

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2025 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою Інжиніринг обладнання виробництва
полімерних та будівельних матеріалів і виробів

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Бігуни сухого помелу з модернізацією котків

Студент (-ка) IV к, групи ЛП-12
(шифр групи)

Кривоконь Назар Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту: Доцент, кандидат технічних наук Шилович Т. Б.

(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ:

д.т.н.,
проф.

Щербина В. Ю.

ТЕХ. МАШ.:

ст. викл.

Борщик С. О.

ОХОРОНИ ПРАЦІ:

ст. викл.

Ковтун А. І.

РЕЦЕНЗЕНТ

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ 2025 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський)

Спеціальність — 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Кривоконь Назар Володимирович

1. Тема проекту «Бігуни сухого помелу с модернізацією котків», керівник проекту Шилович Тетяна Борисівна — доцент, кандидат технічних наук — затверджені наказом по університету від 20.05.2025 р. № 1653-с
2. Термін подання студентом проекту 16.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту:
Межа міцності на стиск $\sigma = 83 \text{ МН/м}^2$; модуль пружності $E = 2,5 \cdot 10^4 \text{ МН/м}^2$; густина $\rho = 2,2 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт тертя $f = 0,35$; продуктивність $P_p = 14,0 \text{ т/год}$; діаметр котків $D = 1,2 \text{ м}$; ширина $B = 0,35 \text{ м}$; середній розмір вихідного продукту $d_{\text{сер}} = 0,008 \text{ м}$; зусилля натискання шкребка $P = 650 \text{ Н}$.
4. Зміст пояснювальної записки
Вступ. Призначення та галузь застосування бігунів сухого помелу. Технологічна схема. Технічна характеристика бігунів. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії. Літературно-патентний огляд. Охорона праці. Технологія виготовлення деталей.
5. Перелік графічного матеріалу
 - Технологічна схема виробництва
 - Креслення загального вигляду бігунів з модифікованим катком
 - Креслення модернізованого вузла
 - Деталювання
 - Плакат виконання 3D-моделі для числового розрахунку
 - Плакат з результатами числового розрахунку модернізованого котка

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завданн я видав	завдан ня прийн яв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	проф. Щербина В. Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст. викл. Борщик С. О.		
ОХОРОНА ПРАЦІ	ст. викл. Ковтун А. І.		

7. Дата видачі завдання ...18.05.2025.....

Календарний план

№ з/ п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітк а
1	Літературно-патентний пошук	19.05.2025	
2	Виконання параметричних розрахунків	24.05.2025	
3	Виконання креслення загального виду	27.05.2025	
4	Виконання креслення тех. схеми	30.05.2025	
5	Виконання розрахунків на міцність	31.05.2025	
6	Виконання креслення модернізації	05.06.2025	
7	Виконання розрахунків	08.06.2025	
8	Виконання розділів ТМ та ОП	12.06.2025	
9	Загальні висновки	13.06.2025	

Студент

КРИВОКОНЬ Назар

Керівник проекту

ШИЛОВИЧ Тетяна

РЕФЕРАТ

Кривоконь Н. В. «Бігуни сухого помелу с модернізацією котків»: Дипломний проєкт освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом підготовки 133 — Галузеве машинобудування /«КПІ ім. Ігоря Сікорського»; керівник — Шилович Т. Б.

На сьогодні одним із важливих напрямів удосконалення технологічних процесів у виробництві сухого помелу є підвищення ефективності роботи основного обладнання, зокрема бігунів. Важливою складовою в цьому процесі є оптимізація конструкції робочих елементів, які безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту, рівень зносу обладнання та енергоспоживання.

Дипломна робота присвячена технічному аналізу та вдосконаленню конструкції бігунів сухого помелу, які використовуються для подрібнення сировини у відповідних технологічних процесах. У межах дослідження вивчено основні проблеми експлуатації бігунів, серед яких нерівномірне зношення, недостатня зносостійкість, передчасні поломки та надмірні навантаження під час роботи. Для вирішення цих питань розроблено ряд технічних рішень, що включають конструктивні удосконалення та точний розрахунок міцнісних параметрів.

За результатами дослідження визначено оптимальні геометричні та міцнісні характеристики бігунів, що сприяє підвищенню ефективності процесу подрібнення. Запропоновані удосконалення дозволять підвищити продуктивність обладнання, знизити навантаження на вузли, а також зменшити частоту технічного обслуговування. Очікується, що реалізація розроблених рішень забезпечить економічний ефект за рахунок зниження експлуатаційних витрат та збільшення міжремонтного інтервалу роботи.

Ключові слова: Бігуни сухого помелу, модернізація котків, подрібнення сировини

ABSTRACT

Kryvokon N. V. “Roll Crusher with Roll Modernization”: Bachelor’s Thesis in the field of study №133 Industrial Engineering / *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*; Supervisor — **Shylovych T. B.**

Currently, one of the key directions in improving technological processes in the production of dry-ground materials is enhancing the efficiency of the core equipment, particularly dry grinding runners. A crucial aspect of this process is the optimization of the design of working elements, which directly influence the quality of the final product, equipment wear, and energy consumption.

This thesis focuses on the technical analysis and improvement of the construction of dry grinding runners used for crushing raw materials in various industrial processes. The study addresses operational challenges such as uneven wear, insufficient wear resistance, premature failures, and excessive loads during operation. To solve these problems, a series of technical solutions were proposed, including structural improvements and accurate strength parameter calculations.

As a result of the research, optimal geometric and mechanical characteristics of the runners were determined, which contribute to improving the efficiency of the grinding process. The proposed improvements are expected to enhance equipment productivity, reduce component stress, and decrease maintenance frequency. The implementation of these solutions is anticipated to bring economic benefits by lowering operational costs and extending the service life between repairs.

Key words: Dry grinding runners, roller modernization, rawmaterial grinding

Перелік позначень

α	— кут захоплення матеріалу між котком і чашею, град
B	— ширина котка, м
D	— діаметр котка, м
d	— діаметр вала, мм
d_{cp}	— середній розмір частинок подрібненої сировини, м
e	— зазор між котком і чашею, м
E	— модуль пружності матеріалу, МПа
f	— коефіцієнт тертя між котком і сировиною
F_T	— сила тертя між котком і матеріалом, Н
F_r	— радіальна сила, що діє на маточину, Н
F_t	— колова сила, Н
i	— ступінь подрібнення
L	— довжина котка (робоча зона), м
M_T	— момент тертя котка, Н·м
$N_{дв}$	— потужність електродвигуна, кВт
n	— частота обертання чаші бігунів, об/с
P	— загальна потужність подрібнення, кВт
P_p	— масова продуктивність, т/год
P_v	— об'ємна продуктивність, м³/год
ρ	— густина сировини, т/м³
σ	— межа міцності матеріалу, МПа
$\sigma_{екв}$	— еквівалентне напруження за Мізесом, МПа
$\sigma_{екв}$	— допустиме еквівалентне напруження, МПа
V	— колова швидкість обертання котка, м/с
μ	— коефіцієнт розпушення шару після котків

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІГУНІВ СУХОГО ПОМЕЛУ	9
2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІГУНІВ СУХОГО ПОМЕЛУ	13
3. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВО КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ НАПІВСУХИМ ФОРМУВАННЯМ	14
4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ	16
4.1. Огляд існуючих рішень	16
4.2 Вибір та обґрунтування вибору варіанту модернізації котка	18
5. РОЗРАХУНКИ	20
5.1 Розрахунок геометричних параметрів	20
5.2 Розрахунок на міцність конічної прямозубої передачі	23
5.2.1 Розрахунок на контактну міцність при дії максимального вантажу	23
5.2.2 Допустиме напруження при розрахунку на міцність зубів	24
5.3 Розрахунок моменту тертя котка бігунів	30
6. 3Д-МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОТКА	32
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	37
8. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	41
8.1 Опис і призначення деталі	43
8.2 Технологічний процес виготовлення деталі	44
8.3 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії	46
ВИСНОВОК	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

					ЛП12.063116.01-70ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Кривоконь Н. В			Бігуни сухого помелу з модернізацією котків	Літ.		Арк.	Аркуші
Перевірів		Шилович Т. Б.							
Т.контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ			
Н.контр.									
Затв.		Сокольський О.Л.							

ВСТУП

Бігуни сухого помелу — це один із важливих типів обладнання, що широко застосовується в промисловості для подрібнення та тонкого розмелювання твердих матеріалів, таких як глина, вугілля, керамічна сировина тощо. Основне призначення бігунів полягає у зменшенні розміру сировини до необхідної фракції з метою її подальшого використання в технологічних процесах або як сировини для виготовлення готової продукції.

Конструктивно бігуни складаються з масивного жорна (котків), які котяться по чашоподібному жолобу або плоскій плиті під дією власної ваги або прикладеного навантаження, подрібнюючи матеріал внаслідок сили стискання і розтирання. Такий принцип роботи дозволяє досягати високого ступеня подрібнення, особливо при роботі з матеріалами, що погано піддаються дробленню іншим обладнанням. Бігуни можуть мати різну конфігурацію та конструктивні особливості залежно від типу оброблюваного матеріалу та умов експлуатації.

До переваг бігунів сухого помолу належать проста й надійна конструкція, ефективне подрібнення твердих і в'язких матеріалів, низьке енергоспоживання та тривалий термін служби. Крім того, бігуни відзначаються зручністю в обслуговуванні та ремонті, що робить їх економічно доцільними для використання в різних галузях — хімічній, будівельній, вогнетривкій, гірничо-збагачувальній промисловості.

З огляду на вимоги сучасного виробництва до якості помелу, енергоефективності та надійності обладнання, подальше вдосконалення конструкцій бігунів залишається актуальним завданням для інженерів і технологів у сфері машинобудування.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІГУНІВ СУХОГО ПОМЕЛУ

Бігуни сухого помелу є одним із найстаріших і водночас ефективних типів обладнання для подрібнення [1], яке широко застосовується в різних галузях промисловості — зокрема у виробництві керамічних виробів, будівельних матеріалів, цементу, а також у гірничо-збагачувальній та хімічній промисловості. Основне призначення бігунів полягає у подрібненні твердих сипких матеріалів у сухому середовищі до порошкоподібного стану, що необхідно для подальших технологічних операцій, таких як пресування, формування або змішування.

Бігуни сухого помелу складаються з важких обкатних котків, що обертаються по чашоподібній або круглій робочій поверхні, роздавлюючи та стираючи матеріал під власною вагою. Подрібнення відбувається внаслідок стискання, розтирання та частково удару, що забезпечує рівномірну фракцію помелу. Залежно від конструкції, бігуни можуть бути як з горизонтальною, так і з вертикальною віссю обертання.

Переваги бігунів сухого помелу полягають у простоті конструкції, високій зносостійкості елементів, надійності в роботі та здатності обробляти великі об'єми матеріалу з порівняно низьким енергоспоживанням. Їх особливо доцільно використовувати при подрібненні пластичних та вологих матеріалів, таких як глина, каолін, шлак, зола та інші компоненти керамічних сумішей.

Недоліками бігунів є відносно низька продуктивність у порівнянні з сучаснішими млинами, значні габарити, потреба у регулярному очищенні робочої зони та нерівномірність гранулометричного складу отриманого продукту за умов недостатнього контролю параметрів роботи.

Таким чином, бігуни сухого помелу залишаються актуальними завдяки своїй універсальності, простоті обслуговування та здатності ефективно обробляти складну сировину у складі традиційних технологічних ліній, зокрема у виробництві керамічної цегли.

Бігуни з обертовою чашею звичайно застосовують для подрібнення сухих і напівсухих матеріалів. Вони складаються з двох котків 3, 4, закріплених на горизонтальній осі 2, яка при влученні матеріалу, що не дробиться, чи збільшенні

шару має можливість підніматися по направляючих 7.

На дні чаші 5 (див. рис. 1.1) по периферії укладається кільцеве сито 8. Розмір отворів сита в залежності від ступеня подрібнювання коливається в межах $(2...8)10^{-3}$ м. Привод вертикального вала 1, із закріпленої на ньому рухомою чашею 5, здійснюється від двигуна і редуктора через конічну зубчасту пару 6. Бігуни сухого подрібнення обладнані скребковими пристроями, що рівномірно подають матеріал під котки, очищають котки і чашу від налипання матеріалу і направляють подрібнений продукт (у бігунах сухого подрібнення) на сита. Частота обертання котків при сухому подрібненні збільшення частоти обертання веде до того, що матеріал буде відкидатися до стінок чаші.

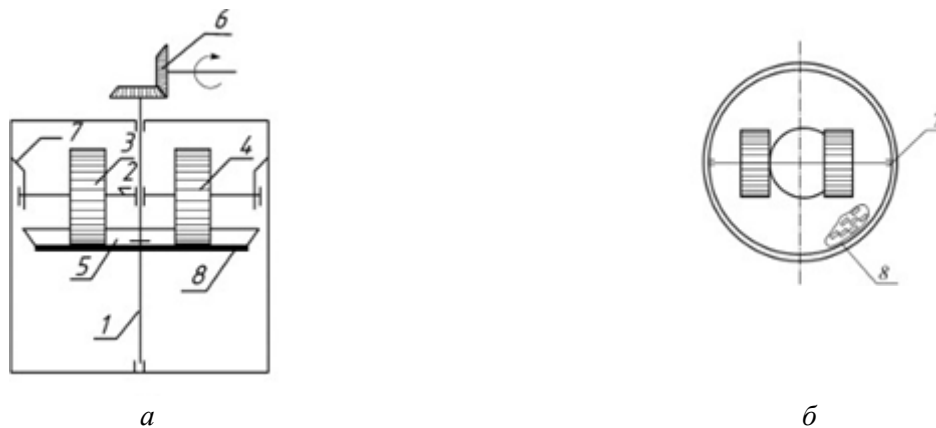


Рисунок 1.1 - Кінематична схема бігунів з обертовою чашею:
а – основний вигляд; б – вигляд зверху (позначення в тексті)

Конструкція основних деталей бігунів.

Котки бігунів складаються з маточини і бандажа.[2] У процесі роботи бандаж зношується, тому в конструкції котка повинна бути передбачена можливість швидкої заміни бандажа. Маточину котка і бандаж відливають з чавуну, при цьому для зменшення зносу робочої поверхні бандажа її наплавляють твердими сплавами.

Ширина котка b знаходиться в наступному співвідношенні з діаметром котка D_k :

$$D_k = (3,25...3,5) \cdot b.$$

Розміри котків (діаметр $\times$ ширина) бігунів сухого помелу – від 600×200 до 1800×450 мм, маса досягає 7 т. Продуктивність бігунів – до 30 т/год.

Діаметр чаші приймають по днищу.

Бігуни сухого помелу (рисунок 1.2) належать до типу машин безперервної дії з рухомою чашею й верхнім приводом конічною передачею.

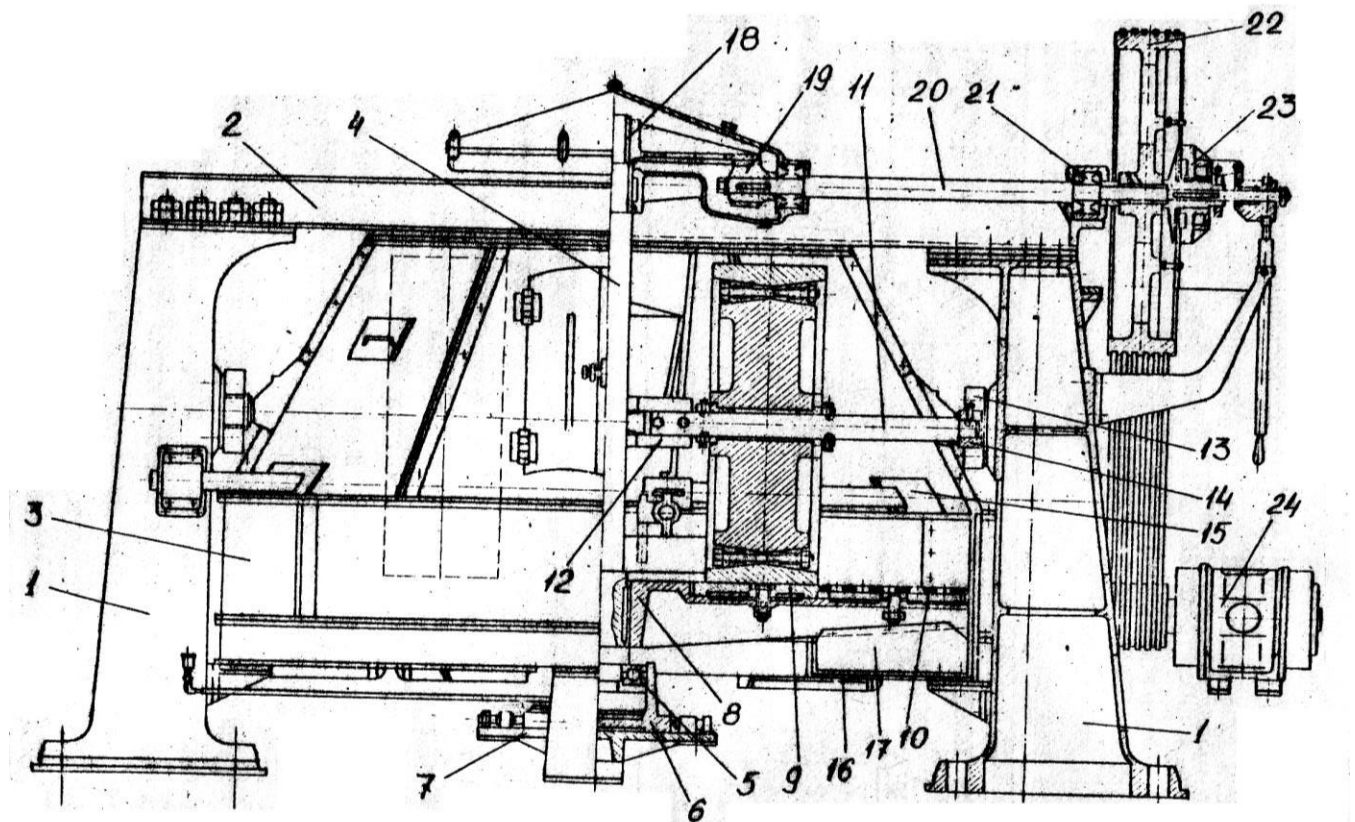


Рисунок 1.2 – Бігуни сухого помелу (позначення в тексті)

Котки бігунів, що захоплюються силами тертя об дно чаші, обертаються тільки навколо своїх горизонтальних осей. Конструкція [3] бігунів містить у собі бічні стійки 1, виготовлені з чавунного лиття і скріплені траверсою 2. На нижніх консольних опорах стійок 1 розміщений і закріплений зварений збірний корпус 3. Вертикальний вал 4 спирається своїм нижнім кінцем на опорний підшипниковий вузол 5, встановлений у стакані 6, що кріпиться на опорному пристрої 7. Опорний пристрій установлюється на фундаменті. На шийці вертикального вала 4 закріплена на шпонці обертова чаша 8. На дні чаші укладаються плити 9 і по периферії - кільцеве сито 10.

Осі 11 котків з'єднані між собою складеною муфтою (кареткою) 12, у центрі якої вільно проходить вертикальний вал 4. Вільні кінці осей з боку опорних стійок мають повзуни 14, що розміщені між направляючими 13. Завдяки цьому котки можуть підніматися (разом з муфтою, осями і повзунками), коли під них попадають тверді

тіла і великі шматки, або при збільшенні товщини шару матеріалу, що подрібнюється.

Бігуни мають скребковий пристрій 15, що рівномірно подає вихідний матеріал під котки, а подрібнений продукт направляє на сита. Розмір вічок сита 10 у залежності від ступеня подрібнювання коливається в межах 2...8 мм. Просіяний матеріал надходить на нерухомий кільцевий піддон 16, а матеріал, що не пройшов через сито, шкребки знову направляють під котки для додаткового подрібнювання. Усередині кільцевого піддона 16 розміщують шкребок 17. При обертанні чаші 8 шкребок 17, прикріплений до неї, згрібає матеріал, що надходить у нерухомий піддон, а потім направляє його у розвантажувальний лоток.

У верхній частині вертикального вала на шийку насаджують конічне зубчасте колесо 18, що входить у зачеплення з конічною зубчастою шестернею 19, установленою на консольному кінці приводного вала 20.

Вал 20 встановлений у підшипникових вузлах 21. На другому консольному кінці приводного вала 20 закріплений маховик 22, що є одночасно приводним шківом. Для введення бігунів у роботу призначена фрикційна муфта 23. Крутний момент від електродвигуна 24 за допомогою пасової передачі передається на шків-маховик. Після того, як маховик набирає потрібне число обертів, плавно включається фрикційна муфта. Крутний момент передається далі на приводний вал 20, а потім через конічну зубчасту передачу на вертикальний вал 4. У розглянутих бігунах число обертів вертикального вала коливається від 18 для великих моделей до 30...35 об/хв - для малих. Збільшення числа обертів для бігунів розглянутої конструкції обмежується тим, що при значних обертах відцентрова сила буде відкидати матеріал до стінок чаші. Дана обставина значно знижує продуктивність бігунів сухого помелу.

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІГУНІВ СУХОГО ПОМЕЛУ

Бігуни для сухого помелу СМ-401М[4] (табл.2.1) призначені для безперервного помелу і просіву кускового матеріалу (доломіту, бариту і інших опріснювальних добавок) з граничною вологістю 8% і максимальною крупністю кусків 25 мм.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики бігунів

Показники	Тип, модель	
	СМ-365*	СМ-401М**
Продуктивність, т/год	43	1
Розміри котка, мм		
Діаметр	1800	1100
ширина	800	300
Частота обертання вертикального вала, об/хв	22.7	22.7
Маса котка, Т	5.3	0.9
Сила тиску котка при роботі, кН	90	9...17.5
Встановлена потужність, кВт	75	17
Розміри овальних отворів, мм	16x50	
Габаритні розміри, мм		
Довжина	6750	3580
Ширина	3370	2753
Висота	4250	2315
Маса, т	32.7	9.1
*для мокрого помелу; ** для сухого помелу		

Бігуни застосовуються для дрібного дроблення та грубого помелу глини, кварцу, шамоту та інших будівельних матеріалів. Поряд з іншими машинами для подрібнення в загальному випадку бігуни менш ефективні. Їх використання викликано спеціальними технологічними умовами, коли поряд із подрібненням треба забезпечити також ущільнення, розтирання, знеповітрявання маси (наприклад, при переробці глини).

3. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ НАПІВСУХИМ ФОРМУВАННЯМ

Технологічна схема (рис. 3.1) виробництва керамічної цегли напівсухим формуванням передбачає послідовну обробку сировини — глини — від її надходження до пакування випаленої цегли на піддони. У процесі беруть участь численні механізми, які забезпечують транспортування, подрібнення, сушіння, змішування та формування виробу.

Глина зі складу **1** подається на лінію за допомогою завантажувача **2**, який транспортує її до ящикного живильника **3**. Живильник забезпечує рівномірну подачу глини на вальці для видалення каміння **4**, де здійснюється первинне очищення сировини.

Після цього глина переміщується за допомогою транспортера **5** у сушильний барабан **6**, де з неї видаляється надлишкова волога. Потім транспортер **7** подає підсушену сировину до глинозапасника **9**, де вона накопичується. Звідти за допомогою транспортера **8** і елеватора **11** глина надходить у бігуни сухого помелу **10** (дезінтегратор або млин), де відбувається її тонке подрібнення.

Подрібнена сировина проходить через вібросито **12**, що дозволяє відсіяти надто великі фракції. Потім матеріал надходить у бункер **13**, звідки живильником **14** подається у змішувач-зволожувач **15**, де глина зволожується до потрібної консистенції.

Змішана маса потрапляє у прес **16**, який формує сирець і укладає його на пічну вагонетку **17**. Вагонетка переміщується електропередавальним візком **18** у сушило **19**, де сирець проходить остаточне висушування. Потім другий електропередавальний візок **20** подає вагонетку у тунельну піч **21**, де відбувається випалювання.

Готова цегла автоматично перевантажується на дерев'яні піддони за допомогою автомата **22**, після чого пакується пакувальним автоматом **23** для подальшого транспортування або складування.

У підсумку, схема включає такі основні етапи:

- Підготовка сировини: 1–4
- Сушіння: 6, 19
- Подрібнення та зволоження: 10, 12, 15
- Формування сирцю: 16–17
- Випалювання: 21
- Транспортування: 5, 7, 8, 11, 18, 20
- Автоматизація пакування: 22–23

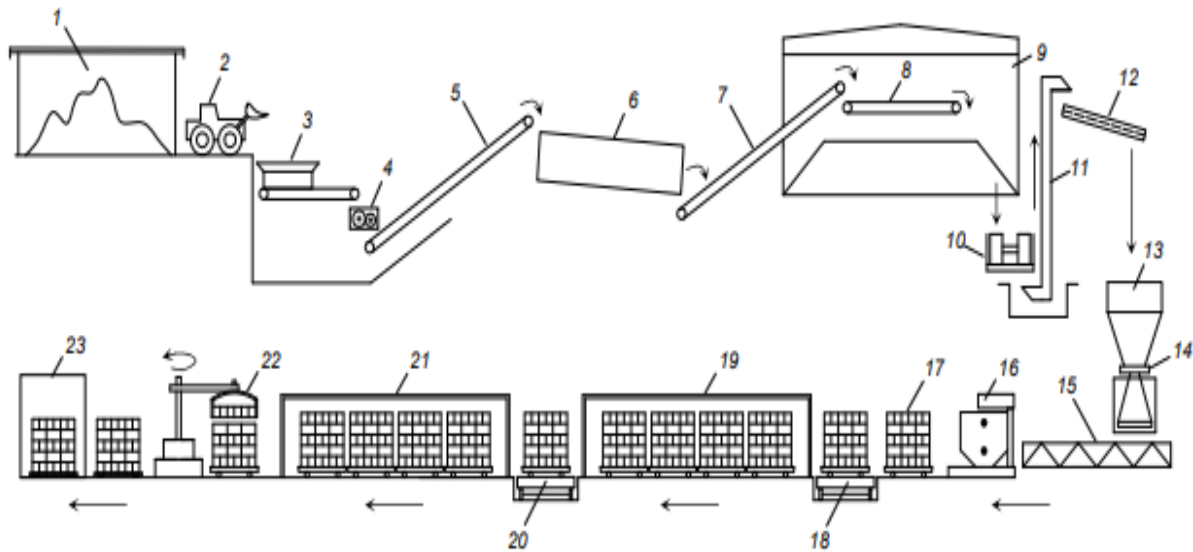


Рисунок 3.1 – Технологічна схема [2] виробництва керамічної цегли напівсухим формуванням (позначення в тексті)

4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

4.1. Огляд існуючих рішень

Для підвищення ефективності та надійності роботи бігунів сухого помолу, зменшення зношування, удосконалення обслуговування та адаптації обладнання до сучасних виробничих умов було проаналізовано низку патентних рішень. Розробки охоплюють як конструктивні зміни котків, так і модернізацію вузлів передачі зусиль, геометрії чаші та принципів змішування.

У винаході [9] запропоновано виконання валка з боку завантажувальної камери з рифлями на поверхні. Така модифікація дозволяє ефективніше захоплювати та утримувати матеріал у зоні подрібнення, що знижує втрати сировини та покращує стабільність процесу. Рифлення підвищують коефіцієнт тертя між котком і матеріалом, сприяючи більш інтенсивному подрібненню.

У конструкції бігунів [11] особливу увагу приділено системі передачі зусиль від привідного вала до котків. Замість традиційних простих шарнірів застосовано роликові радіальні сферичні підшипники, розташовані на перетині горизонтальної й вертикальної осей симетрії котка. Це забезпечує рівномірне навантаження на вузол з'єднання, зменшує втрати енергії та підвищує довговічність агрегата.

Винахід [10] стосується модернізації нерухомої чаші бігунів, яка виконана у вигляді розбірної конструкції з вертикальних пластин, згрупованих у чотири секції. Такий підхід спрощує очищення, обслуговування та модифікацію геометрії робочого простору. Крім того, зміщення секцій дозволяє створити центральну порожнину для оптимального руху матеріалу.

Патент [8] представляє конструкцію котка із маточиною та знімним ободом, на якому симетрично закріплюються знімні вантажі. Це рішення дає змогу регулювати центр мас котка та динаміку його обертання, що може використовуватись для тонкого налаштування режимів подрібнення залежно від властивостей сировини.

У моделі [7] запропоновано коток з багатокомпонентною будовою, де кам'яні бандажі виконано у вигляді дисків, що нанизуються на маточину. Це

дозволяє змінювати ширину котка відповідно до технологічних потреб. Використання клинових елементів і шпильок забезпечує надійне кріплення всіх частин, а модульна конструкція знижує час технічного обслуговування.

Винахід [6] орієнтований на удосконалення змішування — запропоновано встановлення додаткових плужків на траверсі, які розташовані нижче рівня суміші. Така конструкція дозволяє інтенсивніше перемішувати матеріал, що особливо актуально при подрібненні неоднорідних або вологих сумішей.

Загалом, розглянуті патентні рішення демонструють широкий спектр інженерних підходів до підвищення ефективності бігунів сухого помолу. Особливо перспективними є напрямки, пов'язані з **модульністю конструкції котків, регулюванням маси та ширини, а також оптимізацією геометрії робочих елементів**. Це дозволяє адаптувати обладнання до різних типів матеріалів і забезпечити більш стабільну й економічну роботу.

4.2. Вибір та обґрунтування вибору варіанту модернізації котка

Після проведення огляду наукових і патентних джерел було обрано модифікацію для удосконалення котка бігунів, яка базується на технічній інновації [7].

У ході вдосконалення конструкції котка бігунів, технічне рішення якого закріплено патентом № 75097, було запропоновано змінити геометричну конфігурацію окремих елементів. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність функціонування обладнання, оптимізувати його продуктивність, а також знизити витрати ресурсів і скоротити тривалість ремонтно-обслуговуючих заходів..

Існуюча конструкція котка бігунів, що складається з маточини та жорстко закріпленого на ній цільного обода, відзначається простотою, проте майже не придатна до ремонту через неможливість заміни зношених елементів. Значним недоліком є швидке зношення агрегату внаслідок вібрацій і поштовхів під час роботи, що спричиняє суттєві фінансові та часові витрати на обслуговування, а також зупинки у виробничому процесі.

Найбільш схожим технічним рішенням є коток бігунів, що складається з маточини та знімного обода, який можна закріпити на маточині (див. [там само, С. 70, рис. 37]). Цей коток дозволяє швидко замінювати зношений обід, що покращує умови експлуатації, проте не має можливості регулювати масу котка, а отже, і зусилля, що впливає на подрібнюваний матеріал, що обмежує його технологічні можливості. Задача, поставлена в основі корисної моделі, полягає у вдосконаленні конструкції котка бігунів таким чином, щоб забезпечити можливість регулювання його маси, що дає змогу змінювати зусилля на подрібнюваний матеріал і значно розширює функціональні можливості котка.

Поставлена задача вирішується тим, що в котку бігунів, що містить маточину й закріплюваний на ній знімний обід (рис. 4.1), згідно з запропонованою корисною моделлю новим є те, що на маточині закріплено знімні вантажі (рис. 4.2, 4.3). У найприйнятнішому прикладі виконання котка бігунів знімні вантажі (6) закріплено симетрично відносно осі маточини (5).

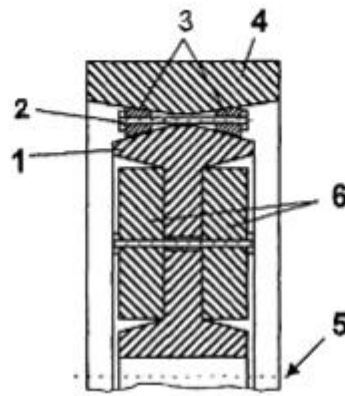


Рисунок 4.1 – Коток бігунів в поперечному розрізі (позначення в тексті).

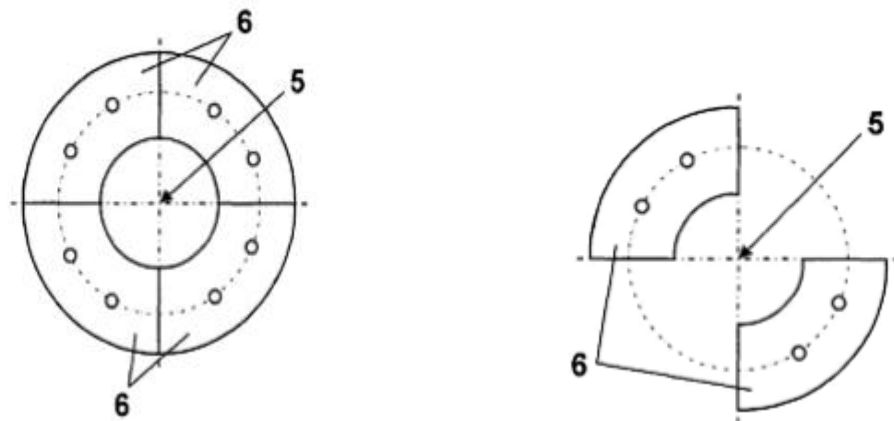


Рисунок 4.2 та рисунок 4.3 - Приклади розміщення знімних вантажів на маточині котка (вигляд збоку),(позначення в тексті).[5]

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, на яких зображено коток бігунів, що містить маточину 1 і закріплений на ній за допомогою клинів 2 і болтових з'єднань 3 знімний обід 4, при цьому на маточині 1 симетрично відносно її осі 5 закріплено знімні вантажі 6.

Отже, запропоноване в патенті конструктивне рішення вдосконалює роботу дробильного котка в бігунах сухого помелу. Залежно від розмірів фрагментів подрібнюваної сировини та її фізико-механічних характеристик, шляхом регулювання кількості й габаритів вантажів забезпечується необхідна маса котка, що безпосередньо впливає на зусилля дроблення.

5. РОЗРАХУНКИ

5.1 Параметричні розрахунки

Розрахуємо бігуни сухого помелу з наступними вихідними даними: межа міцності на стиск $\sigma = 83 \text{ МН/м}^2$; модуль пружності $E = 2,5 \cdot 10^4 \text{ МН/м}^2$; густина $\rho = 2,2 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт тертя $f = 0,35$; продуктивність $P_p = 14,0 \text{ т/год}$; діаметр котків $D = 1,2 \text{ м}$; ширина $B = 0,35 \text{ м}$; середній розмір вихідного продукту $d_{\text{сер}} = 0,008 \text{ м}$; зусилля натискання шкребка $P = 650 \text{ Н}$. Застосована методика розрахунку [6].

5.1.1 Розрахунок геометричних параметрів

5.1.1.1 Кут захоплення

Подрібнення куска матеріалу діаметром d у бігунах відбувається при умові, що коток діаметром D не зсуне матеріал по чаші, а накотиться на нього і роздавить кусок. При цьому на матеріал діють сила тиску P , сила тертя куска об каток P_f , сила матеріалу по чаші P_{1f} , реакція чаші на тиск матеріалу P_1 . Для того, щоб кусок був захоплений між катками і чашею необхідно, щоб сила $P \sin \alpha$ була меншою і в крайньому випадку рівною $fP \cos \alpha$ і fP_1 .

$$\alpha \leq 2 \cdot \arctg(f),$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання котків по матеріалу.

$$\alpha \leq 2 \cdot \arctg 0,35 \approx 2 \cdot 19^{\circ}29' \approx 39^{\circ}58'.$$

Приймаємо $\alpha = 40^{\circ}$.

5.1.1.2 Співвідношення між діаметрами котків і вихідного матеріалу

$$D_{\kappa} / D_{\text{сер}} = \frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha},$$

де D_{κ} - діаметр котків, м.

$$D_{\kappa} / D_{\text{сер}} = \frac{1 + \cos 40^{\circ}}{1 - \cos 40^{\circ}} = 5,05.$$

5.1.1.3. Частота обертання чаші бігунів, об/с:

$$n \leq \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot f}{2 \cdot D_{\kappa}}},$$

де D_{κ} - середній діаметр кочення котків, м.

$$n \leq \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,35}{2 \cdot 1,05}} = 0,407 \text{ об/с};$$

$$D_{\kappa} = 3 \cdot B = 3 \cdot 0,35 = 1,05 \text{ м},$$

де B – ширина котків, $B = 0,35$ м.

Приймаємо $n = 0,4$ об/с.

2.1.2 Розрахунок продуктивності бігунів сухого помелу, м³/год:

$$\Pi_v = 3600 \cdot \pi \cdot D_{\kappa} \cdot B \cdot d_{\text{сер}} \cdot n \cdot \mu$$

де B - ширина котків, м;

$\mu = 0.7$ - коефіцієнт розпушення шару матеріалу після котків.

$$\Pi_v = 3600 \cdot \pi \cdot 1,05 \cdot 0,35 \cdot 0,008 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 9,3 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

5.1.3 Розрахунок потужності двигуна:

$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot g \cdot n \cdot m}{10^3 \cdot \eta_n} \left(f \cdot B + \frac{2 \cdot K \cdot D_{\kappa}}{D} \right),$$

де m - маса котка, кг;

$\eta_n = 0.7 \dots 0.8$ - ККД привода;

$K = 0.05 \dots 0.1$ м - коефіцієнт тертя кочення котка по матеріалу.

$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 0,4 \cdot 4628,9}{10^3 \cdot 0,8} \left(0,35 \cdot 0,35 + \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 1,05}{1,2} \right) = 42,42 \text{ кВт}.$$

Вибираємо асинхронний двигун серії 4AM200L4 з номінальною потужністю $N = 45 \text{ кВт}$, з частотою обертання $n = 1500 \text{ об/хв}$.

5.1.4. Розрахунок конічної прямозубої передачі

1). Матеріал для шестерні та колеса – легована сталь 40Х (поковка); термообробка – покращення (гартування з високим відпуском), твердість після термообробки: для шестерні HB₁280, для колеса HB₂250.

2). Допустиме контактне напруження :

$$[\sigma]_f = \sigma_{Hlim\beta} K_{HL} Z_R Z_V K_{KH} / S_H,$$

де $\sigma_{Hlim\beta}$ – межа контактної міцності поверхонь зубів, відносна базовому числу циклів зміни напружень.

При термічній обробці :

$$\sigma_{Hlim\beta} = 2HB + 70;$$

для шестерні :

$$\sigma_{Hlim\beta 1} = 2 \cdot 280 + 70 = 630 \text{ МПа};$$

для колеса:

$$\sigma_{Hlim\beta 2} = 2 \cdot 250 + 70 = 570 \text{ МПа};$$

K_{HL} – коефіцієнт довговічності, який враховує строк служби та режими напруження

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}},$$

де N_{HO} – базове число циклів зміни напружень,

$$N_{HO} = 30 HB^{2.4};$$

для шестерні:

$$N_{HO1} = 30 \cdot 280^{2.4} = 224 \cdot 10^5;$$

для колеса:

$$N_{HO2} = 30 \cdot 250^{2.4} = 171 \cdot 10^5.$$

N_{HE} – еквівалентне число циклів зміни напружень

$$N_{HE} = 60 \sum \left(\frac{T_i}{T_{\max}} \right)^3 n_i t_i,$$

де T_i – крутний момент, що передається;

$T_{\max}$ – максимальний крутний момент, який довго триває;

n_i – частота обертання;

t_i – довготривалість дії моменту T_i ;

для шестерні :

$$N_{HE1} = 60 \cdot [1 \cdot 0,7 + 1^3 \cdot 0,3] \cdot 750 \cdot 15000 = 142 \cdot 10^6;$$

для колеса :

$$N_{HE2} = N_{HE1}/U = 142 \cdot 10^6/5 = 28,4 \cdot 10^6,$$

де U – значення передаточного числа, $U=5$.

Так як

$$N_{HE1} > N_{HO1}, \quad 142 \cdot 10^6 > 224 \cdot 10^5;$$

$$N_{HE2} > N_{HO2}, \quad 28,4 \cdot 10^6 > 171 \cdot 10^5,$$

то

$$K_{HL1} = K_{HL2} = 1, \text{ а } \sigma_{Hlimb2} < \sigma_{Hlimb1}, \quad 570 \text{ МПа} < 630 \text{ МПа}.$$

Більш слабким є колесо; по ньому будемо вести розрахунок. Приймаємо колову швидкість зубчастих коліс $V < 5 \text{ м/с}$; $Z_V = 1$; $K_{KH} = 1$.

Для зубчастих коліс з однорідною структурою матеріалу:

$$S_H = 1,1;$$

$$[\sigma]_{H1} = [\sigma]_{H2} = 570 \cdot 1 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot 1/1,1 = 466 \text{ МПа}.$$

3). Зовнішній діаметр колеса:

$$d_{e2} = 1014_3 \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta} K_{HV} U}{(1 - K'_{be}) K'_{be} [\sigma]_H^2}},$$

де T_2 – крутний момент на колесі:

$$T_2 = 9550 \cdot (N/n) = 9550 \cdot (45/1500) = 290 \text{ Нм};$$

K'_{BH} – значення коефіцієнта, який враховує розподілення навантаження по ширині вінця, приймаємо $K'_{BH} = 1,1$;

K'_{HV} – значення коефіцієнта, який враховує динамічне навантаження в защемленні, приймаємо $K'_{HV} = 1,1$;

K'_{be} – значення коефіцієнта ширини зубчастого вінця, який знаходимо за формулою:

$$K'_{be} = \frac{1,2}{U + 0,6} \leq 0,3;$$

$$K'_{be} = \frac{1,2}{5 + 0,6} \leq 0,21.$$

Приймаємо $K'_{be} = 0,3$.

$$d_{e2} = 10143 \sqrt{\frac{290 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 5}{(1 - 0,3) \cdot 0,3 \cdot 466^2}} = 342,4 \text{ мм.}$$

4). Зовнішній кільцевий модуль:

$$m_e = \frac{d_{e2} K_{be}^2 \sqrt{U^2 + 1}}{20U} = \frac{342,4 \cdot 0,9 \sqrt{5^2 + 1}}{20 \cdot 5} = 15,7 \text{ мм.}$$

Згідно ГОСТ 9563-60 приймаємо: $m_e = 16 \text{ мм.}$

5). Число зубів колеса:

$$Z_2 = \frac{d_{e2}}{m} = \frac{342,4}{16} = 21,4.$$

Приймаємо $Z_2 = 25$.

6). Уточнюємо зовнішній діаметр колеса:

$$d_{e2} = m_e Z_2 = 16 \cdot 25 = 400 \text{ мм.}$$

7). Число зубів шестерні:

$$Z_1 = \frac{Z_2}{U} = \frac{25}{5} = 5.$$

8). Уточнюємо передаточне число редуктора:

$$U = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{25}{5} = 5.$$

9). Зовнішня конусна відстань:

$$R_e = 0,5m \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2} = 0,5 \cdot 16 \sqrt{5^2 + 25^2} = 203,96 \text{ мм.}$$

10). Ширина зубчастого вінця:

$$b' = R_e \cdot K_{be} = 203,96 \cdot 0,3 = 61,1 \text{ мм.}$$

Приймаємо $b = 61 \text{ мм.}$

11). Уточнюємо коефіцієнт ширини зубчастого вінця:

$$K_{be} = b/R_e = 61/203,96 = 0,299.$$

12). Середній модуль:

$$m = m_e (1 - 0,5K_{be}) = 16 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,299) = 13,6 \text{ мм.}$$

13). Колова швидкість на середньому діаметрі:

$$v = \frac{\pi m Z_1 n_1}{1000 \cdot 60} = \frac{\pi \cdot 13,6 \cdot 5 \cdot 1000}{1000 \cdot 60} = 3,56 \text{ м/с.}$$

Приймаємо 8-й ступінь точності виготовлення коліс.

14). Коефіцієнт ширини по середньому діаметру шестерні:

$$y_d = \frac{UK_{be}}{2 - K_{be}} = \frac{5 \cdot 0,299}{2 - 0,299} = 0,88.$$

15). Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження в зачепленні:

$$K_{HV} = 1,07.$$

16). Геометричні розміри колеса:

- кут конуса:

$$\delta_2 = 90 - \delta_1 = 90 - 11,3 = 78,7^\circ;$$

- кут конуса вершин зубів:

$$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2} = 78,7 + 2,245 = 80,945^\circ,$$

де θ_{a2} - кут половини зуба; $\theta_{a2} = 2,245^\circ$;

- кут конуса западин зуба:

$$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2} = 78,7 - 2,245 = 76,455^\circ;$$

- зовнішній діаметр:

$$d_{e2} = m_e z_a = 5 \cdot 60 = 300 \text{ мм};$$

- внутрішній діаметр вершин зубів:

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2}\cos\delta_2 = 300 + 2 \cdot 16 \cdot \cos 78,7 = 306,66 \text{ мм},$$

де $h_{ae2} = m_e = 16 \text{ мм}$;

- ширина зубчастого вінця : $b = 61 \text{ мм}$;

- відстань від вершини конуса до площини вершин зубів:

$$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2}\sin\delta_2 = 0,5 \cdot 60 - 16 \cdot \sin 78,7 = 26,08 \text{ мм}.$$

17). Геометричні розміри шестерні:

- зовнішня конусна відстань:

$$R_e = 0,5m\sqrt{Z_1^2 + Z_2^2} = 0,5 \cdot 13,6\sqrt{5^2 + 25^2} = 173,36 \text{ мм};$$

- кут конуса:

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right) = \arctg\left(\frac{5}{25}\right) = 11,3^\circ;$$

- кут ноги зуба:

$$\theta_{f2} = \arctg\left(\frac{h_{fe1}}{R_e}\right) = \arctg\left(\frac{19,2}{173,6}\right) = 6,28^\circ,$$

де $h_{fe1} = 1,2m_e = 1,2 \cdot 16 = 19,2 \text{ мм}$ - зовнішня висота ніжки зуба;

- кут головки зуба:

$$\theta_{a1} = \theta_{f2} = \theta_{f1} = 6,28^0;$$

- кут конуса вершин зуба:

$$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1} = 11,3 + 6,28 = 17,58^0;$$

- кут конуса западин зуба:

$$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1} = 11,3 - 6,28 = 5,02^0;$$

- зовнішній діаметр:

$$d_{e1} = m_e z_1 = 16 \cdot 5 = 80 \text{ мм};$$

- внутрішній діаметр вершин зубів:

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1 = 80 + 2 \cdot 16 \cdot \cos 11,3 = 89,57 \text{ мм},$$

де $h_{ae1} = m_e = 16 \text{ мм}$ - внутрішня висота головки зуба;

- відстань від вершини конуса до площини вершини зубів:

$$B_1 = 0,5 d_{e2} - h_{ae1} \sin \delta_1 = 0,5 \cdot 300 - 16 \cdot \sin 11,3 = 146,67 \text{ мм}.$$

5.2 Розрахунок на міцність конічної прямозубої передачі

5.2.1. Розрахунок на контактну міцність при дії максимального вантажу:

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_H \sqrt{\frac{T_{max}}{T}} = 457,4 \sqrt{2} = 647 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження для зубів колеса, які будуть покращуватися:

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \sigma_T,$$

де σ_T – границя текучості матеріалу при розтягу.

Для колеса, як «м'якого»:

$$[\sigma_T] = 490 \text{ МПа, тому}$$

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \cdot 490 = 1372 \text{ МПа}.$$

$$[\sigma]_{Hmax} > \sigma_{Hmax}; \quad 1372 \text{ МПа} > 647 \text{ МПа}.$$

5.2.2. Перевірка зубів на міцність при згині

Розраховуємо кут конуса шестерні:

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right) = \arctg\left(\frac{5}{25}\right) = 11,3^\circ;$$

кут конуса колеса:

$$\delta_2 = 90 - \delta_1 = 90 - 11,3 = 78,7^\circ.$$

5.2.3. Еквівалентне число зубів:

- шестерні:

$$Z_{01} = \frac{Z_1}{\cos \delta_1} = \frac{5}{\cos 11,3} = 5,1;$$

- колеса :

$$Z_{02} = \frac{Z_2}{\cos \delta_2} = \frac{25}{\cos 78,7} = 127,58.$$

5.2.4. Коефіцієнти, які враховують форму зубів при коефіцієнті зміщення $K_Y=0$

- для шестерні:

$$Y_{F1} = 3,567 + \frac{206}{Z_{01}^2} = 3,567 + \frac{206}{5,1^2} = 11,5;$$

- для колеса:

$$Y_{F2} = 3,7 \text{ так як } Z_{02} = 127,58 > 80.$$

5.2.5. Допустиме напруження при розрахунку на міцність зубів:

$$[\sigma]_{F0} = \sigma_{F \text{ limb}}^0 K_{FL} Y_b Y_R Y_{YF} / S_F,$$

де $\sigma_{F \text{ limb}}^0$ – межа міцності зубів при згині.

При термічній обробці:

$$\sigma_{\text{limb}} = 1,8 \text{HB};$$

- для шестерні:

$$\sigma_{F \text{ limb1}}^0 = 1,8 \cdot 280 = 504 \text{ МПа};$$

- для колеса:

$$\sigma_{F \text{ limb2}}^0 = 1,8 \cdot 250 = 450 \text{ МПа}.$$

$K_{FL1} = K_{FL2} = 1$ – коефіцієнт довготекучості.

Для зубчастих коліс із конструкційних сталей коефіцієнт Y_b визначають в залежності від середнього модуля за формулою:

$$Y_b = 1,096 - 0,192 \lg m = 1,096 - 0,192 \lg 4,265 = 0,975.$$

При класі шорсткості не нижче 4, $Y_R = 1$.

При діаметрі вершин зубів колеса:

$$d_{af2} \leq 300 \text{ мм};$$

$$K_{YF} = 1 \text{ при } d_{af2} > 300 \text{ мм};$$

$$K_{YF2} = 1,035 - 0,000117 d_{af2};$$

$$K_{YF1} = K_{HF2} = 1.$$

Коефіцієнт безпеки:

$$S_F' = S_F' S_F'',$$

де S_F' – коефіцієнт, який враховує нестабільність властивостей матеріалу і відповідальність зубчастої передачі при можливості неруйнування 99%; $S_F' = 1,75$;

S_F'' – коефіцієнт, який враховує спосіб виготовлення заготовок, при умові (для поковок та штамповок) $S_F'' = 1$.

$$S_{F1} = S_{F2} = 1,75.$$

Допустиме напруження:

- для шестерні:

$$[\sigma]_{F01} = 504 \cdot 1 \cdot 0,975 \cdot 1/1,75 = 280,8 \text{ МПа};$$

- для колеса:

$$[\sigma]_{F01} = 450 \cdot 1 \cdot 0,975 \cdot 1/1,75 = 251 \text{ МПа}.$$

Зуби коліс – відносно слабкі, тому що $251 \text{ МПа} < 280,8 \text{ МПа}$.

5.2.6. Напруження згину в зубах колеса:

$$\sigma_{F2} = F_t K_{FV} Y_{F2} / (0,85 b m),$$

де K_{FB} – коефіцієнт, який враховує розподілення навантаження по ширині вінця; $K_{FB} = 1,2$;

K_{FV} – коефіцієнт, який враховує динамічну складову навантаження, що з'явилося у зачепленні:

$$K_{FV} = 1 + \omega_{FV}b/(F_t K_{F\beta}),$$

де ω_{FV} – питома кругова динамічна сила:

$$\omega_{FV} = \delta_F g_0 v \sqrt{0,5 m z_1 \frac{U+1}{U}},$$

δ_F – коефіцієнт, який враховує вплив форми зубів; при прямих зубах 0,016;

$$\omega_{FV} = 0,016 \cdot 51 \cdot 3,56 \sqrt{0,5 \cdot 13,6 \cdot 5 \frac{5+1}{5}} = 12 \text{ мм};$$

$$K_{FV} = 1 + 12 \cdot 61 / (4000 \cdot 1,2) = 0,1;$$

$$\sigma_{F2} = 4000 \cdot 1,2 \cdot 0,1 \cdot 3,7 / (0,85 \cdot 61 \cdot 13,6) = 25 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{F2} < [\sigma]_{F2};$$

$$25 \text{ МПа} < 251 \text{ МПа}.$$

5.2.7. Розрахунок на міцність (при згині) значень максимального навантаження для умов відсутності деформацій та зламу зубів.

Найвище розрахункове напруження в зубах колеса:

$$\sigma_{Fmax} = \sigma_{F2} T_{max} / T_2 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ МПа};$$

не повинне перевищувати допустимого:

$$[\sigma]_{Fmax} = \sigma_{F \lim H2} \frac{Y_b}{S_{FH2}},$$

де $\sigma_{F \lim H2}$ – напруження, яке не призводить до деформацій зуба:

$$\sigma_{F \lim H2} = 4,8 H B_2 = 4,8 \cdot 250 = 1200 \text{ МПа};$$

S_{FH2} – коефіцієнт безпеки; $S_{FH2} = 1,75$.

$$[\sigma]_{Fmax} = 1200 \frac{0,975}{1,75} = 668,5 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{Fmax} > \sigma_{Fmax};$$

$$668,5 \text{ МПа} > 50 \text{ МПа}.$$

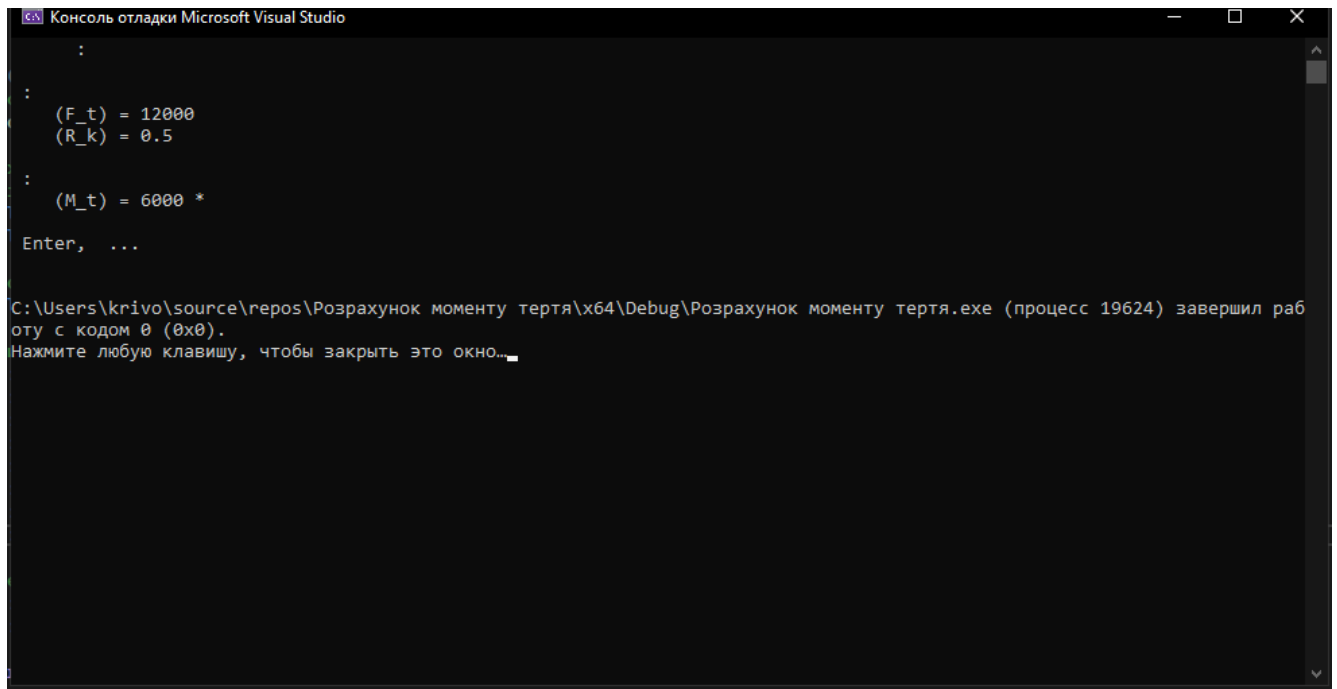
5.3 Розрахунок моменту тертя котка бігунів

У цьому підрозділі виконано розрахунок моменту тертя, що виникає при роботі котка бігунів сухого помелу. Цей параметр є важливим для визначення енергетичних витрат, необхідних для приводу машини, а також для оцінки

навантажень на її вузли та механізми. Розрахунок моменту тертя дає змогу більш точно підібрати потужність електродвигуна і забезпечити ефективну та стабільну роботу обладнання. Вихідні дані для розрахунку:

- Сила тертя: $F_t=12000$ Н (дане значення прийнято згідно з попередніми розрахунками та літературними джерелами для аналогічних машин).
- Радіус котка: $R_k=0,5$ м (прийнято згідно з конструктивними параметрами розробленої машини, як зазначено в розділі [2]).

Розрахунок було виконано за допомогою спеціально розробленої програми на мові програмування C++. Результати виконання програми наведені нижче. Лістинг програми, що включає її повний код, наведено в Додатку Б.



```
Консоль отладки Microsoft Visual Studio

:
:
(F_t) = 12000
(R_k) = 0.5
:
(M_t) = 6000 *
Enter, ...

C:\Users\krivo\source\repos\Розрахунок моменту тертя\x64\Debug\Розрахунок моменту тертя.exe (процесс 19624) завершил работу с кодом 0 (0x0).
Нажмите любую клавишу, чтобы закрыть это окно...
```

Рисунок 5.1 – Результати розрахунку

На основі введених даних програмою були отримані такі розрахункові результати:

- Сила тертя: $F_t=12000$ Н
- Радіус котка: $R_k=0,5$ м
- **Момент тертя: $M_t=6000$ Н·м**

Аналіз отриманих результатів:

Отримане значення моменту тертя $M_t=6000$ Н·м є ключовим показником для подальшого аналізу. Цей момент безпосередньо впливає на потужність, яка

потрібна для обертання котка, а отже, і на вибір електродвигуна приводу. Зазначений момент тертя є досить значним, що підкреслює необхідність врахування втрат на тертя при проектуванні та експлуатації бігунів сухого помелу.

Програма, розроблена для цього розрахунку, є гнучким інструментом. Вона дозволяє оперативно змінювати вхідні параметри, такі як сила тертя (наприклад, при використанні інших матеріалів або зміні умов роботи) або радіус котка (при модернізації конструкції), та миттєво отримувати нове значення моменту тертя. Це значно спрощує процес проектування, дозволяє швидко проводити оптимізаційні розрахунки та оцінювати вплив змін параметрів на енергетичні характеристики машини, що є цінним для подальшої інженерної роботи.

6.3D моделювання та обчислення модернізованої маточини котка

У цьому розділі проведено числове моделювання та розрахунок **маточини модернізованого котка бігунів**. Саме ця деталь (рис. 6.1) виконує функцію несучої основи, на яку через жорстке з'єднання передається навантаження від підвісних вантажів.

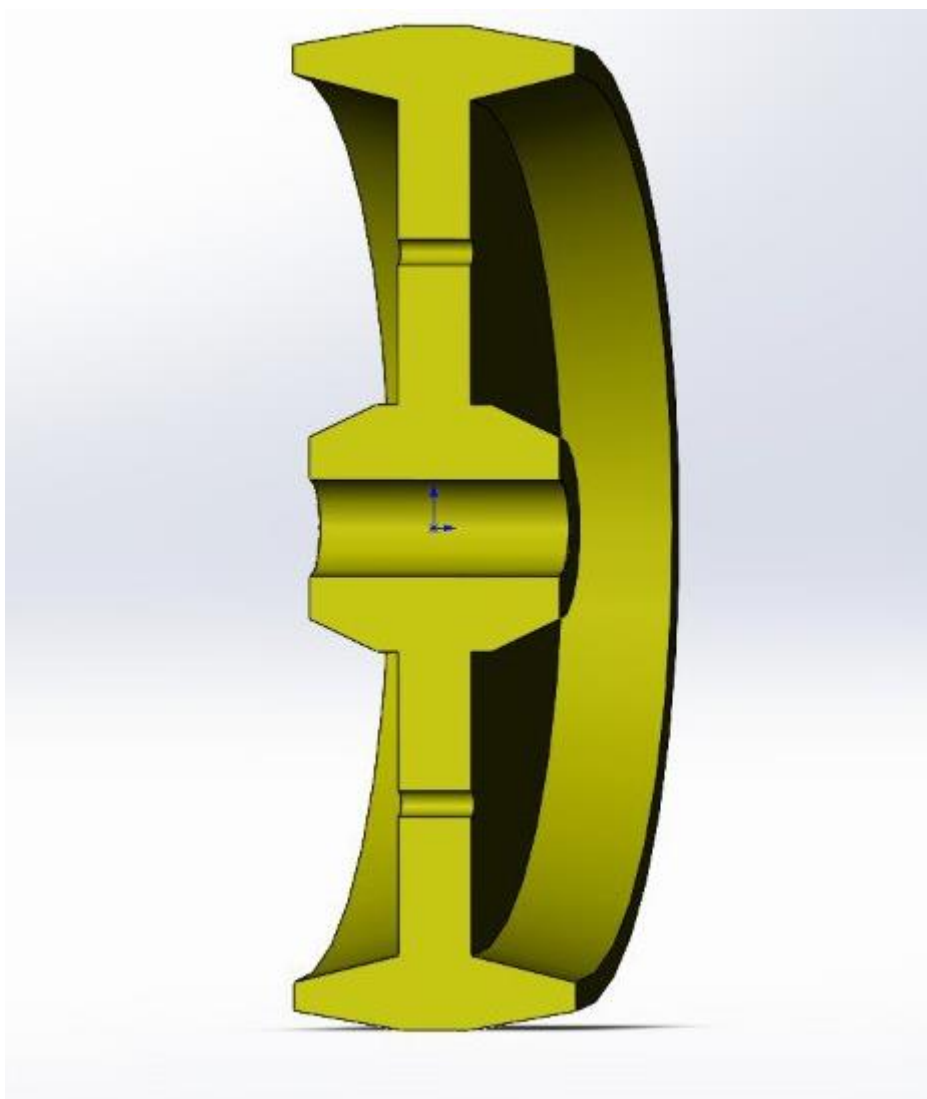


Рисунок 6.1 – маточина котка

На маточину передається навантаження від чотирьох підвісних вантажів (рис 6.2), рівномірно розміщених на її зовнішньому ободі. У результаті цього в тілі деталі виникають осьові та радіальні напруження, що вимагають подальшої

оцінки з позиції умови міцності та довговічності елемента. Модель включає основну несучу деталь, елементи кріплення вантажів і посадочні поверхні

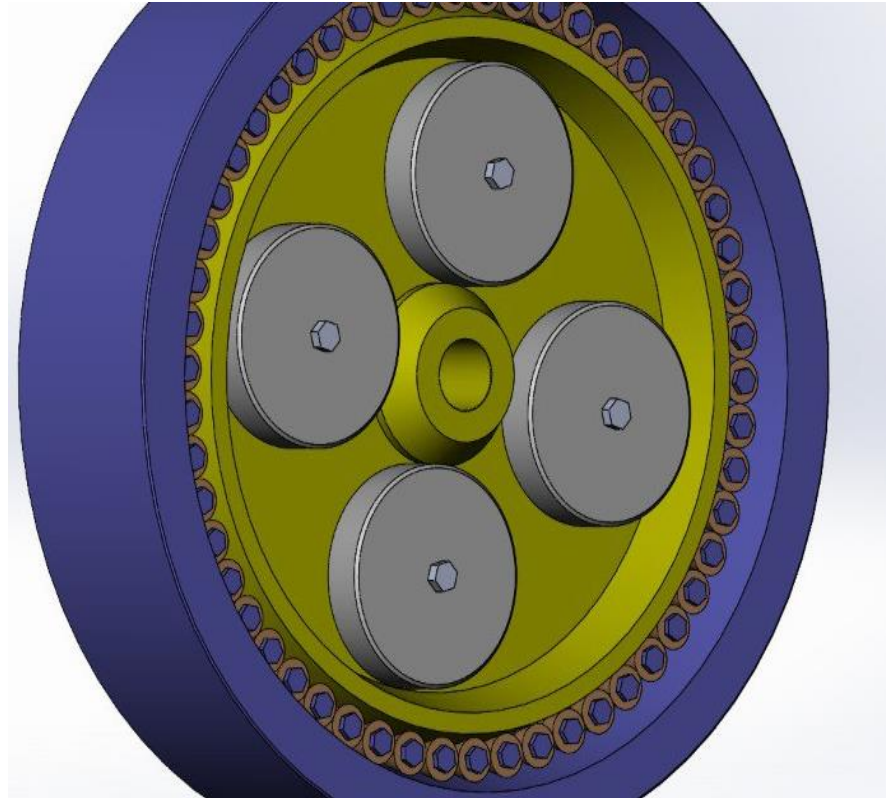


Рисунок 6.2 – Розміщення знімних вантажів.

Для виконання аналізу побудовано 3D-модель у SolidWorks, проведено накладення граничних умов, моделювання навантажень, а також визначено напружено-деформований стан та запас міцності в середовищі ANSYS

6.1 Накладання граничних умов

До моделі були прикладені граничні умови, зокрема закріплення типу *Fixed Support*, яке моделює жорстке кріплення маточини до вала (рис. 6.3).

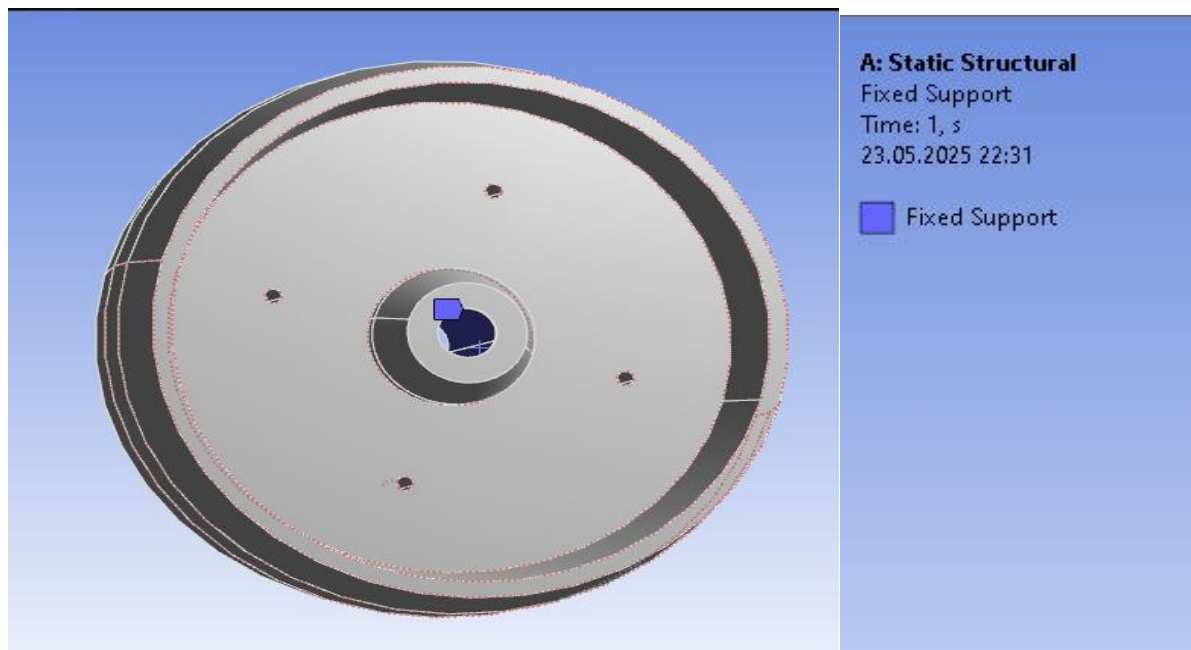


Рисунок 6.3 — Прикладені закріплення.

Після цього на зовнішні отвори прикладено силу типу *Force* величиною 10000 Н, що імітує навантаження від підвісного вантажу. З урахуванням чотирьох таких вантажів загальна сила розподіляється по симетричних точках (рис. 6.4).

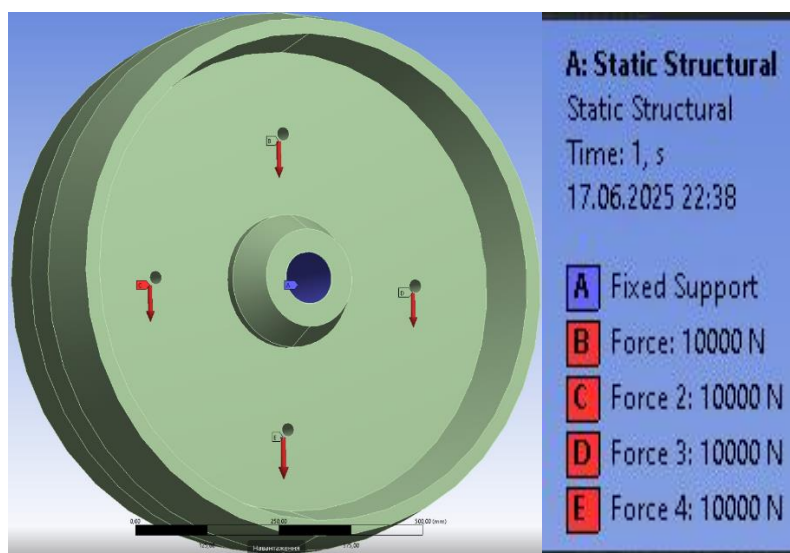


Рисунок 6.4 — Прикладення сили Force

Сітка моделі (рис 6.5)

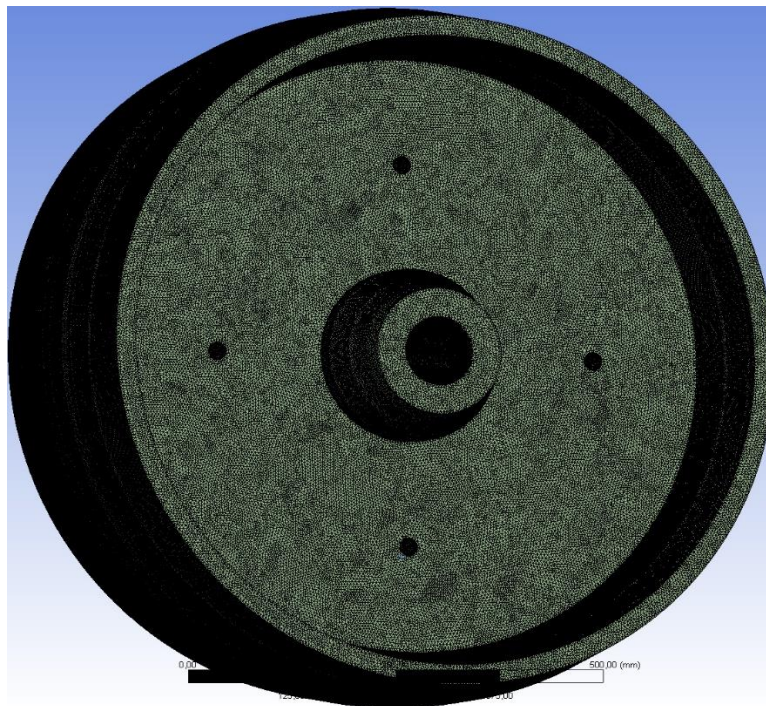


Рисунок 6.5 – сітка

6.2 Результати розрахунків

У результаті моделювання отримано картини деформацій і напружень, що дозволяють оцінити працездатність деталі:

- Загальні деформації конструкції (рис. 6.6)

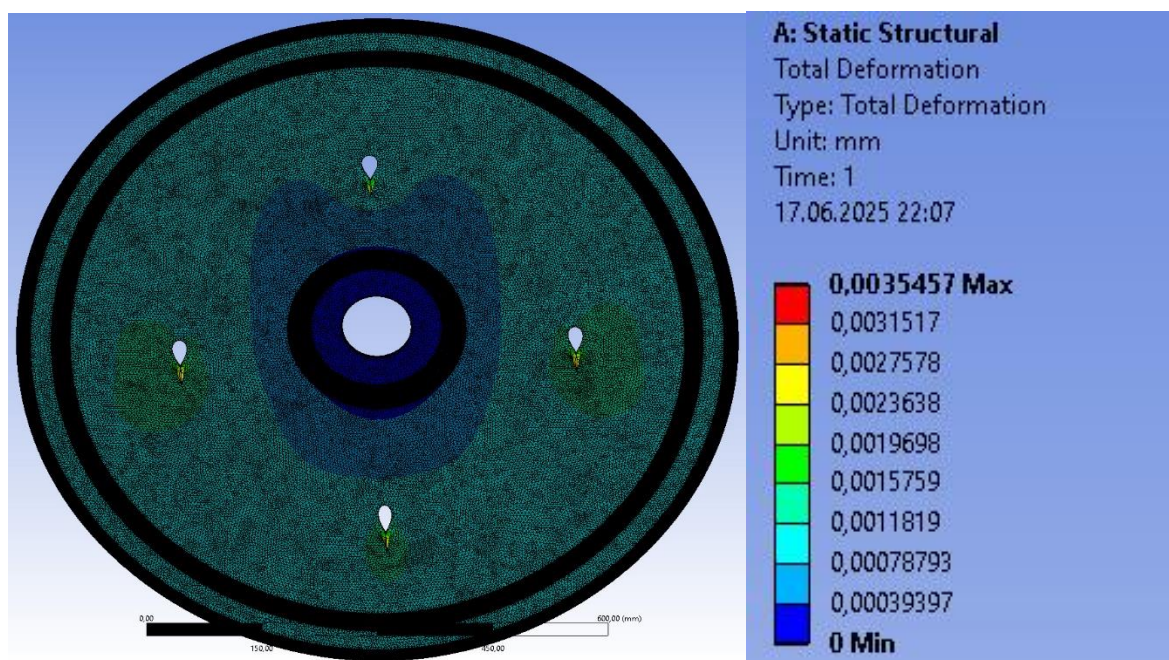


Рисунок 6.6 — Загальні деформації

- Еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 6.7)

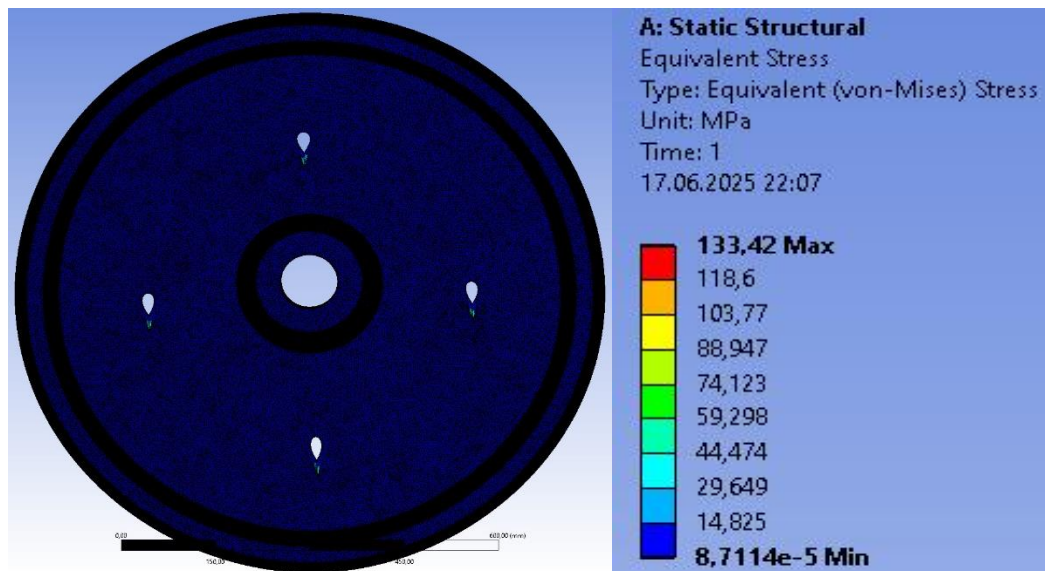


Рисунок 6.7 — Еквівалентні напруження

- Коефіцієнт запасу міцності (рис. 6.8)

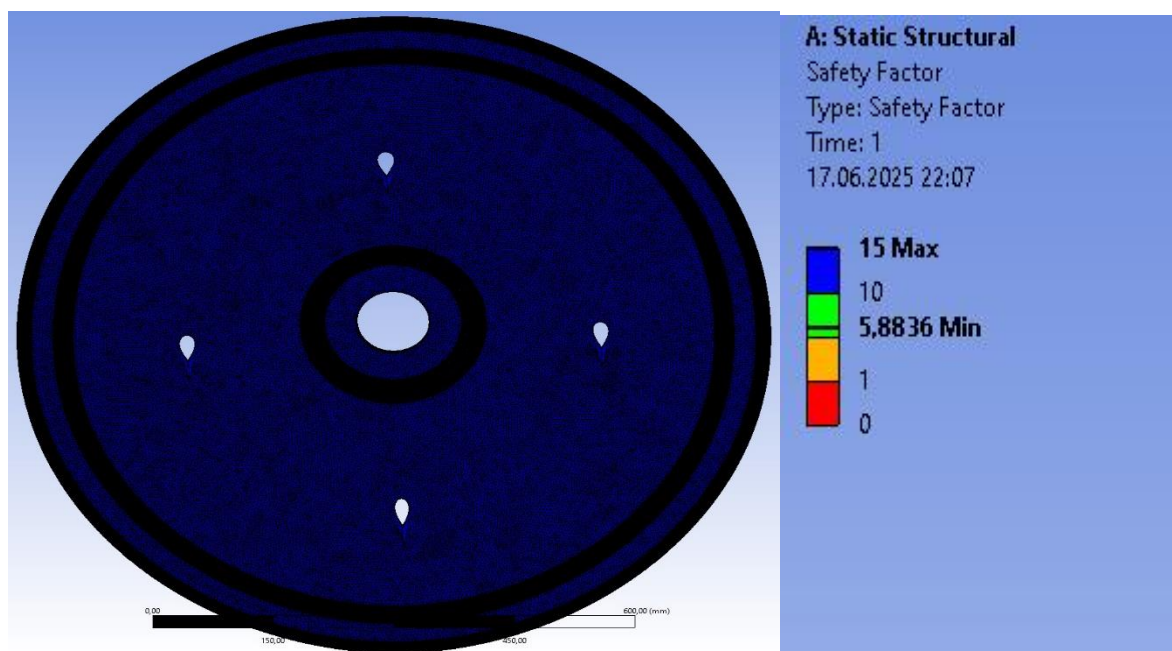


Рисунок 6.8 — Запас міцності

Максимальні результати:

- Еквівалентне напруження: $\sigma = 133,42$ МПа
- Максимальна деформація: $= 0,035457$ мм
- Коефіцієнт запасу міцності: $= 5,8$

Розрахунок свідчить про значний запас міцності конструкції. Напруження знаходяться у безпечному діапазоні для сталі 40Х, що підтверджує працездатність елемента при нормальних експлуатаційних навантаженнях.

Аналіз показав, що маточина має достатню жорсткість і може витримувати навантаження, що перевищують номінальні значення, без ризику деформацій або руйнування.

Висновок

У результаті 3D-моделювання та числового аналізу встановлено, що модернізована маточина котка володіє достатнім запасом міцності та відповідає вимогам експлуатаційної безпеки. Отримані дані підтверджують доцільність обраної конструкції, її довговічність, стійкість до навантажень та економічну ефективність у промисловому застосуванні.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

Тема дипломної роботи: Бігуни сухого помолу з модернізацією котків. Мета розділу: Встановити вимоги охорони праці під час експлуатації машини типу «бігуни сухого помолу» з метою забезпечення безпеки персоналу, попередження нещасних випадків, та зниження негативного впливу на довкілля. Приміщення — операторська дільниця площею 30 м² з об'ємом 75 м³. У відповідності до вимог ДБН В.1.2-14:2021 [12] та ДСН 3.3.6.042-99 [13], виробничі приміщення повинні відповідати санітарно-гігієнічним та протипожежним нормам. У приміщенні встановлено 1 вогнегасник типу ВП-5. Робоче місце передбачає постійне перебування працівника, виконання зорovo напруженої роботи, тому висувуються додаткові вимоги до умов праці, зокрема мікроклімату, шуму та освітлення.

Бігуни сухого помолу — це обладнання, призначене для подрібнення матеріалів методом роздавлювання та стирання між котками й чашею. У процесі їх роботи працівники зазнають впливу ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зокрема:

- підвищений рівень шуму від приводу й механічних вузлів;
- пилоутворення при помелі сухих речовин;
- небезпека ураження електричним струмом;
- травмування об обертові частини;
- високі динамічні навантаження та вібрації;
- ризик пожежі від легкозаймистих частинок у повітрі.

6.1. Виробничий шум

Бігуни створюють підвищений рівень шуму (до 90–95 дБА), що може призвести до зниження слуху та підвищеної втоми персоналу.

Заходи захисту:

- звукоізолюючі кожухи на редукторі й приводі;
- шумопоглинаючі панелі навколо робочої зони;

- використання ЗІЗ: протишумові навушники або беруші;
- ротація персоналу;
- регулярне змащення та технічне обслуговування.

З метою мінімізації шкідливого впливу шуму рекомендовано використовувати навушники 3М PELTOR Optime III, які знижують рівень шуму до 35 дБА. Ці засоби мають сертифікат відповідності та широко застосовуються у виробництві.

Норматив: ДСН 3.3.6.037-99 [14], граничний рівень — 80 дБА.

6.2. Електробезпека

Установка живиться від мережі 380 В, має електропривід потужністю 45 кВт. Приміщення відноситься до класу з підвищеною електробезпекою.

Захисні заходи:

- заземлення всіх металевих частин;
- установка УЗО та автоматичних вимикачів;
- перевірка ізоляції кабелів;
- використання діелектричних рукавиць та взуття;
- проведення інструктажів згідно з ДСТУ 7237:2011 [15].

Дотримання електробезпеки є обов'язковим елементом безпечного функціонування обладнання. Виконання цих заходів забезпечує мінімізацію ризику ураження працівників електричним струмом.

6.3. Пожежна безпека

При помелі пилу можливе накопичення легкозаймистих частинок, що створює ризик вибуху або займання.

Для зниження пожежної небезпеки реалізується комплекс попереджувальних заходів відповідно до НАПБ А.01.001-2014 [16] та ДБН В.1.1-7:2016. [17]

Комплекс запобіжних дій:

- іскрогасники на приводах;
- система пилопригнічення;
- наявність вогнегасників типу ВП-5 згідно з ДСТУ EN 3-7:2016 [18];

- пожежний щит;
- регулярне прибирання пилу;
- категорія приміщення — В, клас II-IIa (відповідно до ДСТУ 8828:2019).

6.4. Виробниче освітлення

Для візуального контролю завантаження та стану бігунів потрібне освітлення не менше 300 лк.

Забезпечується за рахунок:

- світлодіодних світильників потужністю 20–40 Вт;
- аварійного освітлення;
- очищення плафонів 1 раз на місяць.

Окрім кількісних показників освітлення, важливим є рівномірний розподіл світла та відсутність пульсацій, які можуть викликати втоми очей. Також рекомендується зоровий режим праці: перерва кожні 60 хв на 10–15 хвилин. Норма: ДБН В.2.5-28:2018 [19].

6.5. Повітря робочої зони

Під час сухого помолу виникає значне пилоутворення, яке шкодить органам дихання.

Заходи:

- місцева витяжна вентиляція над чашею бігунів;
- загальнообмінна вентиляція з 5-кратним повітрообміном;
- вологе прибирання 2 рази на зміну;
- застосування респіраторів типу FFP2;
- контроль за допомогою аерозольного моніторингу.

Забезпечення якості повітря є одним з пріоритетів санітарно-гігієнічних вимог.

Регулярний контроль складу пилу допомагає вчасно виявити перевищення допустимих концентрацій.

Нормативний документ: «Згідно з **Наказом МОЗ України від 10.05.2024**

№ 813 «Про затвердження державних медико-санітарних нормативів

допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів». []

Висновок

Виконання вимог охорони праці при роботі з бігунами сухого помолу забезпечує безпечні умови для персоналу, зменшує ризик аварій, професійних захворювань та сприяє стабільній і продуктивній експлуатації обладнання. Комплексний підхід до організації праці дозволяє зберегти здоров'я працівників, продовжити строк служби обладнання і відповідає чинним нормативам охорони праці.

8. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

8.1 Опис і призначення деталі

Деталь типу «Шайба» застосовується в машинобудуванні як елемент, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження, фіксацію з'єднання або компенсацію зазорів у вузлах з болтовими та шпильковими з'єднаннями. У конструкції, до якої належить шайба, вона виконує роль опорної деталі з точними геометричними параметрами.

Деталь має форму плоского кільця з зовнішнім діаметром $\varnothing 80$ мм, внутрішнім $\varnothing 40$ мм та загальною товщиною 10 мм. На торцевих поверхнях виконано чотири фаски під кутом 45° : дві зовнішні ($1 \times 45^\circ$) та дві внутрішні ($2 \times 45^\circ$), що полегшують монтаж у вузлі та зменшують ризик концентрації напружень у місцях переходу.

Для забезпечення достатньої механічної міцності, стабільності при навантаженнях та зносостійкості, обрано матеріал — сталь 45 згідно з ГОСТ 1050-2013. Це вуглецева конструкційна сталь, яка добре піддається термічній обробці, має високу міцність і зносостійкість.

Заготовку виготовляють із круглої гарячекатаної сталі діаметром $\varnothing 85$ мм. Довжина заготовки становить 12–13 мм з урахуванням припусків на механічну обробку. Попередня маса заготовки — близько 0,3–0,4 кг. Коефіцієнт використання матеріалу становить ~ 0.80 , що є прийнятним для деталей такого типу.

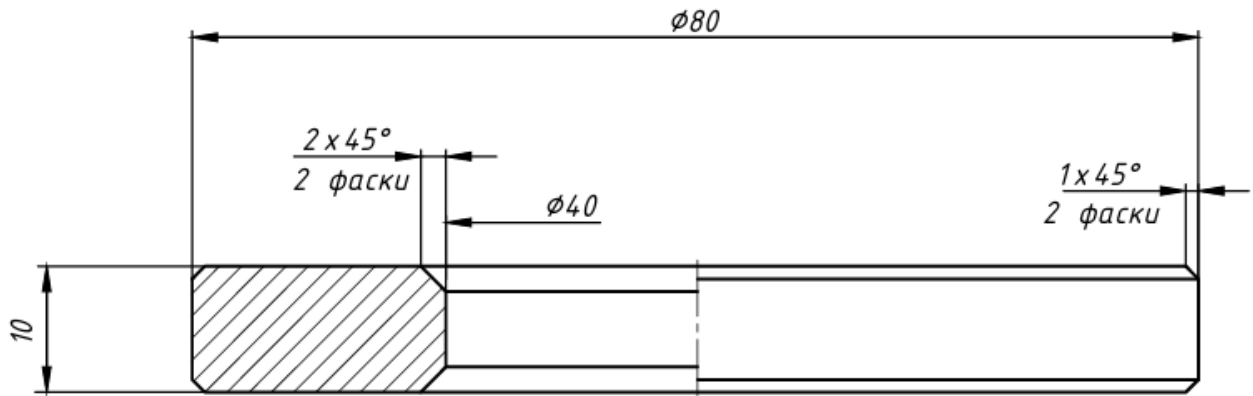


Рисунок 7.1 – заготовка шайби

Основне обладнання:

- **Токарний верстат 1К62** — для обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь, торців, а також формування фасок.

Технологічний маршрут:

1. Точіння одного торця та встановлення розмірної товщини 10 мм;
2. Проточування зовнішнього діаметра Ø80 мм;
3. Проточування внутрішнього отвору Ø40 мм (посадка H7 або h9 — залежно від вимог);
4. Зняття двох фасок $1 \times 45^\circ$ по зовнішньому діаметру;
5. Зняття двох фасок $2 \times 45^\circ$ по внутрішньому отвору;
6. Шліфування торців (за необхідності) до шорсткості Ra 1.6–3.2 мкм.

Інструмент та режими різання:

- **Різці з твердого сплаву T15K6** — для чорнової та чистової обробки;
- **Швидкість різання:** 80–100 м/хв;
- **Подача:** 0,2 мм/об;
- **Глибина різання:** до 1,5 мм на чорнових переходах, до 0,5 мм на чистових.

Вимоги до якості:

- **Допуски:** внутрішній Ø40 мм — H7, зовнішній Ø80 мм — h11;
- **Шорсткість поверхонь:** Ra 3.2–6.3 мкм;
- **Фаски:** витримані згідно з кресленням ($1 \times 45^\circ$ та $2 \times 45^\circ$).

7.2 Призначення пристосування для обробки деталі

Для забезпечення точності обробки торцевих поверхонь, зовнішнього та внутрішнього діаметрів шайби, а також фасок, використовується універсальне токарне пристосування — 3-кулачковий патрон токарного верстата. Це стандартне оснащення дозволяє надійно фіксувати заготовку під час виконання усіх необхідних токарних операцій.

Особливості пристосування:

- **Тип:** стандартний самозажимний 3-кулачковий патрон;
- **Базування заготовки:** по зовнішній циліндричній поверхні або по внутрішньому отвору Ø40 мм, залежно від послідовності обробки;
- **Фіксація:** відбувається за рахунок рівномірного затиску кулачками з компенсацією можливого биття;
- **Додаткові елементи:** за необхідності можуть застосовуватись розпірні втулки або призматичні центрувальні опори для жорсткого позиціонування заготовки.

Призначення та ефективність:

Використання стандартного токарного патрона дозволяє:

- Забезпечити надійне і жорстке закріплення заготовки при обертанні;
- Досягти необхідної співвісності оброблюваних поверхонь;
- Забезпечити стабільну якість при серійному або дрібносерійному виробництві;
- Мінімізувати похибки при обробці внутрішнього отвору, торців та фасок.

Такий підхід є оптимальним для обробки плоских деталей типу шайб, оскільки не потребує спеціального оснащення або додаткового налаштування. Матеріалом базового оснащення є конструкційна легована сталь, а ресурс

патрона та кулачків залежить від умов експлуатації, проте у нормальних режимах складає понад 10 000 встановлень.



Рисунок 7.2 – 3-х кулачний патрон [21]



Рисунок 7.3 - Токарно-гвинторізний верстат по металу [22]

На схемі зображено розміщення сил, що діють при затисканні деталі у пристосуванні. Центрування та притискання забезпечують жорстку фіксацію, виключаючи осьові та радіальні зсуви. Це дозволяє досягти точного співпадіння отворів з віссю свердла та уникнути додаткових похибок при механічній обробці.

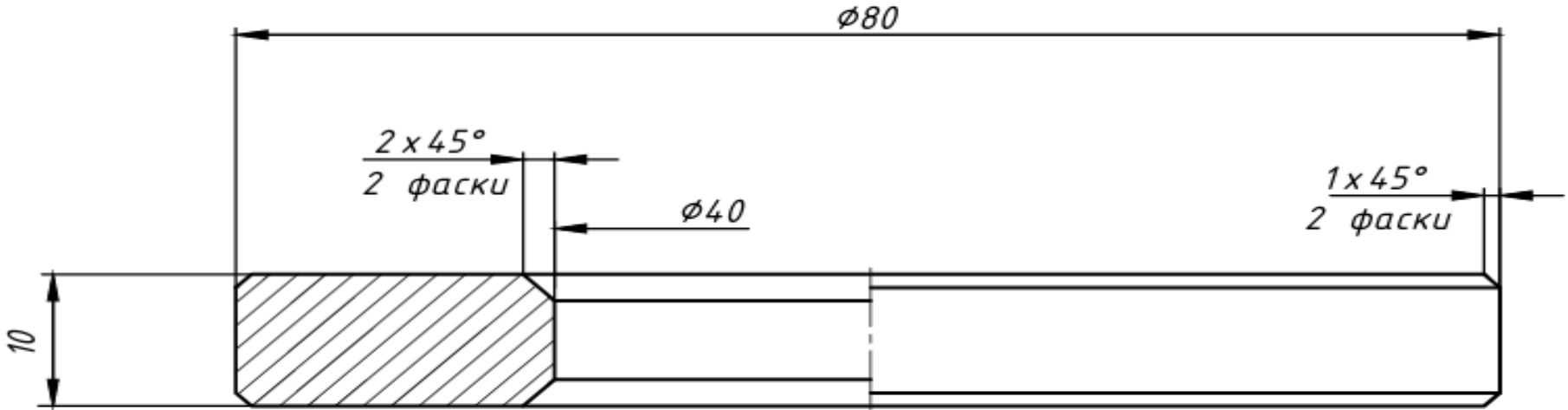
Дубл.																			
Взамін.																			
Підпис																			
Розробив	Кривоконь					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ													
Перевірів	Борищук																		
Н. контр.										Шайба					Н				
M01	Сталь 38Х2МЮА ДСТУ 7809:2015																		
	Код		ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри			КД	МЗ						
M02			К2	0.4	1		0,8					1	12						
A	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції				Позначення документу										
B	Код, найменування обладнання				См	Проф.	P	Уп	Кр	Коод	Он	Он	Куит	Тп.з	Т.лит				
A01				005	3708 Токарна				SHB100.00001; SHB100.00001; 10ПІ№01-01										
B02	38261.1234 Токарний верстат з ЧПУ 16K20Ф3					18632	3	10	1	1	1	12	1	1					
03																			
A04				010	3708 Токарна				SHB100.00002; SHB100.00002; 10ПІ№01-02										
B05	38261.1234 Токарний верстат з ЧПУ 16K20Ф3					18632	3	10	1	1	1	12	1	1					
06																			
A07				015	4233 Свердлильна				SHB100.00003; SHB100.00003; 10ПІ№01-03										
B08	38261.XXXX Свердлильний верстат НС-16					18632	3	10	1	1	1	12	1	1					
09																			
A10																			
B11																			
12																			
A13																			
B14																			
15																			
A16																			
B17																			
МК	Обробка різанням																		

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

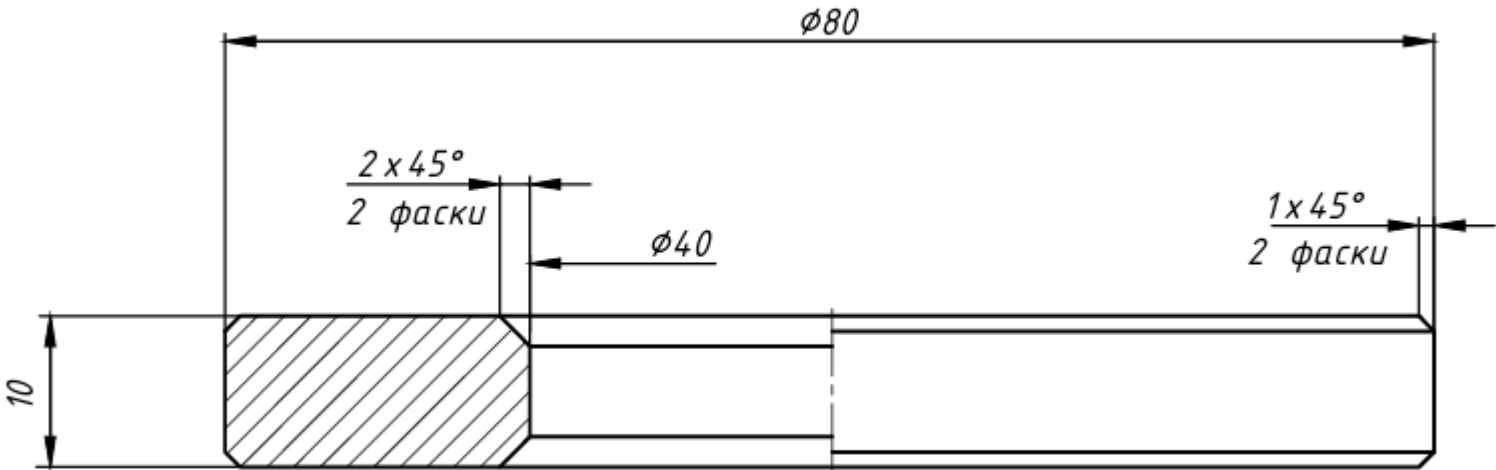
Розробив	Кривоконь			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		005			
Перевірів	Борицьк								
				Шайба			Н		
Н. контр.									



KE	Обробка різанням								
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.														
Взамін.														
Підпис									Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата	

Розробив	Кривоконь			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ						010		
Перевірів	Борицький											
					Шайба					Н		
Н. контр.												



Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

Розробив	Кривоконь			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ					
Перевірів	Борицьк								
Н. контр.				Шайба			Н		005

Назва операції				Матеріал	
Токарна				Сталь 38Х2МЮА ДСТУ 7809:2015	
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ
	к2	0.4			12
Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми	
Токарно-револьверний верстат ІГ325					
То	Тд	Тп.з	Тит.	МОР	
				Емульсія	

P		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1. Точити торець, витримуючи товщину 10 мм								
T02	2. Обробити бурт висотою 40 мм								
03	3. Проточити зовнішній діаметр Ø80 мм								
O04	4. Проточити внутрішній отвір Ø40 мм (посадка H7)								
T05	5. Зняти фаски: 2×45° внутрішні та 1×45° зовнішні								
T06	6. Шліфування торця (за потреби, для Ra 3.2)								
P07									
08									
09									

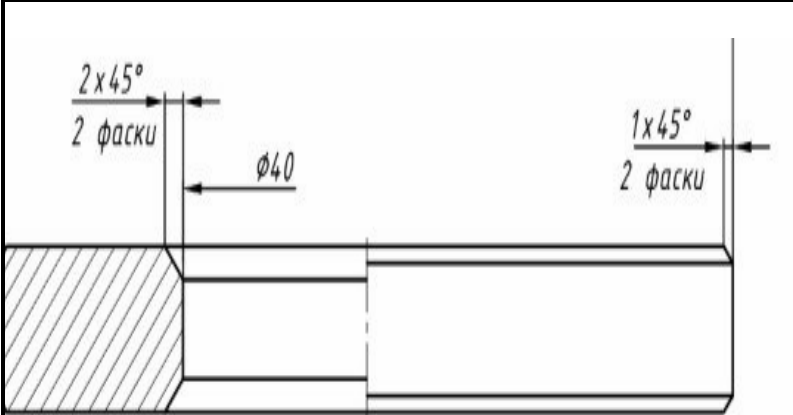
OK	Обробка різанням									
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.										
Взамін.										
Підпис										

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Розробив	Кривоконь			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ						
Перевірів	Борицьк									

Н. контр.				Шайба					Н	010
-----------	--	--	--	-------	--	--	--	--	---	-----



Назва операції				Матеріал		
Токарна				Сталь 38Х2МЮА ДСТУ 7809:2015		
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод
	к2	0.4			12	1
Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми		
Токарно-револьверний верстат ЧПУ 16К20Ф3						
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР		
				Емульсія		

Р		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1. Точити торець, витримуючи товщину 10 мм								
T02	2. Проточити зовнішній Ø80 мм°								
03	3. Розточити внутрішній Ø40 мм (H7)								
O04	4. Зняти фаски: зовнішню 1×45°, внутрішні 2×45°								
T05									
T06									
P07									
08									

09									
OK	Обробка різанням								

ВИСНОВКИ

Модернізація бігуна сухого помолу шляхом вдосконалення конструкції котка є ефективним напрямом підвищення експлуатаційних характеристик обладнання, що позитивно впливає на стабільність та якість технологічного процесу помелу мінеральної сировини. У межах дипломного проєкту було проаналізовано проблеми, пов'язані з надмірним зношенням робочих елементів, нерівномірністю подрібнення, вібраційними навантаженнями та зниженням продуктивності бігунів.

Запропоноване технічне рішення полягає у модернізації котка, що передбачає зміну його геометрії та матеріалу виготовлення. Новий конструктив забезпечує рівномірніший розподіл навантажень по площі контакту з подрібнюваним матеріалом, зменшує втрати енергії, підвищує зносостійкість та стабільність помелу. Проведені розрахунки підтвердили доцільність такого вдосконалення, зокрема за показниками питомих зусиль, моменту опору та навантаження на підшипникові вузли.

Для перевірки ефективності модернізації було побудовано тривимірну модель у середовищі SolidWorks та проведено аналіз міцності елементів у ANSYS. Результати моделювання показали зниження концентрації напружень і рівномірний розподіл деформацій по поверхні котка. У графічній частині проєкту подано комплект креслень, включаючи оновлений вигляд бігуна, креслення котка, а також технологічну схему з використанням процесу сухого помолу.

Таким чином, модернізований бігун із вдосконаленим котком демонструє вищу надійність, енергоефективність та технологічну продуктивність. Розроблене рішення є доцільним для впровадження на підприємствах, що здійснюють помел вапнякових та мінеральних матеріалів, зокрема в галузі виробництва будівельних сумішей, цементу й мінеральних добрив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Назаренко І.І. Машини і устаткування підприємств будівельних матеріалів: Конструкції та основи експлуатації: Підручник / І.І. Назаренко, О.В. Тумановська. – К.: Вища школа, 2004. – 590 с.
2. Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів: навч. посібник / А.І. Дубинін, В.М. Атаманюк, В.П. Дулеба, Д.М. Симак; за ред. проф. А.І. Дубиніна. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 292 с.
3. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібноштучних стінових виробів: Навч. посібник / О.Г. Савченко. – Харків: Тимченко, 2006. – 416 с.
4. Сівко В.І. Обладнання підприємств промислових будівельних матеріалів і виробів: Підручник / В.І. Сівко, В.А. Поляченко. – К.: ТОВ «АВЕГА», 2004. – 280 с.
5. Сівко В.І. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: Підручник / В.І. Сівко. – К.: ІСДО, 1994. – 359 с.
6. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с
7. Коток бігунів: пат. 89171 Україна. № u201313533; заявл. 03.04.2012; опубл. 10.06.2012, Бюл. № 7. — 4 с.
8. Коток бігунів: пат. 75097 Україна / І. О. Мікульонок; № u201204130; заявл. 03.04.2012. опуб. 26.11.2012, Бюл.№ 22. 4с
9. Коток бігунів: пат. 89171 Україна. № u 2013 13533; заявл. 21.11.2013; опубл. 29.04.2020.
10. Коток бігунів: пат. 77355 Україна. № u 2012 09372; заявл. 31.07.2012 3; опубл. 11.02.2013. Бюл.№ 3
11. БІГУНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ГЛИНИ: пат. 124594 Україна. № u 2017 12160; заявл 11.12.2017; опубл. 10.04.2018. . Бюл.№ 7
12. ДБН В.1.2-11:2021 Основные требования к зданиям и сооружениям. Энергосбережение и энергоэффективность.
13. ДСН 3.3.6.042-99 : Державні санітарні норми мікроклімату виробничих
14. ДСН 3.3.6.037-99 : Державні санітарні норми допустимого рівня шуму на

робочих місцях. — Затверджено МОЗ України

15. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки труда.

Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ДСН 3.3.6.037-99 : Державні санітарні норми допустимого рівня шуму на робочих місцях. — Затверджено МОЗ України.

16. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 : Захист від пожежі. Класифікація будівельних об'єктів.Класифікація приміщень за пожежною небезпекою

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 : Захист від пожежі. Класифікація будівельних об'єктів. Класифікація приміщень за пожежною небезпекою

18. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Сівецький В.І. Іжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'яжучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720>

19. Приказ от 03.10.2018 № 264 Об утверждении ДБН В.2.5-28:2018 Естественное и искусственное освещение

20. Правила пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС України від 30.12.2014№ 1417. — Зареєстровано в Мін'юсті 05.03.2015 за № 252/26697.

21. Щербина В.Ю., Лелека С.В., Безверхий І.О. Методологія проектування. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 119 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67997>

22. Офіційний каталог 9craft [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://9craft.com.ua/ua/p1632456959-tokarno-vintoreznyj-stanok.html>

23. Офіційний сайт MetalRez: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://tool-shop.com.ua/patron-tokarnyy-3-kh-kulachkovyy-160-mm-Bison/>

Таблиця розглянутих патентів

№	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, організація, автор	Суть заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1	Коток бігунів	Україна НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ № 2004042556, кл. B02C15/00 2004 рік Мікульонок Ігор Олегович	Бігуни, відрізняються тим, що валок з боку завантажувальної камери має ділянку, оснащену рифлями
2	Коток бігунів	Україна НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ № 2004010671, кл. B02C15/00, 2004 рік Гулковський Денис Павлович Большаков Вадим Іванович	Бігуни, що містять чашу з розташованими в ній котками з осями обертання і привідним валом, з'єднаним із котками системою кривошипів і шарнірів, які відрізняються тим, що шарнір, що з'єднує кожен коток із своїм кривошипом, виконаний у вигляді роликового

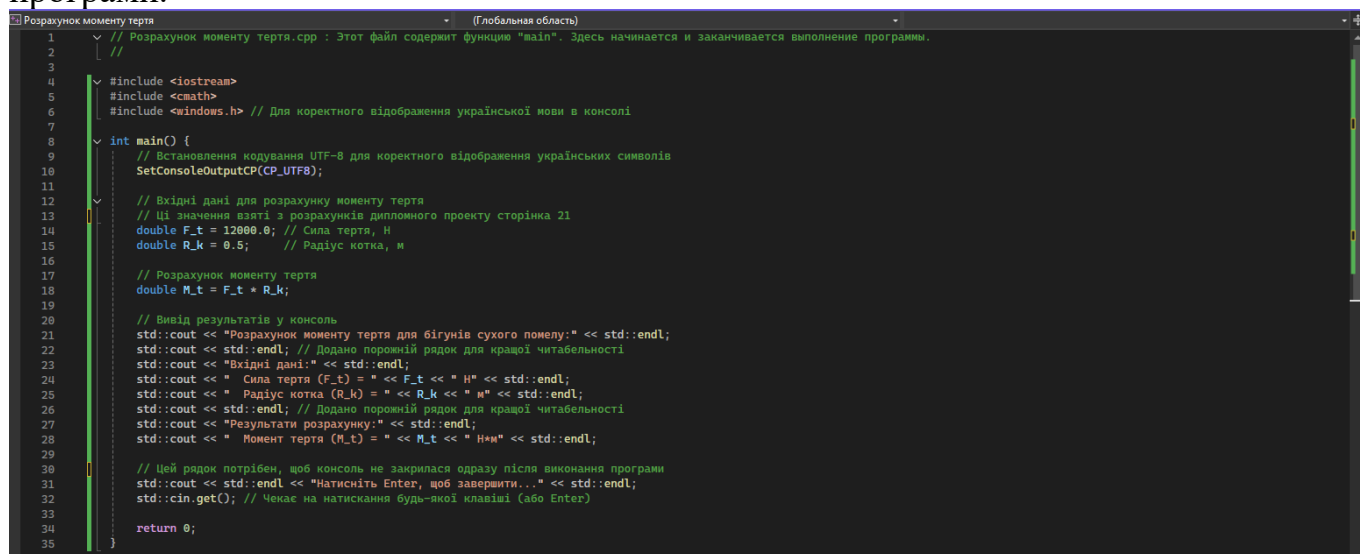
			радіального сферичного підшипника, встановленого на перетинанні горизонтальної й вертикальної осей симетрії котка.
3	Бігуни сухого помелу	Україна НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ № u201209372 , 2013 рік, кл. B02C15/14 Мікульонок Ігор Олегович	Модернізована модель відрізняється тим, що нерухому чашу виконано у вигляді сукупності розміщених із зазором одна відносно одної вертикальних пластин, які згруповано в чотири розбірні секції прямокутної або квадратної форми, при цьому центральну порожнисту частину нерухомої чаші утворено зміщенням зазначених секцій між собою

4	Коток бігунів	Україна НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ № u201204130, 2012 рік, кл. B02C15/14 Мікульонок Ігор Олегович	Коток бігунів, що містить маточину й закріплюваний на ній знімний обід, який відрізняється тим, що на маточині закріплено знімні вантажі. 2. Коток за п. 1, який відрізняється тим, що знімні вантажі закріплено симетрично відносно осі маточини
5	Коток бігунів	Україна УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ № u201313533, 2014 рік, кл. B02C15/14 Гайворонський Віктор Федорович	Коток бігунів, який складається із кам'яного бандажа, втулки з відігнутими по торцях пелюстками, торцевих дисків з клиновими елементами, шпильок, маточини, кришки, осі, чаші з решіткою, який відрізняється тим, що кам'яні бандажі виконані у вигляді дисків, які набираються на

			маточині та виконанні з урахуванням зміни ширини котка бігунів
6	Коток бігунів	Україна ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ u202102887 2021 B22C11/00 Скрипник Олександр Вікторович Свяцький Володимир Вячеславович	Змішуючі бігуни відрізняються тим, що траверсу оснащено додатковими плужками, розташованими нижче рівня висоти шару суміші

Додаток Б

В додатку Б наведено фото(рис 1) коду програми в visual studio 22, та сам код програми.



```

1 // Розрахунок моменту тертя
2 //
3
4 #include <iostream>
5 #include <cmath>
6 #include <windows.h> // Для коректного відображення української мови в консолі
7
8 int main() {
9     // Встановлення кодування UTF-8 для коректного відображення українських символів
10    SetConsoleOutputCP(CP_UTF8);
11
12    // Вхідні дані для розрахунку моменту тертя
13    // Ці значення взяті з розрахунків дипломного проекту сторінка 21
14    double F_t = 12000.0; // Сила тертя, Н
15    double R_k = 0.5; // Радіус котка, м
16
17    // Розрахунок моменту тертя
18    double M_t = F_t * R_k;
19
20    // Вивід результатів у консоль
21    std::cout << "Розрахунок моменту тертя для бігунів сухого помелу:" << std::endl;
22    std::cout << std::endl; // Додано порожній рядок для кращої читабельності
23    std::cout << "Вхідні дані:" << std::endl;
24    std::cout << " Сила тертя (F_t) = " << F_t << " Н" << std::endl;
25    std::cout << " Радіус котка (R_k) = " << R_k << " м" << std::endl;
26    std::cout << std::endl; // Додано порожній рядок для кращої читабельності
27    std::cout << "Результати розрахунку:" << std::endl;
28    std::cout << " Момент тертя (M_t) = " << M_t << " Н*м" << std::endl;
29
30    // Цей рядок потрібен, щоб консоль не закрилася одразу після виконання програми
31    std::cout << std::endl << "Натисніть Enter, щоб завершити..." << std::endl;
32    std::cin.get(); // Чекає на натискання будь-якої клавіші (або Enter)
33
34    return 0;
35 }

```

Рисунок 1 – Код в visual studio 22

Код програми

```

#include <iostream>
#include <cmath>
#include <windows.h> // Для коректного відображення української мови в консолі

int main() {

```

```

// Встановлення кодування UTF-8 для коректного відображення українських
символів
SetConsoleOutputCP(CP_UTF8);
// Вхідні дані для розрахунку моменту тертя
// Ці значення взяті з розрахунків дипломного проекту сторінка 21
double F_t = 12000.0; // Сила тертя, Н
double R_k = 0.5;    // Радіус котка, м

// Розрахунок моменту тертя
double M_t = F_t * R_k;

// Вивід результатів у консоль
std::cout << "Розрахунок моменту тертя для бігунів сухого помелу:" << std::endl;
std::cout << std::endl; // Додано порожній рядок для кращої читабельності
std::cout << "Вхідні дані:" << std::endl;
std::cout << " Сила тертя (F_t) = " << F_t << " Н" << std::endl;
std::cout << " Радіус котка (R_k) = " << R_k << " м" << std::endl;
std::cout << std::endl; // Додано порожній рядок для кращої читабельності
std::cout << "Результати розрахунку:" << std::endl;
std::cout << " Момент тертя (M_t) = " << M_t << " Н*м" << std::endl;

// Цей рядок потрібен, щоб консоль не закрилася одразу після виконання програми
std::cout << std::endl << "Натисніть Enter, щоб завершити..." << std::endl;
std::cin.get(); // Чекає на натискання будь-якої клавіші (або Enter)

return 0;

```

Специфікації

Додаток Г

Форма	Зона	Поз.	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кіл.	Примітка.
				<u>Документація</u>	1	
A1			ЛП-12.063116.002-70ТС	Технологічна схема		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Склад глини	1	
		2		Завантажувач	1	
		3		Ящичний живильник	1	
		4		Вальці для видалення камаїння	1	
		5		Транспортери	3	
		6		Сушильний барабан	1	
		7		Глинозапасник	1	
		8		Бігуни сухого помелу	1	
		9		Елеватор	1	
		10		Вібросито	1	
		11		<u>Бункер</u>	1	
		12		Живильник	1	
		13		Змішувач	1	
		14		Прес	1	
		15		Пічна вагонетка з сирцем	1	
		16		Електропередавальний візок	2	
		17		Сушило	4	
I	Лис	№ Докум.	Підп.	Дат	ЛП12.063116.01-70ТД	
Розр	Кривоконь Н. В.					
Пере	Шилович Т.Б.					
Т.						
Н.ко						
Затв.	Сокольський О.Л.				Лінія виробництва керамічної цегли	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ	
					Лит.	Арку
						1

[illegible]