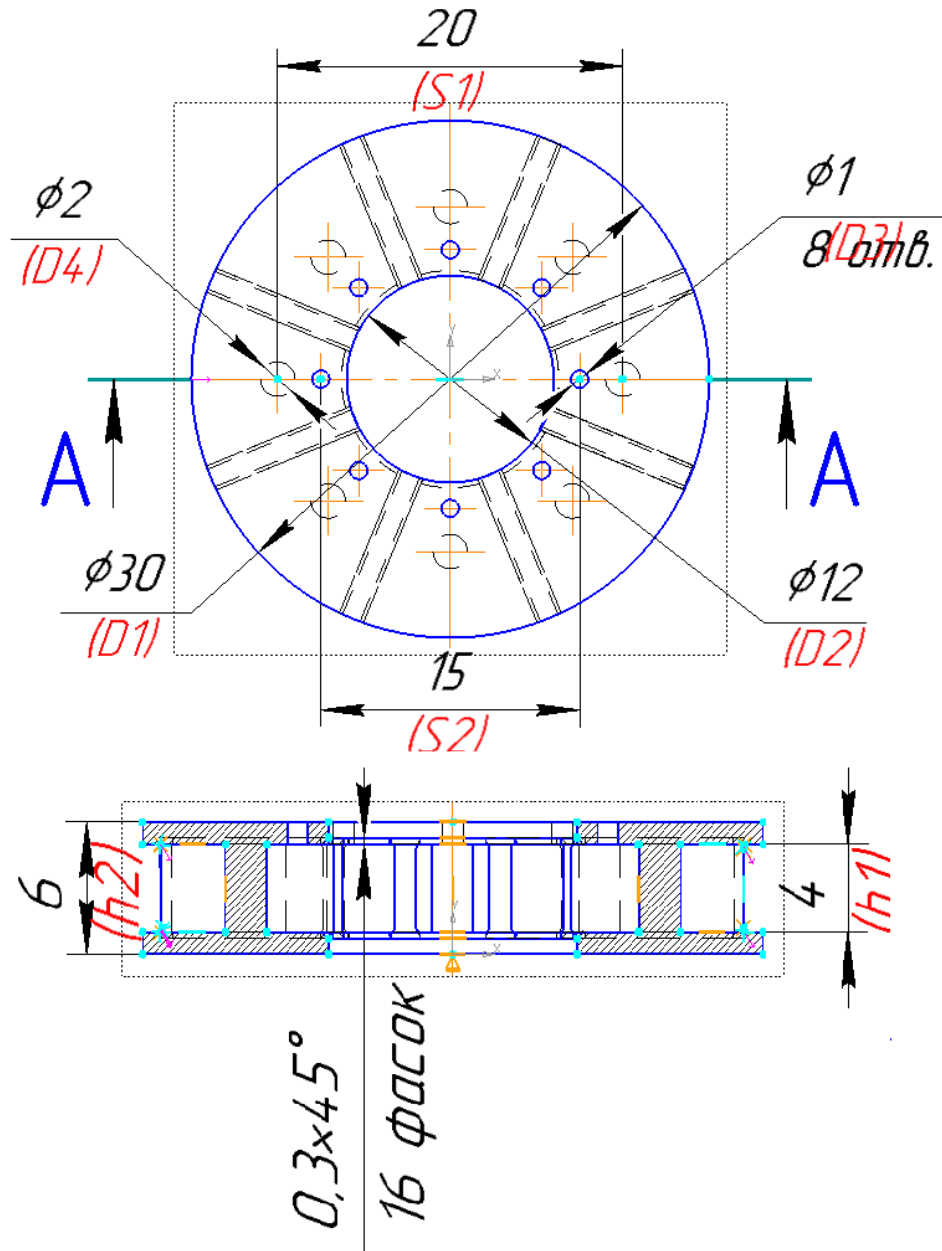


Рисунок 4.19 – Параметричне креслення, виконане відповідно до завдання

В результаті виконаних дій отримуємо параметричний комплекс, який складається з параметричного креслення, моделі та таблиці зовнішніх змінних. Цей комплекс дозволяє змінювати креслення та модель за результатами розрахунків. Дані зберігаються у форматі Excel, розраховуються у сторонніх програмах та змінюють існуючу модель та креслення дробометного колеса.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОСТРУКТУРИ ПОВЕРХОНЬ НА УДАРНУ ПОВЕДІНКУ ДРІБНИХ ЧАСТИНОК У ПОВІТРІ ТА ВОДІ

Мета експериментальних досліджень – показати вплив мікроструктурованих поверхонь і навколишніх середовищ на ударну поведінку частинок. Для цього проводяться ударні випробування частинками оксиду цирконію різного діаметру на чотирьох по – різному текстурованих поверхнях титану у воді і повітрі і вивчаються параметри удару.

5.1. Матеріали, які використовуються для експериментів

Для випробувань використовуються частинки оксиду цирконію, стабілізовані ітрієм. Для виявлення впливів мікроструктур, адгезійних сил, енергій зіткнень і навколишньої рідини використовуються три різні фракції частинок. Фракції діляться на фракцію 1 (200 – 250 мкм), фракцію 2 (800 – 1000 мкм) і фракцію 3 (1800 – 2200 мкм).

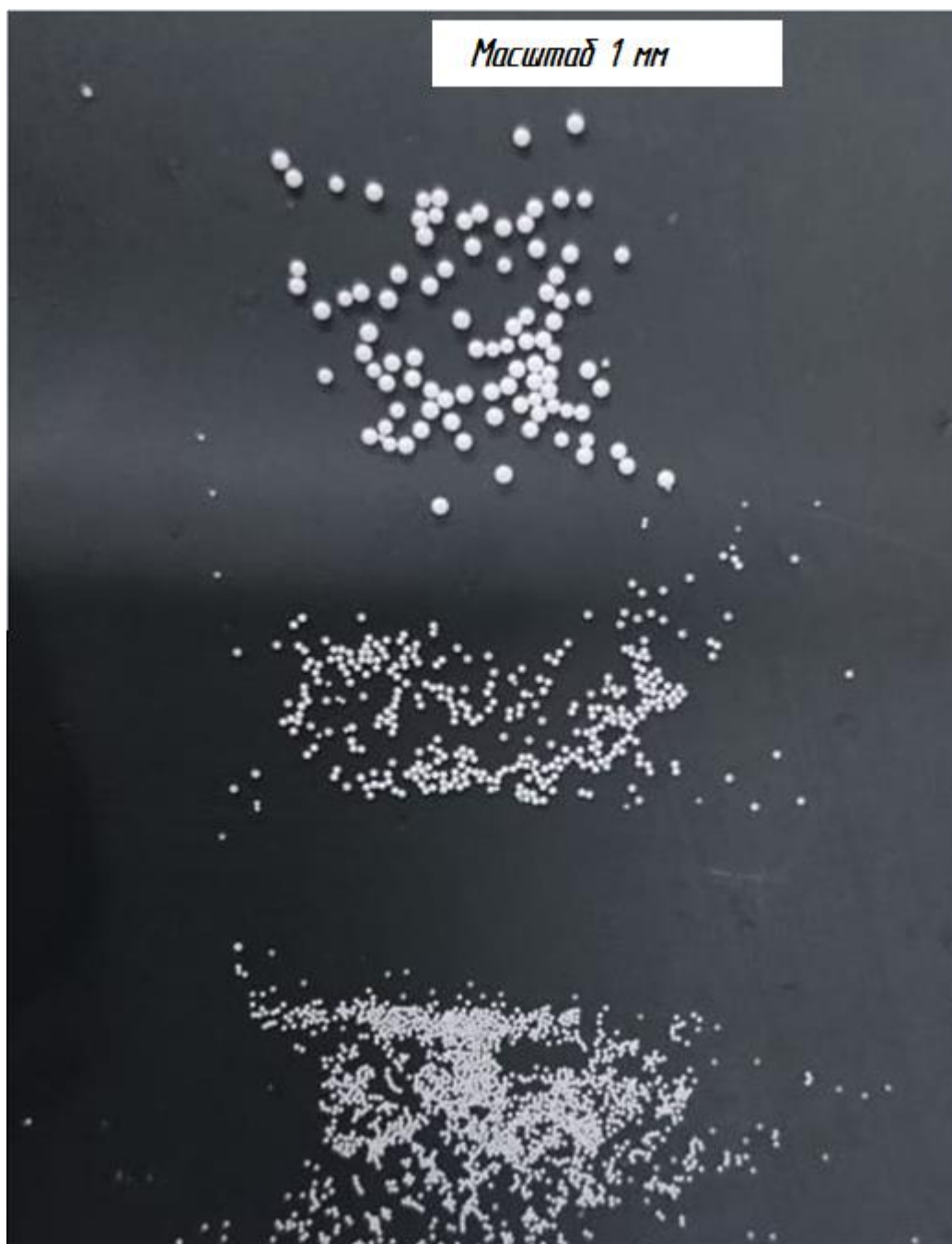
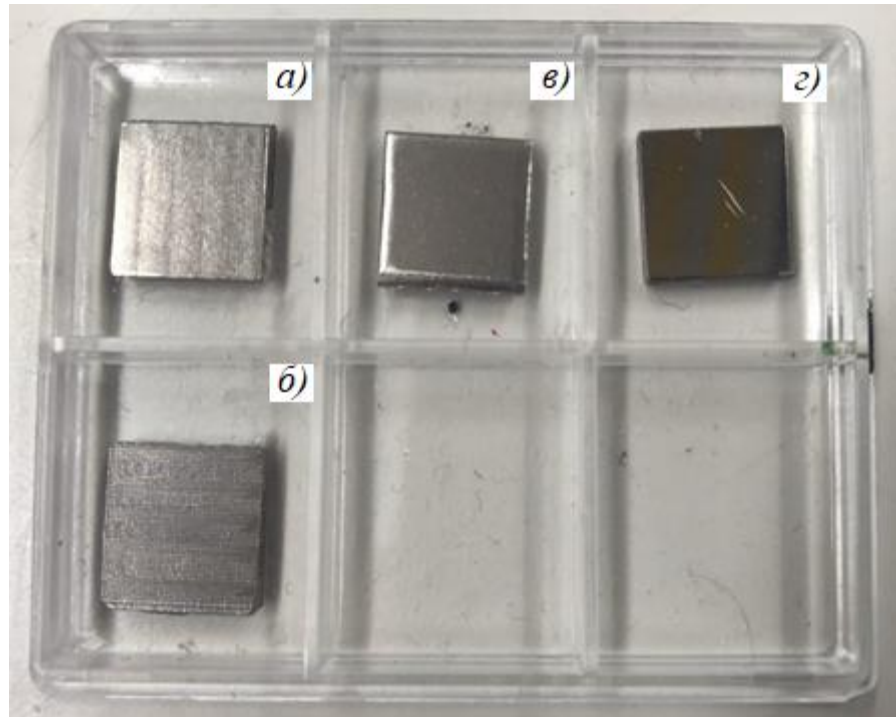


Рисунок 5.1 – Частинки циркону: зверху фракція 3, по центру: фракція 2, знизу фракція 1

На рис. 5.2 і рис. 5.3 показані титанові поверхні, що використовуються в цій роботі. Дослідження проводилися з використанням одного полірованого, одного неpolірованого і двох мікроструктурованих (структура каналу і

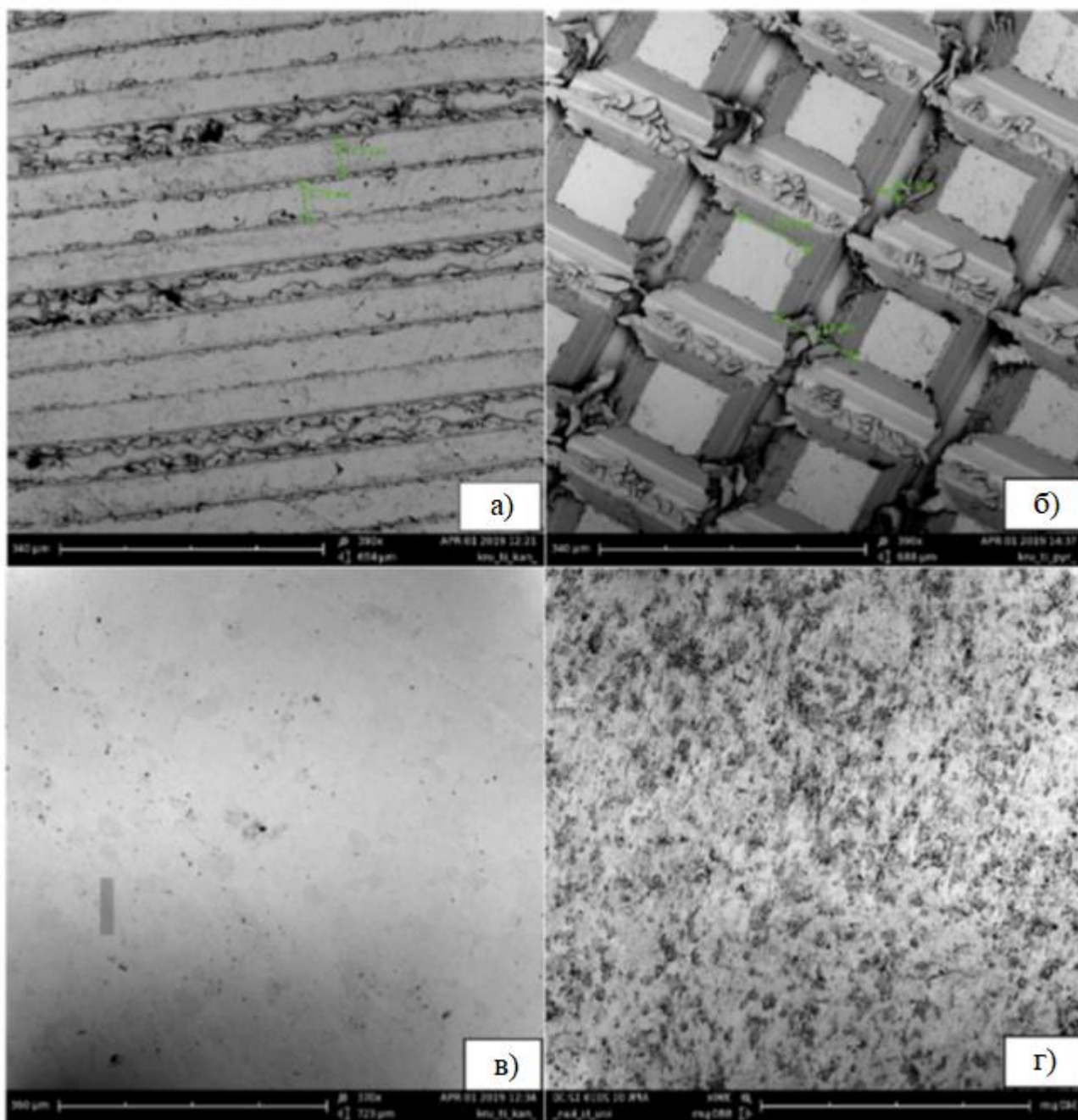
пірамідальна) поверхонь. Мікроструктури були виготовлені за допомогою мікро – фрезерування.



а) структура каналу; б) структура піраміди; в) неpolірована; г) polірована

Рисунок 5.2 – Титанові поверхні з різними мікроструктурами

Були зроблені REM-знімки поверхонь (знімки під мікроскопом), щоб точно показати структуру поверхні. Структура каналу має траншеї (51,9 мкм) і причали (47,2 мкм), які можуть впливати на випробування удару. Аналогічно зі структурою піраміди – є необроблені поверхні у верхній частині піраміди (104 мкм), траншеї (118 мкм), а також проміжки між цими структурами (28,1 мкм). Щоб порівняти вплив, також проводилися випробування з polірованою і, отже, самою гладкою поверхнею і з необробленою поверхнею.



а) структура каналу; б) структура піраміди; в) полірована; г) неpolірована

Рисунок 5.3 – REM – знімки мікроструктури

5.2. Схема установки для проведення ударних випробувань

Для запису ударних випробувань використовувався експериментальний стенд з двома високошвидкісними камерами (Os7 – S3, IDT Vision [17]), з відповідними світлодіодними джерелами світла Constellation 120 E (Veritas [18]). Схематичне побудова показано на рисунку 5.4. Камери та джерела світла були вирівняні один з одним під кутом 90° , тому запис руху частинок був реалізований у всіх трьох напрямках простору.

Частинки утримувалися вакуумним пінцетом, прикріпленим до рухомого штатива. За допомогою дозуючих голок різного внутрішнього діаметра окремі фракції частинок могли бути зафіксовані на вакуумному пінцеті. Завдяки штативу висота падіння і, отже, швидкість удару змінювалися, і частинки розташовувалися точно над досліджуваною поверхнею. Конструкція була оточена чорною тканиною, щоб уникнути відображень і, таким чином, поліпшити якість запису.

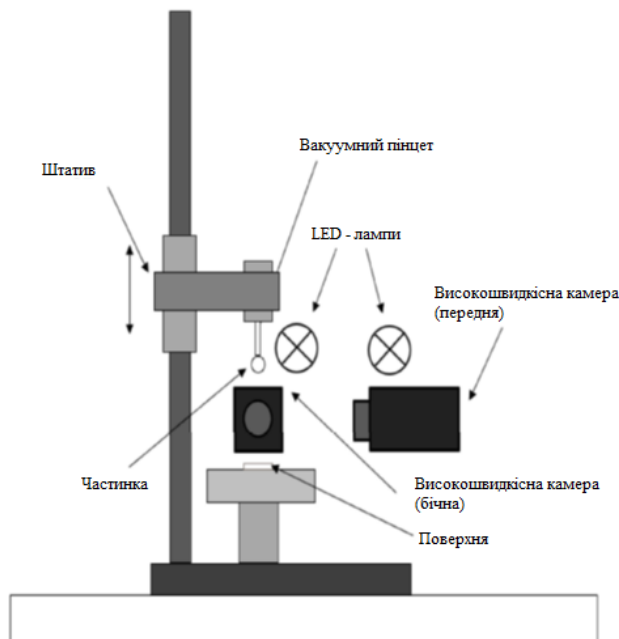


Рисунок 5.4 – Схематичне зображення установки для ударних випробувань

Для проведення ударних випробувань у воді була модернізована конструкція з рисунку 5.4 з додатковою рідинною камерою. Камера була сконструйована таким чином, щоб можна було проводити випробування з різними поверхнями в різних рідинах. Різні поверхні були поміщені на п'єдестал, щоб вони лежали прямо і фіксовано, щоб створити максимально рівні умови для ударних випробувань і провести відтворювані експериментальні серії. На рис. 5.5 показана експериментальна конструкція.

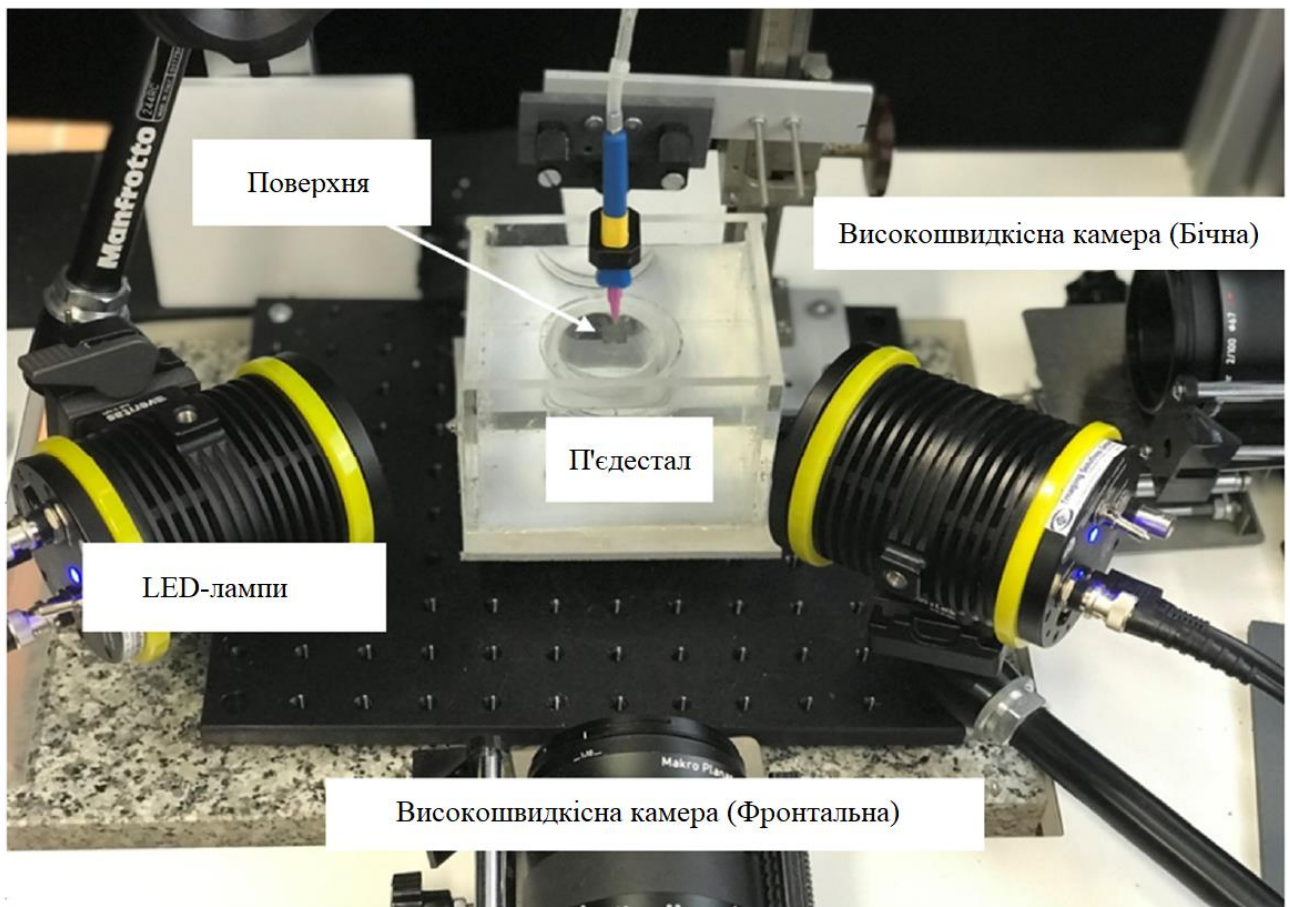


Рисунок 5.5 – Експериментальна конструкція для зйомки руху частинок в рідині

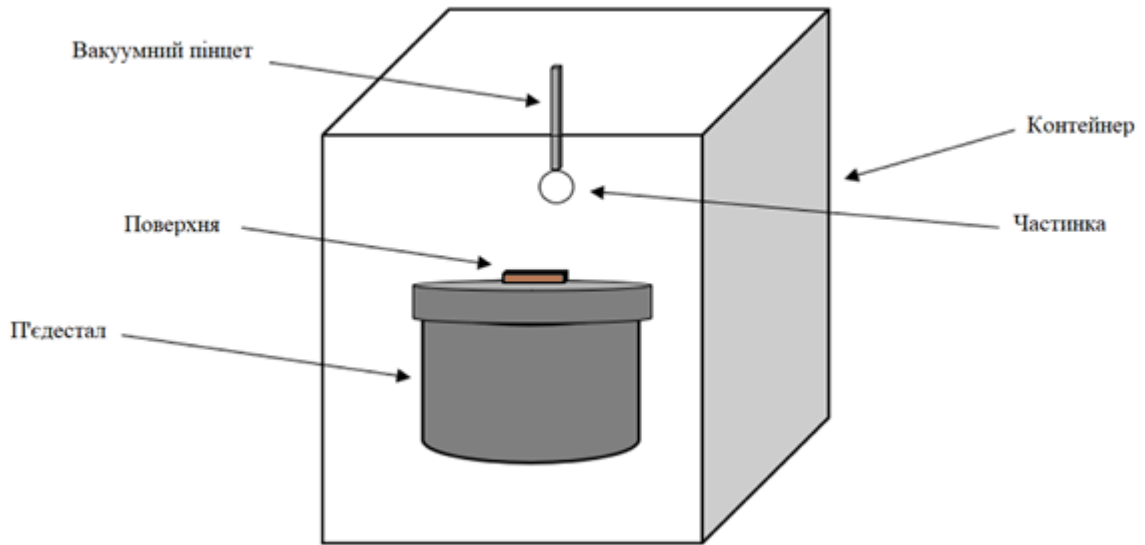


Рисунок 5.6 – Конструкція для зйомки руху частинок в рідині

5.3. Експериментальні дослідження співударної поведінки частинок

Після планування і налаштування відповідно до п. 5.2 спочатку проводилися спроби на повітрі і потім у воді. Для цього частинки фіксувалися вакуумним пінцетом над відповідною текстурованою поверхнею. При негативному тиску частка утримувалася на пінцеті, і, відключивши насос, вона падала. Оскільки камери були синхронізовані, вони спрацьовували, як тільки передня камера реєструвала виявлення руху. У повітрі і у воді було проведено по тридцять експериментальних спроб. Для цього за допомогою трьох фракцій частинок з рисунка 5.1 були проведені випробування удару по чотирьох поверхнях, рисунок 5.2.

Щоб уникнути відображень, поверхні з боків заклеювали чорною ізоляційною стрічкою. Висота падіння становила в повітрі і у воді 5 та 10 мм.

Частинки були зафіксовані на вакуумний пінцет за допомогою зігнутої лопатки. Режим запису був запущений в програму Motion Studio (IDT).

Щоб частинка у воді впала з вакуумного пінцета, вона повинна була бути поглинена вакуумним пінцетом. Крім того, це служило для запобігання бульбашок повітря на пінцеті або частинці, які можуть змінити удар і ускладнити оцінку. Після вимкнення вакуумного насоса і відшарування частинок від вакуумного пінцета, 100 зображень були збережені до і після удару частинок.

Оцінка зображень проводилася для всіх ударних знімків за допомогою власного сценарію MATLAB. Для цього скрипту потрібно рівну кількість зображень на камеру і додаткове масштабне зображення для визначення розміру частинок. Для цього використовувався окулярний мікрометр і за допомогою передньої і бічної камер знімався знімок перед білим фоновим зображенням. Масштаб повинен був бути різким, і налаштування камери не повинні були бути змінені, інакше точне визначення розміру пікселя було б неможливо. На рис. 5.7 зразково показані ударні знімки у воді і повітрі. Поштовх проходив від верхнього до нижнього зображення з приблизним часом пікірування 16 – 20 секунд.

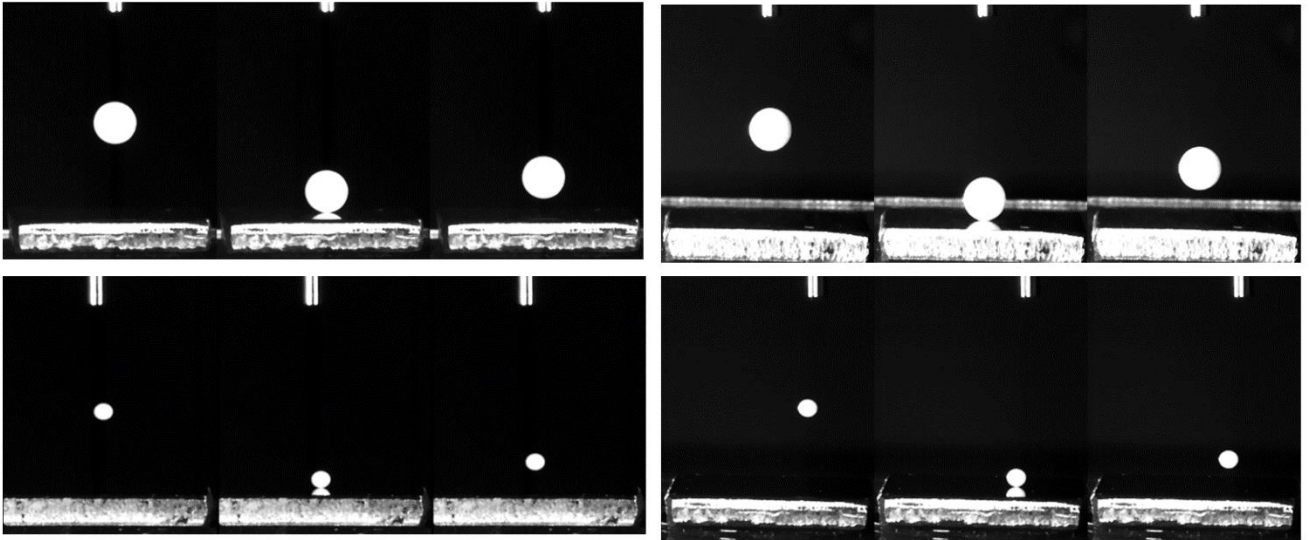


Рисунок 5.7 – Зіткнення частинок у повітрі при розмірі 1800 – 2200 мкм (зверху) та 800 – 1000 мкм (знизу) на поліровану поверхню

Таким чином, за допомогою вказаної установки встановлено, що на коефіцієнт реституції впливають структура поверхонь та різне середовища. Результати яких наведені далі.

6. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДРОБОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ

6.1. Результати моделювання зіткнення частинок в EDEM

Отримані результати моделювання зіткнення частинок з поверхнями наведено у вигляді таблиць 6.1.

Для порівняння беремо деякі результати з експериментальних досліджень.

Таблиця 6.1 – Коефіцієнт реституції (відновлення) для поверхонь

Розмір частинки, мм	0,3	0,45
Гладка поверхня		
Симуляція	0,91	0,87
Експеримент	0,87	0,83
Поверхня каналу		
Симуляція	0,87	0,89
Експеримент	0,61	0,58
Поверхня піраміди		
Симуляція	0,88	0,94
Експеримент	0,66	0,57

З результатів, наведених в таблиці, видно, що тільки гладка поверхня має найбільш наближений коефіцієнт реституції до експериментального. Для інших поверхонь результати мають більш високу різницю. Це пов'язано з тим, що нехтують рідинними силами, які діють на частку. Найбільший результат коефіцієнту реституції має поверхня піраміди, яка взаємодіє з частинкою 0,45 мм.

6.2. Результати експериментальних досліджень

Результати експериментів на повітрі наведені в таблицях 6.2. Початкова висота для всіх експериментів становить 0,5 мм.

Таблиця 6.2 – Коефіцієнт реституції для частинок

Типи поверхонь	Середнє значення
1800–2200 мкм	
Полірована	0,89
Неполірована	0,82
Канал	0,34
Піраміда	0,79
800–1000 мкм	
Полірована	0,92
Неполірована	0,86
Канал	0,43
Піраміда	0,68
200–250 мкм	
Полірована	0,90
Неполірована	0,86
Канал	0,61
Піраміда	0,57

Результати експериментів у воді наведені в табл. 6.3. Початкова висота для всіх експериментів становить 10 мм.

Таблиця 6.3 – Коефіцієнт реституції для частинок

Типи поверхонь	Середнє значення
1800–2200 мкм	
Полірована	0,80
Неполірована	0,73
Канал	0,40
Піраміда	0,51
800–1000 мкм	
Полірована	0,69
Неполірована	0,64

Продовження табл 6.3

Канал	0,16
Піраміда	0,40
200–250 мкм	
Полірована	0,03
Неполірована	0,09
Канал	0,13
Піраміда	0,23

На базі отриманих результатів необхідно визначити вплив структурованих поверхонь у повітрі та у воді.

6.3. Визначення та порівняння структурних впливів у повітрі та у воді

Аналізуючи частинки фракції 3 вплив поверхні на удар майже відсутній, крім мікроструктури каналу. Результати знаходяться в діапазоні від 0,79 до 0,89. Це свідчить про те, що при зіткненні енергія поглинається при зіткненні та розсіюється у навколишнє середовище. Те ж саме можна сказати і про дві інші фракції частинок, причому слід зазначити, що тут поглинання більше. Середні частинки знаходяться в діапазоні від 0,68 до 0,92, найменші – від 0,57 до 0,90. Однак при висоті падіння 10 мм можна спостерігати результати повністю протилежні, ніж при висоті падіння 5мм. Де коефіцієнт відновлення для поверхонь зі структурою піраміди та каналу більший, ніж з полірованою та неполірованою поверхнями.

Розсіювання можна віднести до того, що більш дрібні частинки більшою мірою схильні до впливу тертя і адгезійних сил, і тиск повітря був необхідним для від'єднання їх від вакуумного пінцета. Для фракції 1 цим можна знехтувати, так як найбільші частинки мають більш високу кінетичну енергію, тому частка сили зчеплення незначно мала. Однак для фракцій 2 і 3 він повинен бути врахований і впливає на рівень ударного числа.

Таким чином в середовищі повітря, розсіювання енергії окремих розмірів частинок невелике, проте опір і інерція маси відіграють важливу роль. Частинки з фракції 3 були менш загальмовані навколишньою водою, так як інерція маси переважувала в'язкі сили рідини. Таким чином, досягається більш високі значення чисел від 0,73 – 0,8. Частинки з фракції 1, були прив'язані, навпаки, сильніше і досягали удару в діапазоні 0,01 – 0,22. Така різниця в швидкості в цьому випадку може бути пов'язана з тим, що частка була прискорена тиском повітря, так як в іншому випадку вона не відокремилася б від вакуумного пінцета.

Завдяки тому, що через шорсткості поверхні при ударі зберігається менше енергії руху, кількість ударів для найбільших частинок менше. Вони знаходяться в діапазоні 0,56 – 0,79. З огляду на менші розміри частинок спочатку їх значення вище, хоча вони повинні бути менше внаслідок структурних впливів.

Фракції частинок 1 мають найбільші кути відскоку. Це пов'язано з тим, що на них найбільше впливають розміри поверхні (гладка поверхня піраміди діаметром 104 мкм і прилегла траншея діаметром 118 мкм). Чим менше частка, тим вище ймовірність того, що вона потрапить на ребро між поверхнею піраміди і ровом. Кути відскоку в повітрі менше, ніж у воді, але знаходяться в тій же області для більших фракцій частинок.

Як і слід було очікувати, частинки у воді гальмуються сильніше через більш високу в'язкість і пов'язаного з нею більшого опору. Таким чином, вони досягають більш низьких показників ударів на всіх поверхнях. Аналіз показує, що на менші фракції частинок більше впливає сила опору через меншу масу і, отже, меншу сили ваги. Високе стандартне відхилення параметрів неполірованої поверхні виникає через точність вимірювання, так як в'язкість змінена коливаннями температури і від'єднанням частинок від вакуумного

наконечника тиском повітря. Дивлячись на поверхні з канальною і пірамідальною структурою, високе стандартне відхилення має місце так як структура впливає на кут відскоку. В результаті частинки відскакують від поверхні по – різному, в залежності від того, з чим вони стикаються, і виходить велике розсіювання. У повітрі таке порівняно менше, ніж у воді, адже у воді відскік кута найдрібніших частинок фракції впливає сильніше.

Вплив на малі фракції підтверджується, тому що через інерцію маси великих частинок навколишня рідина впливає слабкіше і досягається майже така ж велика кількість ударів, як у повітрі.

6.4. Розробка інформаційної системи досліджень роботи дробоструминної установки

База даних повинна:

- 1) задовольняти актуальним інформаційним потребам користувачів, забезпечувати можливість зберігання та модифікації великих обсягів багатоаспектної інформації;
- 2) забезпечувати заданий рівень достовірності збереженої інформації та її несуперечливості;
- 3) забезпечувати доступ до даних тільки Користувачів з відповідними повноваженнями;
- 4) забезпечити можливість пошуку інформації за довільною групою ознак;
- 5) задовольняти заданим вимогам продуктивності при обробці запитів;
- 6) мати можливість реорганізації та розширення при зміні меж предметної області;
- 7) забезпечувати видачу інформації користувачам в різній формі;
- 8) забезпечувати простоту і зручність звернення зовнішніх користувачів за інформацією;

Під даталогічної розуміється модель, що відображає логічні взаємозв'язки між елементами даних безвідносно їх змісту і фізичної організації. При цьому даталогічна модель розробляється з урахуванням конкретної реалізації СУБД, також з урахуванням специфіки конкретної предметної області на основі її інфологічної моделі.

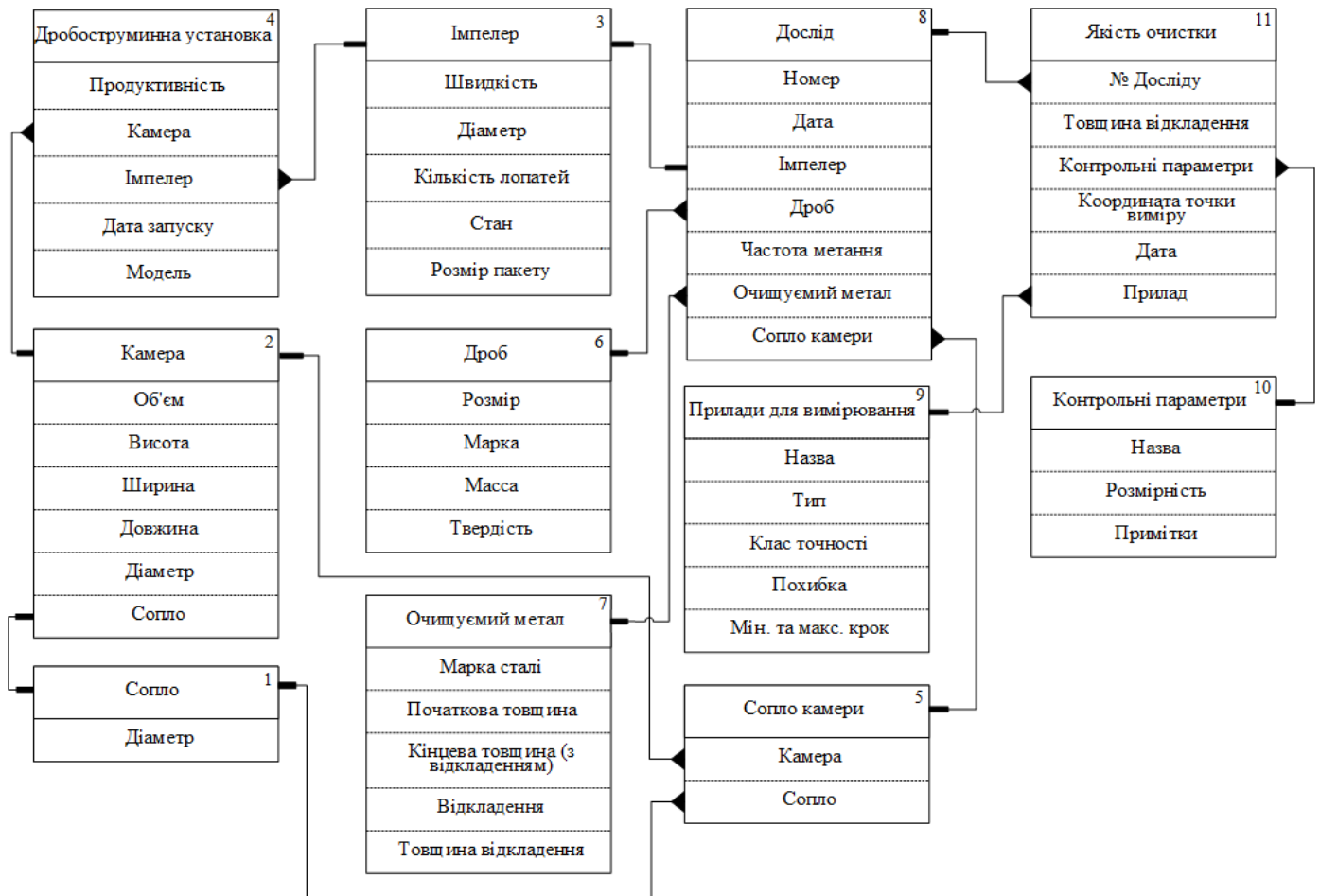


Рисунок 6.2 – Даталогічна схема дробоструму

Модель даних – фіксована система понять і правил для представлення структури даних, стану і динаміки проблемної області в базах даних. Як правило, задається мовою визначення даних і мовою маніпулювання даними.

Прикладами моделі даних, що отримали широке поширення, є моделі даних Мережева, ієрархічна, реляційна та ін.

Модель даних складається з трьох компонент.

1. Структура даних для представлення точки зору користувача на базу даних.

2. Допустимі операції, що виконуються на структурі даних. Вони складають основу мови даних розглянутої моделі даних. Однією лише хорошою структури даних недостатньо. Необхідно мати можливість працювати з цією структурою за допомогою різних операцій мови визначення даних і мови маніпулювання даними. Багата структура даних нічого не варта, якщо немає можливості оперувати її вмістом.

3. Обмеження для контролю цілісності. Модель даних повинна бути забезпечена засобами, що дозволяють зберігати її цілісність і захищати її.

Схема – це засіб, за допомогою якого визначається модель даних програми. Насправді схема містить не тільки модель даних: в ній присутня також деяка семантична інформація, що відноситься до конкретного додатка. У моделі даних можна визначити, наприклад, що база даних буде зберігати інформацію про організації і службовців. Однак, той факт, що даний службовець не може працювати більш ніж в одній організації, відображає семантику додатка. Це семантичне обмеження повинно виконуватися для кожного окремого примірника запису бази даних про це службовця. Підтримка обмежень заданої моделі даних в базі даних також є частиною функцій СУБД щодо забезпечення захисту і цілісності.

На сьогоднішній день відомо більше двох десятків форматів даних настільних СУБД, найбільш популярними слід визнати dBase, Paradox, FoxPro і Access [21].

В даній індивідуальній роботі, був використаний Microsoft Access, він орієнтований в першу чергу на користувачів Microsoft Office, в тому числі і не знайомих з програмуванням. Це, зокрема, проявилось в тому, що вся інформація, що відноситься до конкретної бази даних, а саме таблиці, індекси (природно, підтримувані), правила посилальної цілісності, бізнес – правила, список користувачів, а також форми і звіти зберігаються в одному файлі, що в цілому зручно для початківців користувачів.

Остання версія цієї СУБД Access входить до складу Microsoft Office Professional, а також доступна як самостійний продукт.

До складу Access входять:

- засоби маніпуляції даними Access і даними, доступними через ODBC (останні можуть бути "приєднані» до бази даних Access);
- засоби створення форм, звітів і додатків; при цьому звіти можуть бути експортовані в формат Microsoft Word або Microsoft Excel, а для створення додатків використовується Visual Basic for Applications, загальний для всіх складових частин Microsoft Office;
- засоби доступу до даних серверних СУБД через OLE DB;
- засоби створення клієнтських додатків для Microsoft SQL Server;
- засоби адміністрування Microsoft SQL Server.

Access це, перш за все, система управління базами даних (СУБД). Як і інші продукти цієї категорії, вона призначена для зберігання і пошуку даних, подання інформації в зручному вигляді і автоматизації часто повторюваних операцій (таких, як ведення рахунків, облік, планування і т.п.). За допомогою Access можна розробляти прості і зручні форми введення даних, а також здійснювати обробку даних і видачу складних звітів [21].

Access потужна програма Windows. Вперше продуктивність СУБД органічно поєднується з тими зручностями, які є в розпорядженні користувачів

Microsoft Windows. За допомогою ОБ'ЄКТІВ OLE і компонентів Microsoft Office (Excel, Word, PowerPoint і Outlook) можна перетворити Access в справжнє операційне середовище баз даних. За допомогою нових розширень для Internet можна створювати форми, які будуть безпосередньо взаємодіяти даними з World Wide Web, і транслювати їх в подання на мові HTML, що забезпечує роботу з такими продуктами, як Internet Explorer і Netscape Navigator. При всьому цьому Access не просто СУБД. Як реляційна СУБД Access забезпечує доступ до всіх типів даних і дозволяє використовувати одночасно кілька таблиць бази даних. При цьому можна істотно спростити структуру даних, полегшуючи тим самим виконання поставлених завдань. Таблицю Access можна пов'язати з даними, що зберігаються на великій ЕОМ або на сервері. З іншого боку, можна використовувати таблиці, створені в середовищі Paradox або dBASE. Отримані результати можна швидко і легко пов'язати і об'єднати з даними з електронних таблиць Excel. Працюючи в середовищі Microsoft Office, користувач отримує в своє розпорядження повністю сумісні між собою Access і Word, Excel і PowerPoint.

Система Access це набір інструментів кінцевого користувача для управління базами даних. До її складу входять конструктори таблиць, форм, запитів і звітів. Цю систему можна розглядати і як середовище розробки додатків. Використовуючи макроси або модулі для автоматизації вирішення завдань, можна створювати орієнтовані на Користувача програми такими ж потужними, як і додатки, написані безпосередньо на мовах програмування. При цьому вони будуть включати кнопки, меню і діалогові вікна [21].

В Access повною мірою реалізовано управління реляційними базами даних. Система підтримує первинні і зовнішні ключі і забезпечує цілісність даних на рівні ядра (що запобігає несумісності операції оновлення або видалення даних). Крім того, таблиці в Access забезпечені засобами перевірки

допустимості даних, що запобігають некоректне введення незалежно від того, як він здійснюється, а кожне поле таблиці має свій формат і стандартні описи, що істотно полегшує введення даних. Access підтримує всі необхідні типи полів, в тому числі текстовий, числовий, лічильник, грошовий, дата/час, МЕМО, логічний, гіперпосилання і поля об'єктів OLE. Якщо в процесі спеціальної обробки в полях не виявляється ніяких значень, система забезпечує повну підтримку порожніх значень.

Access спеціально спроектований для створення багатокористувацьких додатків, де файли бази даних є спільними ресурсами в мережі.

Система Access підтримує обробку транзакцій з гарантією їх цілісності. Крім того, передбачений захист на рівні користувача, що дозволяє контролювати доступ до даних окремих користувачів і цілих груп.

Одна з найпотужніших можливостей Access одночасно є і найбільш важливою. Відносини дозволяють зв'язати таблиці графічно. Можна навіть пов'язувати таблиці, що представляють файли різних типів (наприклад, таблицю Access і таблицю dBASE). Після подібного зв'язування таблиці виступають вже як одне ціле, і тепер можна будувати запити стосовно до будь – яких даних в них. Можна вибирати конкретні поля, визначати порядок сортування, створювати обчислювані вирази і вводити критерії відбору потрібних записів. Можна відображати результати виконання запиту у вигляді таблиці, форми або звіту. Від користувача не потрібно попередньої установки зв'язків: замість цього достатньо увійти в конструктор запитів (наприклад, коли потрібно побудувати певний звіт) [21].

Грунтуючись на викладених вище даних в якості СУБД розроблюваної системи був обраний Microsoft Access [21].

База даних (БД) – іменована сукупність даних, що відображають стан об'єктів і їх відносин в розглянутій предметній області. Організовується так, що

дані збираються один раз і централізовано зберігаються (і модифікуються) у вигляді, доступному всім фахівцям або системам програмування, які можуть їх використовувати.

Особливості організації даних в БД в порівнянні з файловими системами забезпечують використання одних і тих же даних в різних додатках, дозволяють вирішувати різні завдання планування, дослідження та управління. БД зводять до мінімуму дублювання даних, вдаючись до дублювання тільки для прискорення доступу до даних або для забезпечення відновлення БД при її руйнуванні. Одна з важливих рис БД – незалежність даних від особливостей прикладних програм, які їх використовують, а також можливість створення цих програм в такій формі, що зміна особливостей зберігання, логічної структури або значень даних не вимагає зміни програм їх обробки. Іншою важливою рисою БД є можливість зміни фізичних особливостей зберігання даних без зміни їх логічної структури [21].

Створена база даних має вигляд, як на рисунку 6.3.

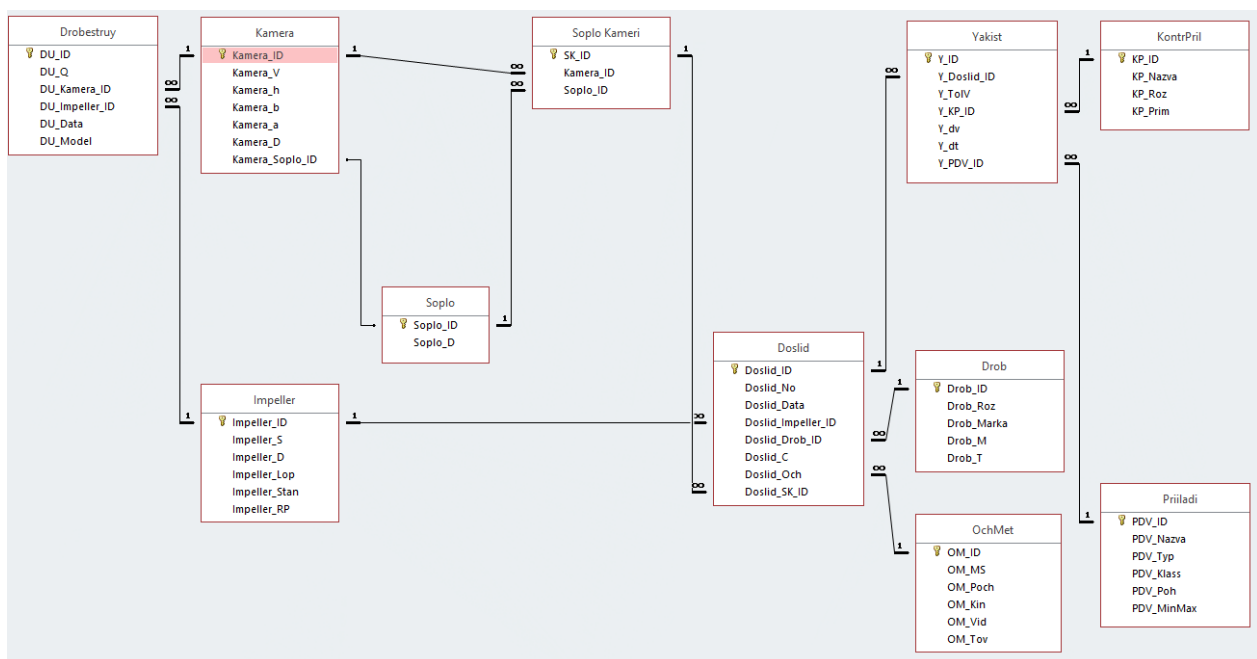


Рисунок 6.3 – Створена база даних у СУБД Access

Створення цієї бази даних починається з сопла камери (рис. 6.4).

	Soplo_ID ▾	Діаметр, мм ▾
+	2	5
+	3	7
+	4	10
+	5	13
+	6	15
+	7	17
+	8	20

Рисунок 6.4 – Схема меню сопла

Камера установки (рис. 6.5) включає в себе сопло, тому наступним кроком – є створення бази для неї. У даному випадку, модель цієї БД включає об'єм камери, її довжина, ширина та висота.

	Kamera_ID ▾	Об'єм камери, м3 ▾	Висота камери, мм ▾	Ширина камери, мм ▾	Довжина камери, мм ▾	Діаметр камери, мм ▾	Сопло Камери ▾
+	2	3200	1200	1000	3700	1000	5
+	3	3000	1000	1200	3500	800	7
+	4	3200	1200	1000	3700	1200	10
+	5	3100	1100	1000	3300	1100	13
+	6	3000	1200	1000	3500	1000	15
+	7	3300	1300	1100	3200	900	17
+	8	3500	1500	1200	4000	1500	20
+	9	3000	1000	1200	3500	800	7
+	10	3200	1200	1000	3700	1000	13
+	11	3000	1200	1000	3500	1000	17
+	12	3300	1300	1100	3200	900	5
+	13	3100	1100	1000	3300	1100	10
+	14	3200	1200	1000	3700	1000	15
+	15	3000	1000	1200	3500	1700	20
+	16	3500	1500	1200	4000	1500	5
+	17	3100	1100	1200	3500	1700	7
+	18	3300	1300	1100	3200	1300	10
+	19	3200	1200	1000	3700	1000	13
+	20	3300	1300	1100	3200	900	15
+	21	3500	1500	1200	4000	1500	17

Рисунок 6.5 – Схема камери

Наступним іде імпелер (рис. 6.6). Схема даної моделі включає в себе основні його параметри, такі як швидкість, кількість лопатей, розмір викидаємого пакету дробу та ін.

Impeller_ID	Швидкість, м/с	Діаметр, м	Кількість лопатей, шт	Стан	Розмір пакету, м
2	32	5	6	Задовільно	5
3	30	1	6	Добре	2
4	45	3	7	Добре	3
5	28	1	4	Не працює	2
6	30	2	4	Не працює	2
7	35	3	5	Погано	4
8	30	3	4	Погано	3
9	43	2	5	Задовільно	5
10	40	3	6	Добре	3
11	30	1	4	Задовільно	2
12	30	2	4	Не працює	2
13	45	1	7	Погано	2
14	25	2	5	Не працює	3
15	30	1	4	Задовільно	2
16	40	1	7	Задовільно	4
17	47	3	6	Добре	3
18	45	3	6	Не працює	2
19	25	2	4	Не працює	3
20	35	3	5	Погано	4
21	50	3	6	Добре	5

Рисунок 6.6 – Модель даних для імпелера

Далі розглядаємо структурну схему самої дробоструминної установки, де потрібно вказати її модель, продуктивність та обрати камеру з імпелером (рис. 6.7).

DU_ID	Продуктивність, кг/хв	Камера	Імпелер	Дата запуску	Модель
1	200	3000	30	29.02.2020	ДСУ-200
2	200	3100	43	02.05.2020	ДСУ-200
3	200	3300	30	28.04.2020	ДСУ-200
4	400	3500	50	29.02.2020	ДСУ-400
5	400	3200	45	12.03.2020	ДСУ-400
6	400	3200	35	22.03.2020	ДСУ-400
7	125	3000	25	06.11.2019	Юпитер-42125
8	125	3000	25	14.12.2019	Юпитер-42125
9	125	3100	30	12.06.2019	Юпитер-42125
10	250	3300	40	10.01.2020	Юпитер-4Б114
11	250	3200	30	31.01.2020	Юпитер-4Б114
12	250	3100	32	09.02.2020	Юпитер-4Б114
13	250	3000	30	01.03.2020	Сатурн-250
14	250	3500	47	13.03.2020	Сатурн-250
15	250	3200	32	18.03.2020	Сатурн-250
16	140	3000	25	09.01.2018	2М393
17	800	3500	50	01.05.2020	42117
18	800	3000	30	10.05.2020	42117
19	800	3200	45	22.05.2020	42117
20	400	3000	30	25.05.2020	42126

Рисунок 6.7 – Схема дробоструминної установки

Описуємо сопло камери (рис. 6.8).

SK_ID	Камера	Сопло
1	3200	5
2	3000	7
3	3200	10
4	3300	10
5	3200	17
6	3200	20
7	3500	20
8	3000	13
9	3100	5
10	3100	17
11	3500	7
12	3000	7
13	3200	13
14	3100	13
15	3200	10
16	3200	17
17	3200	15
18	3100	15
19	3000	10
20	3100	5
21	3500	5

Рисунок 6.8 – Структурна модель сопла камери

Наступним кроком потрібно зробити опис дробу. Тобто вказати, який розмір дробинок, маса та ін. (рис. 6.9).

Drob_ID	Розмір, мм	Марка	Маса, кг	Твердість, HR
1	8 Ст6		200	350
2	5 Ст6		200	350
3	5 Ст6		210	500
4	7 Ст6		180	500
5	5 20X		210	300
6	3 20X		250	300
7	4 20X		250	300
8	3 P6M5		200	250
9	5 P6M5		250	250
10	2 P6M5		290	250

Рисунок 6.9 – Модель показників дробинок

Після того, як вказано параметри дробинок, які повинні очищувати метал, потрібно вказати який саме матеріал потребує очистки (рис. 6.10).

OM_ID	Марка сталі	Початкова товщина, мм	Кінцева товщина (з відкладенням), мм	Відкладення, мм	Товщина відкладення, мм
1	08КП	5	5	3	3
2	Ст 2	22	24	2	2
3	ШХ15	7	8	1	1
4	15ХСНД	2	3	1	1
5	Ст 4	5	7	2	2
6	40Х	4	6	2	2
7	40Х	4	5	1	1
8	30ХГСА	20	21	1	1
9	10ХСНД	43	45	2	2
10	У8А	10	11	1	1

15ХСНД
40Х
18ХГТ
30ХГСА
08Х18Н10
08Х18Н10Т
50ХФА
У8А
У10А
ХГС
ХВГ
Х12ВМ
4ХС
А20
А40Г
ШХ15

деталі вагонів, будівельних паль
деталі, що працюють на середніх швидкостях
деталі, що працюють на великих швидкостях
високоміцні деталі
деталі, що працюють в агресивному середовищі
для зварних конструкцій
ресори, пружини
накатні ролики, зенковки, стамески
мітчики, надфілі, калібри гладкі
валки холодної прокатки, матриці, пуансони
вимірювальний, ріжучий інструмент
для холодних штамів
штампи гарячої висадки
складнопрофільні дрібні деталі
важкооброблювані деталі
ролики діаметром до 23мм, плунжери

Рисунок 6.10 – Структура БД для матеріалу

При роботі дробоструминної установки, можуть ставитися невеликі досліди, з метою покращення продуктивності установки та якості очистки. На цей момент впливають деякі фактори, такі як: який імпелер встановлений, скільки лопатей він має; яка дріб використовується та який матеріал. Всі ці моменти потрібно вказати у базі (рис. 6.11).

Doslid_ID	Номер	Дата	Імпелер	Дріб	Частота метання, пакет/сек	Очищуємий метал	Сопло камери
1	1	20.05.2020	32	5	5	08КП	11
2	2	25.02.2020	45	3	2	Ст 4	2
3	3	06.03.2020	35	2	3	ШХ15	3
4	4	18.03.2020	28	2	2	10ХСНД	7
5	5	03.04.2020	30	2	2	40Х	5
6	1	07.04.2020	45	7	1	15ХСНД	21
7	2	13.04.2020	47	8	3	ШХ15	17
8	3	19.04.2020	50	4	5	40Х	10
9	4	23.04.2020	30	3	2	40Х	11
10	5	07.05.2020	25	5	1	Ст 2	14

Рисунок 6.11 – Модель БД для проведених дослідів

Вказуємо прилади для вимірювання: назва, тип, клас точності та ін. (рис. 6.12).

	PDV_ID	Назва	Тип	Клас точності, %	Похибка, мм	Мін. та макс. крок
+	1	Штангенциркуль	Вимір	+0,1	0,1	0,1-200
+	2	Мікрометр	Вимір	+0,001	0,001	0,001-80
+	3	Дінамометр	Вимір	+0,1	1	0,1-100000
+	4	Товщиномір	Вимір	+2,5	0,5	0-1350
+	5	Радар швидкості	Вимір	+5,0	3-5	0,1-500

Рисунок 6.12 – Схема БД для приладів вимірювання

На якість очистки, о якій була мова раніше, впливають такі параметри як дослід, контрольні параметри та прилади для вимірювання (рис. 6.13).

До контрольних, входять певні параметри, яка зустрічаються при роботі як установки в цілому, так і окремих її елементів та процесів (рис. 6.14).

Y_ID	Дослід	Товщина відкладення, м	Контрольні параметри	Координата точки виміру	Дата	Прилади
1	1	1	Вага	центр	01.05.2020	Дінамометр
2	2	2	Висота	50x15x20	03.05.2020	Штангенциркуль
3	3	3	Шероховатість	50x5x3	05.05.2020	Мікрометр
4	4	4	Швидкість виходу дробу	1	07.05.2020	Радар швидкості
5	5	5	Висота	50x15x20	09.05.2020	Товщиномір
6	1	1	Вага	центр	12.05.2020	Дінамометр
7	2	2	Шероховатість	50x5x3	15.05.2020	Мікрометр
8	3	3	Висота	50x15x20	20.05.2020	Товщиномір
9	4	4	Швидкість входу дробу	0	23.05.2020	Радар швидкості
10	5	5	Ширина	0x15x0	25.05.2020	Штангенциркуль

Рисунок 6.13 – Параметри якості очистки

KP_ID	Назва	Розмірність
1	Швидкість входу дробу	м/с
2	Швидкість виходу дробу	м/с
3	Кількість пакетів дробу для 1 деталі	шт
4	Кількість лопаток імелера	шт
5	Продуктивність	кг/хв
6	Товщина	мм
7	Довжина	мм
8	Ширина	мм
9	Об'єм	м3
10	Висота	мм
11	Шероховатість	мкм
12	Вага	кг

Рисунок 6.14 – Модель БД для контрольних параметрів

На цьому етапі створення структури бази даних завершується. Наступним кроком потрібно створити декілька типів запитів. Після чого, робота над створенням бази даних буде закінчено.

Запити в Access є основним інструментом вибірки, оновлення та обробки даних в таблицях бази даних. Access відповідно до концепції реляційних баз даних для виконання запитів використовує мову структурованих запитів SQL (Structured Query Language). За допомогою інструкцій мови SQL реалізується будь – який запит в Access.

Основним видом запиту є запит на вибірку. Результатом виконання цього запиту є нова таблиця, яка існує до закриття запиту. Записи формуються шляхом об'єднання записів таблиць, на яких побудований запит. Спосіб об'єднання записів таблиць вказується при визначенні їх зв'язку в схемі даних або при створенні запиту. Умови відбору, сформульовані в запиті, дозволяють фільтрувати записи, що становлять результат об'єднання таблиць [21].

В Access може бути створено кілька видів запиту:

- запит на вибірку – вибирає дані з однієї таблиці або запиту або декількох взаємопов'язаних таблиць та інших запитів. Результатом є таблиця, яка існує до закриття запиту. Формування записів таблиці результату проводиться відповідно до заданих умов відбору і при використанні декількох таблиць шляхом об'єднання їх записів;

- запит на створення таблиці – вибирає дані з взаємопов'язаних таблиць та інших запитів, але, на відміну від запиту на вибірку, результат зберігає в новій постійній таблиці;

- запити на оновлення, додавання — видалення — є запитами дії, в результаті виконання яких змінюються дані в таблицях [21].

Для даної роботи створено два виду запитів.

Перший запит – це вибірка. Вона створена на основі даних таблиці для дробоструму, камери та імелера (рис. 6.15).

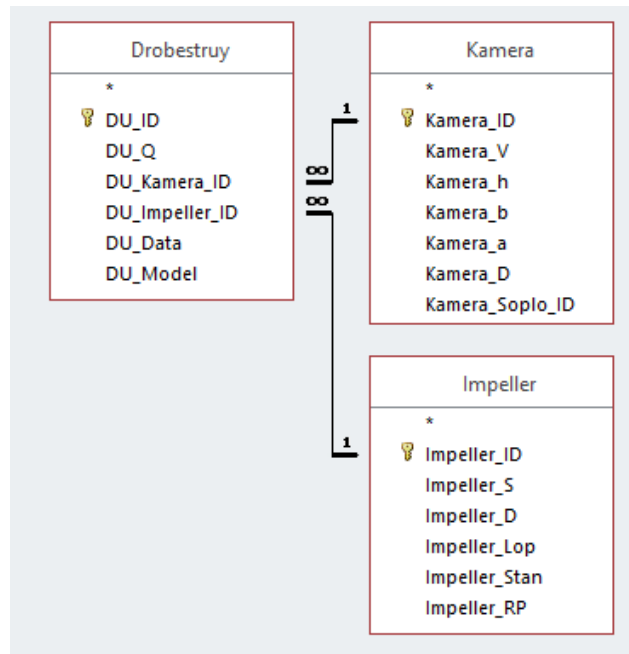


Рисунок 6.15 – Схема БД для запиту – виборки

Цей запит відображає параметри камери та імпелера, якщо продуктивність дробоструминної установки більше 200 кг/хв (рис 6.16).

Поле:	DU_Q	Kamera_V	Impeller_S
Имя таблицы:	Drobestruy	Kamera	Impeller
Сортировка:			
Вывод на экран:	☒	☒	☒
Условие отбора:	> 200		
или:			

Рисунок 6.16 – Структура запиту – виборки

Другий запит – статистична обробка параметрів камери. Він відображає мінімальне або максимальне значення об’єму камери та середні показники для значень висоти, ширини та довжини камери (рис 6.17).

Kamera * Kamera_ID Kamera_V Kamera_h Kamera_b Kamera_a Kamera_D Kamera_Soplo_ID						
Поле:	Kamera_V	Kamera_V	Kamera_h	Kamera_b	Kamera_a	Kamera_D
Имя таблицы:	Kamera	Kamera	Kamera	Kamera	Kamera	Kamera
Групповая операция:	Min	Max	Avg	Avg	Avg	Avg
Сортировка:						
Вывод на экран:	☒	☒	☒	☒	☒	☒
Условие отбора:						
или:						

Рисунок 6.17 – Структура запроса БД

Отже, після створення структури запитів можна переглянути отриманий результат.

Як було написано раніше, перший запит повинен відображати продуктивність дробоструминної установки більше 200 кг/хв. На рисунку 6.18 зображену вихідний результат, а на рисунку 6.19 – результат, який був отриманий за результатом вибірки.

Змінюючи параметри в розділі «Умова відбору» можна регулювати показ необхідних значень.

Продуктивність, кг/хв	Об'єм камери, м3	Швидкість, м/с
200	3000	30
200	3100	43
200	3300	30
400	3500	50
400	3200	45
400	3200	35
125	3000	25
125	3000	25
125	3100	30
250	3300	40
250	3200	30
250	3100	32
250	3000	30
250	3500	47
250	3200	32
140	3000	25
800	3500	50
800	3000	30
800	3200	45
400	3000	30

Рисунок 6.18 – Варіанти конструкції установки, які занесені у базу

Продуктивність, кг/хв	Об'єм камери, м3	Швидкість, м/с
400	3500	50
400	3200	45
400	3200	35
250	3300	40
250	3200	30
250	3100	32
250	3000	30
250	3500	47
250	3200	32
800	3500	50
800	3000	30
800	3200	45
400	3000	30

Рисунок 6.19 – Отримані дані за результатом вибірки

Для об'єму камери відображається мінімальне та максимальне значення, для параметрів камери, таких як висота, ширина, довжина та діаметр, були відображені середні значення.

Для повноти розуміння вибірок потрібно додати результати у вигляді SQL – таблиці для вибірки (рис. 6.21).

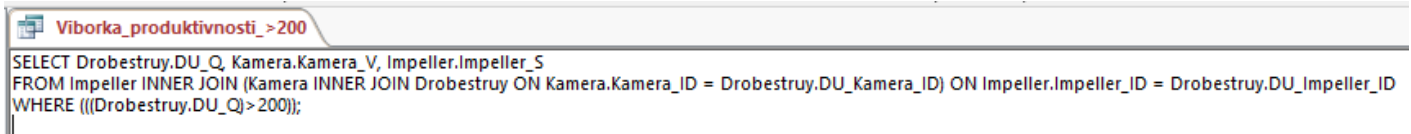


Рисунок 6.21 – SQL таблиця для вибірки

За допомогою розробленої системи можна розробити декілька конструкцій дробоструминних установок з різними параметрами. Це дозволяє визначити яка з конструкцій буде ефективніше очищати поверхню металів з певною структурою.

6.5. Рекомендації щодо підвищення ефективності роботи дробоструминної установки

За результатами роботи пропонується збільшити ефективність дробоструминної обробки нижче приведеними способами.

На основі експериментальних дослідів визначено, що поверхні лопатки потрібно робити з полірованої поверхні титану. Це дозволить покращити ковзання дробинки по лопатці, збільшити її кінетичну енергію та швидкість на виході.

За результатами проведених моделювань визначено, що збільшуючи кількість лопаток в дробоструминному колесі на одну одиницю, маємо підвищення продуктивності установки.

Для ефективної роботи дробоструминної установки потрібно обирати дріб у залежності від типу поверхні, яку потрібно очистити. Для полірованих поверхонь деталей краще використовувати дріб більшого розміру (порядку 1000-2200 мкм). Для структурованих поверхонь навпаки – від 200 до 1000 мкм. Для неpolірованих, буде достатньо дробинок стандартних розмірів – приблизно 0,8 мм.

На основі розробленої параметричної 3D моделі та бази даних можна створити декілька установок з різними конструктивними параметрами та порівнювати ефективність очистки з різними розмірами дробинок на різних поверхнях. Змінюючи конструктивні параметри установки, наприклад розмір сопла для виходу дробу, можна регулювати загальну витрату дробу під час роботи установки.

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання магістерської роботи на основі теоретичних та експериментальних досліджень були розроблені рекомендації щодо підвищення ефективності дробоструминної установки 24581М. Визначено, що на теперішній час проблема очистки поверхонь металів від іржі, окалини та інших видів забруднень є актуальною. Розглянуті існуючі види обладнання для очистки поверхонь та для подальшого дослідження обрана дробоструминна установка 24581М з апаратом дробометання 4Б114/2.

Для правильного моделювання роботи установки розглянута її конструкція, особливості та технічні характеристики.

Перед початком експериментальних досліджень розглянута теорія відскоку та зіткнення частинок, на основі якої створена модель роботи дробоструминної установки та проведено симуляції падіння дробинки на поверхні зі структурою каналу, піраміди, полірованою та неполірованою в програмному середовищі EDEM. Після чого розрахований коефіцієнт реституції (відновлення). В результаті отримано, що найвищий коефіцієнт реституції має поверхня піраміди з частинкою розміром 0,45 мм.

Були проведені експериментальні дослідження за допомогою трьох фракцій частинок різного діаметру на чотирьох поверхнях з різною мікроструктурою (полірована, неполірована, канална та пірамідна). Ці випробування проводилися як у повітрі, так і в воді.

Порівняння навколишніх середовищ показало, що в'язка сила води зменшує кількість ударів, і це особливо важливо для фракцій частинок меншого діаметру. Для фракції більших частинок переважає інерція маси.

Результати експериментів показують, що з-за в'язких сил коефіцієнт реституції (відновлення) у воді менше, ніж у повітрі. Для води він становить

близько $0,472 \pm 0,072$ при діаметрі частинок 800–1000 мкм, для повітря – $0,723 \pm 0,167$. Приблизний коефіцієнт реституції в повітрі для структури каналу становить $0,43 \pm 0,133$ і $0,68 \pm 0,138$ для пірамідальної структури для частинок діаметром 800–1000 мкм. Результати представлені для полірованої, неpolірованої, поверхні зі структурою каналу та піраміди.

Експериментальні дослідження показали, що коефіцієнт реституції для полірованої поверхні 0,92 для розміру дробинок 800–1100 мкм. Це доводить, що поверхні лопаток потрібно робити з полірованої поверхні титану. Це дозволить покращити ковзання дробинки по лопатці, збільшити її кінетичну енергію та швидкість на виході.

За результатами проведених моделювань визначено, що збільшуючи кількість лопаток в дробоструминному колесі на одну одиницю, маємо підвищення продуктивності установки.

На основі розробленої параметричної 3D моделі та бази даних можна створити декілька установок з різними конструктивними параметрами та порівнювати ефективність очистки з різними розмірами дробинок на різних поверхнях. Змінюючи конструктивні параметри установки, наприклад, розмір сопла для виходу дробу, можна регулювати загальну витрату дробу під час роботи установки.

Встановлено, що для ефективної роботи дробоструминної установки потрібно обирати дріб у залежності від типу поверхні, яку потрібно очистити.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Баландин Г.Ф. Состояние и перспективы развития автоматических формовочных линий // Литейное производство, 1970. – 93 с.
2. Зайгеров И.Б. Курсовое проектирование оборудования литейных цехов // Минск: БПИ, 1969. – 110 с.
3. Конструкція дробоструминних установок [Електронний ресурс] // Амурлітмаш. 2018. URL: <http://bizorg.su/linii-drobestruynye-r/p2005175-ustanovki-drobemetnye-dlya-ochistki-listovogo-i-profilynogo-prokata-24581m-24583m-24585-24587> (дата звернення: 12.10.2019).
4. Конструкція дробоструминних апаратів [Електронний ресурс] // Амурлітмаш. 2018. URL: <http://amurlitmash.ru/drobemetnye-ustanovki> (дата звернення: 15.10.2019).
5. Установки дробеметной очистки для обработки профильного металлопроката и решетчатых конструкций [Электронный ресурс] // Кассот. Ком. 2016. URL: <http://kassot.com/b2bito/good/17855333-ustanovki-drobemetnoy-ochistki-dlya-obrabotki-profilnogo-metalloprokata-i-reshetchatyyh-konstruktsiy> (дата обращения: 15.10.2019).
6. S. Antonyuk, S. Heinrich, J. Thomas, N. G. Deen, M.S. van Buijtenen, J. A. M. Kuipers, “Energy absorption during compression and impact of dry elastic – plastic spherical granules”, published 13 January 2010, Springer – Link [Online], Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10035-009-0161-3>
7. B.Crüger, V. Salikow, S. Heinrich, S. Antonyuk, V.S. Sutkar, N.G. Deen, J.A.M. Kuipers, “Coefficient of restitution for particles impacting on wet surfaces: An improved experimental approach”, Elsevier B.V., 2015.
8. Wolfgang Demtröder, „Experimentalphysik 1“, 7. Auflage, Springer – Verlag, 2014.

9. M. Stieß, Mechanische Verfahrenstechnik – Partikeltechnologie I, Berlin: Springer – Verlag, 2009.
10. J. Draxler, M. Siebenhofer, „Verfahrenstechnik in Beispielen“, Springer – Verlag, 2014.
11. Fluidtechnik, Hydraulik-Skript, [Online]. Available: <http://www.maschinenbauwissen.de/skript3/fluidtechnik/hydraulik/202-reynoldszahl>
12. Felix Langfeldt, Masterarbeit, „Einfluss reibungsbehafteter Partikel – Wand und Partikel – Partikel – Kollisionen auf die Large – Eddy Simulation disperser Mehrphasenströmungen“, [Online], Available: https://www.researchgate.net/publication/270394190_Einfluss_reibungsbehafteter_Partikel-Wand- und Partikel-Partikel-Kollisionen auf die Large-Eddy Simulation disperser Mehrphasenstromungen.
13. Vorlesungsfolien Mechanische Verfahrenstechnik, Otto- von-Guericke-Universität Magdeburg, [Online], Available: http://www.mvt.ovgu.de/mvt_media/Vorlesungen/VO_MTP/Folien_MTP_2-p-1496.pdf.
14. Fakultät für Maschinenbau, Hochschule Stralsund, [Online]. Available: http://www.mb.fh-stralsund.de/fss/pages/pg_lehre/st/KAP10-8.PDF.
15. „VDI – Wärmeatlas“, 11. bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer – Verlag, 2013.
16. Y. I. Rabinovich, J. J. Adler, A. Ata, R. K. Singh, B. M. Moudgil, “Adhesion between Nanoscale Rough Surfaces”, published 21 August 2000, J. Colloid Interface Sci. 2000, 232 (1), 10 – 16.
17. M. Bartelmann, „Theoretische Physik“, Springer – Verlag, 2015.
18. Paul A. Tipler, Gene Mosca, „Physik für Wissenschaftler und Ingenieure“, Springer – Verlag, 2015.

19. M. Bartelmann, „Theoretische Physik I: Punktmechanik und mathematische Methoden“, [Online]. Available: <http://www.ita.uniheidelberg.de/research/bartelmann/files/theorie1.pdf>.
20. Довнар Г.В. Оборудование литейных цехов. // Минск: БПИ, 2012. – 101 с.
21. Введение в Аксес [Электронный ресурс]. URL: [http://access.avorut.ru/publ/referaty/referaty_access/vvedenie_v_access/60 – 1 – 0 – 178](http://access.avorut.ru/publ/referaty/referaty_access/vvedenie_v_access/60-1-0-178) (дата обращения: 23.09.2020).