

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри М та ЛВ  
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК  
(прізвище та ініціали)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026\_\_ р.

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:

**«Маятниковий змішувач  
продуктивністю 25 м<sup>3</sup>/год»**

**«Pendulum mixer with a capacity of  
25 m<sup>3</sup>/h»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи \_\_\_\_\_ ПМ-22з-1

Юлія Талишева

(прізвище та ініціали)

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальності G9 Прикладна механіка

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

Олександр СКРИПНИК

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали)

Кропивницький – 2026

**Центральноукраїнський національний технічний університет**  
**Факультет** **Механіко-технологічний**  
**Кафедра** **Матеріалознавства та ливарного виробництва**  
**Рівень вищої освіти** **перший (бакалаврський)**  
**Галузь знань** **G Інженерія, виробництво та будівництво**  
**Спеціальність** **G9 Прикладна механіка**  
**Освітньо-професійна програма** **Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк**

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Завідувач кафедри М та ЛВ  
 \_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
 ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
 ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Талишева Юлія Сергіївна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Маятниковий змішувач продуктивністю 25 м<sup>3</sup>/год
2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
 затверджені наказом вищого навчального закладу від "13" 03 2026 року № 168-02
3. Строк подання роботи до захисту 17.06.2026
4. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_  
 – завдання на бакалаврську роботу, \_\_\_\_\_  
 – матеріали переддипломної практики; \_\_\_\_\_  
 – державні стандарти та технічні нормативи \_\_\_\_\_
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз існуючих типів обладнання для приготування формувальних і стержньових сумішей, опис конструкції та принципу роботи маятникового змішувача, розрахунок технологічних параметрів машини, розрахунок основних елементів приводу
6. Перелік графічного матеріалу: \_\_\_\_\_  
 1. Маятниковий змішувач (лист 1)  
 2. Маятниковий змішувач (лист 2)

7. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Проектування змішувача	Скрипник О. В.		

8. Дата видачі завдання 10.03.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих типів обладнання для приготування формувальних і стержньових сумішей	25.03.2026	
2	Опис конструкції та принципу роботи маятникового змішувача	1.04.2026	
3	Розрахунок технологічних параметрів машини	9.04.2026	
4	Визначення маси катка	15.04.2026	
5	Розрахунок основних елементів приводу	21.04.2026	
6	Перевірочний розрахунок циліндричних коліс редуктора на згин	7.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.05.2026	
8	Оформлення презентації роботи	25.05.2026	
9	Здача роботи на кафедрі та перевірка наявності запозичень	10.06.2026	

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (Олександр СКРИПНИК)  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ (Юлія ТАЛИШЕВА)  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 47 с., 19 рис., 5 табл., 15 джерел.

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих конструкцій машин, описано конструкцію та принцип роботи маятникового змішувача, розраховано основні конструкторсько-технологічні параметри робочого процесу машини, приведено розрахунок на міцність елементів конструкції.

Об'єкт розробки - проектування маятникового змішувача.

Предмет розробки - визначення конструктивних та технологічних параметрів маятникового змішувача.

Результати проектування - спроектовано маятниковий змішувач продуктивністю 25 м<sup>3</sup>/год.

Отримані в ході розробки результати можуть бути успішно використані при приготуванні стержневих та формувальних сумішей в серійному та масовому виробництві.

## **СТЕРЖНЕВІ ТА ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ, МАЯТНИКОВИЙ ЗМІШУВАЧ, ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ, МАСА КАТКА, РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДУ**

## ABSTRACT

The explanatory note consists of 47 pages, 19 figures, 5 tables, and 15 references.

This bachelor's thesis analyzes existing machine designs, describes the design and operating principle of a pendulum mixer, calculates the main design and technological parameters of the machine's operating process, and provides strength calculations for structural components.

The subject of the study is the design of a pendulum mixer.

The subject of the development is the determination of the design and technological parameters of the pendulum mixer.

Design results: a pendulum mixer with a capacity of 25 m<sup>3</sup>/h has been designed.

The results obtained during the development can be successfully used in the preparation of core and molding mixtures in serial and mass production.

**CORE AND MOLDING MIXTURES, PENDULUM MIXER,  
TECHNICAL SPECIFICATIONS, ROLLER WEIGHT, CALCULATION OF  
DRIVE COMPONENTS**

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	10
1 Аналіз існуючих типів обладнання для приготування формувальних і стержньових сумішей.....	12
1.1 Змішуючі ливарні бігуни з вертикальними котками.....	12
1.2 Відцентрові змішуючі бігуни.....	13
1.3 Лопаткові змішувачі.....	16
1.4 Інші типи змішувачів.....	19
2 Опис конструкції та принципу роботи маятникового змішувача.....	22
3 Розрахунок технологічних параметрів машини.....	27
3.1 Розрахунок кінематичної схеми та вибір електродвигуна.....	27
3.2 Розрахунок потужності електродвигуна.....	30
3.3 Визначення маси катка.....	33
4 Розрахунок основних елементів приводу.....	34
4.1 Перевірочний розрахунок конічних і циліндричних колес.....	35
4.1.1 Перевірочний розрахунок конічних коліс редуктора.....	36
4.1.2 Розрахунок конічних коліс на довговічність по контактним напруженням.....	39
4.1.3 Перевірочний розрахунок циліндричних коліс редуктора на згин.....	40
Висновки.....	44
Література.....	45
Додатки.....	47

## ВСТУП

Перед машинобудівною промисловістю поставлені великі завдання по інтенсифікації і корінному технічному переоснащенню ливарного виробництва. Для виконання цих завдань передбачається впровадження ресурсозберігаючих технологій на базі нового високопродуктивного ливарного устаткування, створення гнучких виробничих систем і ліній, що базуються на безвідходній технології і інтегрованих з АСУТП, АРМ; впровадження роботів і маніпуляторів, закриття або переоснащення цехів, дільниць з низькими техніко-економічними показниками і незадовільними умовами праці і впровадження розрахункових методів в управлінні ливарним виробництвом; покращення підготовки робочих і ІТР, перепідготовка кадрів; атестація цехів, технологічних процесів, робочих місць.

Приготування формувальних та стержневих сумішей є критичним етапом ливарного виробництва, від якого безпосередньо залежить якість майбутнього вилівка [1]. Цей процес являє собою складну фізико-механічну взаємодію вогнетривкого наповнювача, сполучних матеріалів та спеціальних добавок, спрямовану на створення гомогенної маси з заданими технологічними властивостями.

Для виготовлення 1 тони відливок потрібно від 5,2 до 12,8 тон формівної суміші. Формівні матеріали і суміші складають 50 % усіх вантажних потоків ливарного виробництва. Тому дуже важливо, щоб система виготовлення та розподілу формівної суміші базувалась на сучасному високотехнологічному обладнанні [2]. Представником такого обладнання є маятниковий змішувач.

Маятникові змішувачі (також відомі як вібраційні або редукторні змішувачі періодичної дії) займають особливу нішу в ливарному виробництві, особливо при приготуванні холоднотвердіючих сумішей (ХТС). Основними перевагами їх використання є:

1. висока інтенсивність перемішування. Завдяки специфічній траєкторії руху робочих органів, маятникові змішувачі забезпечують швидке та рівномірне

розношення сполучних матеріалів (смола, каталізаторів) по поверхні піщинок. Це дозволяє отримати однорідну суміш за короткий проміжок часу;

2. економія сполучних матеріалів. Ефективна механіка тертя та перемішування дозволяє знизити відсоток введення дорогих смол без втрати міцності форми. Навіть тонкий шар сполучного рівномірно розподіляється по всій масі наповнювача;

3. мінімальний нагрів суміші. На відміну від швидкісних лопатевих змішувачів, маятникові механізми менше нагрівають пісок у процесі приготування. Це критично важливо для ХТС-процесів, оскільки підвищення температури скорочує «живучість» суміші (час, протягом якого вона залишається придатною для формування);

4. універсальність та надійність:

а. Ремонтпридатність. Конструкція маятникових вузлів зазвичай простіша в обслуговуванні;

б. Зносостійкість. Робочі елементи часто виготовляються зі спеціальних сплавів або мають наплавлення, що важливо при роботі з абразивним кварцовим піском;

5. якість поверхні вилівка. Завдяки кращій гомогенізації суміші, готові форми мають стабільну газопроникність та міцність. Це безпосередньо впливає на зменшення кількості ливарних дефектів, таких як пригар або газові раковини.

Маятникові змішувачі є оптимальним вибором для сучасних ливарних цехів, які орієнтовані на високу якість форм при мінімізації витрат. Їхнє використання дозволяє досягти стабільності технологічного процесу, що особливо важливо при виготовленні відповідальних виливків.

# 1 Аналіз існуючих типів обладнання для приготування формувальних і стержньових сумішей

## 1.1 Змішуючі ливарні бігуни з вертикальними катками

Змішуючі бігуни (рис. 1.1) здебільшого представляють нерухому чашу 1 із плужками, що переміщуються в ній, 5, 6 і катками 2, що сидять на траверсі, яка обертається вертикальним валом 3. При переміщенні катки захоплюються тертям за шар матеріалу на дні чаші, обертаються навколо своїх осей 4, ущільнюючи матеріал, який направляється під котки за допомогою плужків. Готовий заміс вивантажується зі змішувача через люк 7 у днище чаші. Наведений на схемі змішувач є машиною циклічної дії.

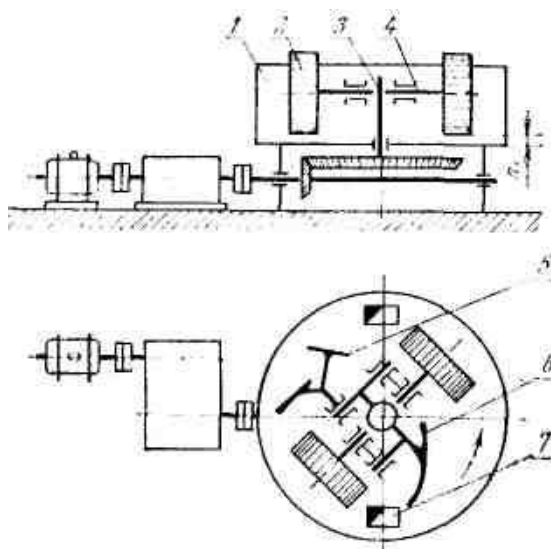


Рисунок 1.1 - Схема змішуючих ливарних бігунів

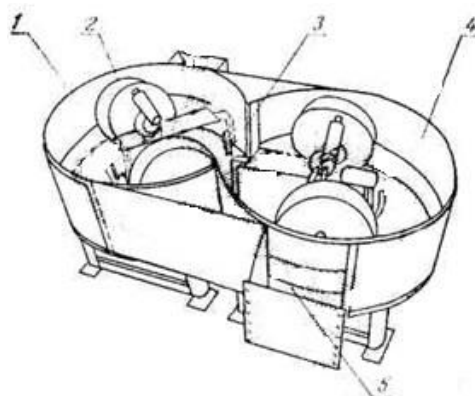


Рисунок 1.2 – Схема здвоєних ливарних бігунів безперервної дії

На рис. 1.2 зображений змішувач безперервної дії, який складається із двох суміжних чаш 1 і 4, які встановлені на рамі і мають загальну порожнину в місці з'єднання.

Механізми змішування в чашах синхронно обертаються в протилежні сторони, перемішуючи матеріал і передаючи його з однієї чаші в іншу. Складові суміші матеріали за допомогою завантажувальних пристроїв подаються безупинно в праву чашу, де обертові шкребки 3 підхоплюють завантажений матеріал і перемішують його до катків 2 і далі до бічної поверхні чаші [3]. Під дією відцентрових сил у місці з'єднання обох чаш суміш переноситься в ліву чашу змішувача, а потім повертається в праву і т.д. Однак з лівої чаші в праву суміш повертається в трохи меншій кількості. Різниця в кількості суміші що надійшла і повернутої за кожен оберт змішуючого механізму видається через постійно відкритий люк 5 у днище лівої чаші.

Висока якість змішування можлива тільки в тому випадку, якщо матеріали, що завантажені в чашу змішувача, неодноразово піддаються дії плужків і катків, котрі розподіляють, ущільнюють і розрихлюють суміш. Така дія буде можливою, якщо під котки буде затягуватися певний по висоті шар суміші. Щоб частки суміші захоплювалися катками, кут захоплення між дотичною і горизонтальною віссю не повинен перевищувати деякої величини, що відповідає конструктивним параметрам змішувача.

## 1.2 Відцентрові змішуючі бігуни

У цих змішувачах матеріал перемішується і на дні, і на стінках чаші [4].

У нижній частині нерухомої циліндричної чаші (рис. 1.3) обертається ротор 2, на якому є два або три робітники плужка 1 з різними кутами нахилу до горизонту. На роторі, крім того, за допомогою спеціальних кривошипів (маятників) 6 прикріплені на різних рівнях катки 4. Рівень установки котків відповідає кутам нахилу плужків.

Катки підвішені горизонтально і при обертанні ротора під дією відцентрових сил відхиляються на своїх маятниках-кривошипах до борту 3 чаші змішувача. Внутрішня поверхня борта чаші, а також циліндрична поверхня катків футеровані гумою 5.

Завантажені в змішувач складові частини суміші попадають на обертаючийся ротор і відцентровою силою скидаються з нього в кільцевий простір між ротором і бортом чаші. Плужки піднімають цю суміш із дна чаші і кидають під відповідним кутом на її бічну поверхню. Стикнувшись із бічною поверхнею, потік суміші рухається по колу борту. Виникаючі при цьому відцентрові сили інерції притискають суміш до гумової поверхні борта, у перерізі потоку виникає значний перепад швидкостей, відбувається ковзання елементарних шарів суміші один об одного і її перетирання.

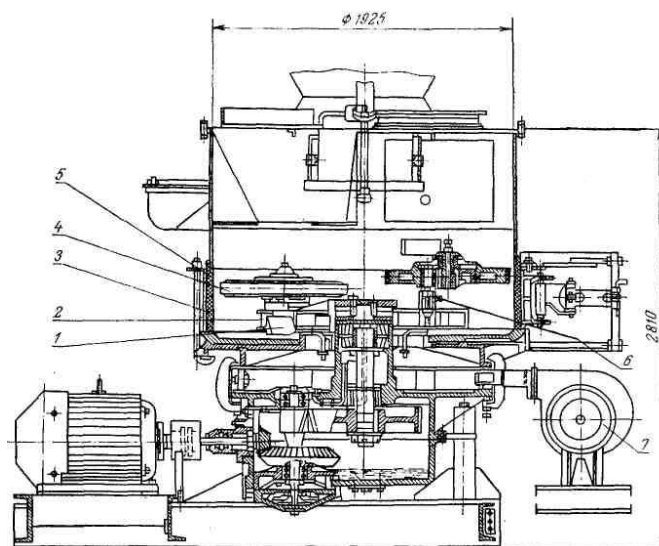


Рисунок 1.3 – Відцентрові змішувачі бігуни

Катки бігунів, проїжджаючи по шарах суміші, притискають її до борта і ущільнюють, що сприяє розтиранню грудок і рівномірному розподілу вологи. Цим досягається висока якість перемішування і обволікання суміші вологою глиною. У систему бігунів вбудований відцентровий вентилятор 7 для видалення пилу і охолодження суміші. Повітря в чашу бігунів подається через дифузори і повітряну коробку, причому напір повітря зростає внаслідок обертання ротора. Біля всмоктувальних патрубків вентилятора є два клапани, які керуються

пневматичними циліндрами. Через малий патрубок повітря подають для видалення пилю, а через великий - для охолодження суміші.

Вода для зволоження замісу може автоматично подаватися на дно чаші в необхідній кількості. Готовий заміс викидається через дверцята, які відкриваються спеціальним штовхачем, при обертанні ротора.

Керування всіма пневмоциліндрами змішувача здійснюється за допомогою електромагнітних повітророзподільних клапанів і командного апарату.

Становить інтерес конструкція автоматизованих відцентрових змішувачів циклічної дії, що є головним вузлом сумішоприготувальних систем автоматичних формувальних ліній у чавуноливарному цеху. У цих змішувачах (рис. 1.4) застосовані однакові більші лопатоподібні плужки 1, а катки 2 розташовані на одному горизонтальному рівні.

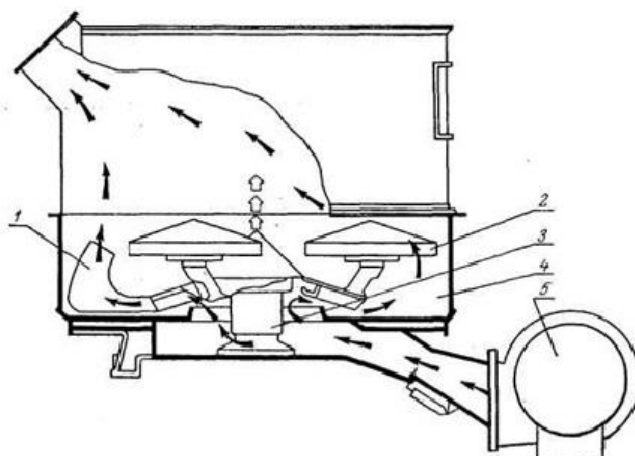


Рисунок 1.4 – Відцентрові змішуючі бігуни

Верхні поверхні ротора 3 і котків виконані у вигляді конусів, що підвищує надійність змішувачів і збільшує їхню продуктивність. При обертанні ротора плужки спрямовують потоки суміші на бічну поверхню чаші 4 під котки. У результаті відбувається інтенсивне перемішування суміші під дією відцентрових сил і котків.

Особливістю таких змішувачів є обов'язкове зволоження чаші водою перед завантаженням сухих матеріалів. Це виключає приставання сухої суміші до поверхні чаші й плужків. У процесі перемішування суміш продувається повітрям, для чого у змішувачі є вентилятор 5.

### 1.3 Лопаткові змішувачі

Лопатковий змішувач (рис. 1.5) представляє коритоподібний корпус 3, усередині якого обертаються два горизонтальних вали 1 з насадженими на них лопатками 2. При обертанні валів гвинтоподібні лопатки захоплюють матеріал і переміщують його як по колу, так і вздовж корпусу змішувача. Завдяки цьому, а також тертю об стінки корита частки матеріалу перемішуються. При перемішуванні матеріал розрізається лопатками і перекидається ними [5]. Однак суміш перетирається та ущільнюється при цьому в дуже малому обсязі і повного обволікання зерен піску глинистою оболонкою не відбувається.

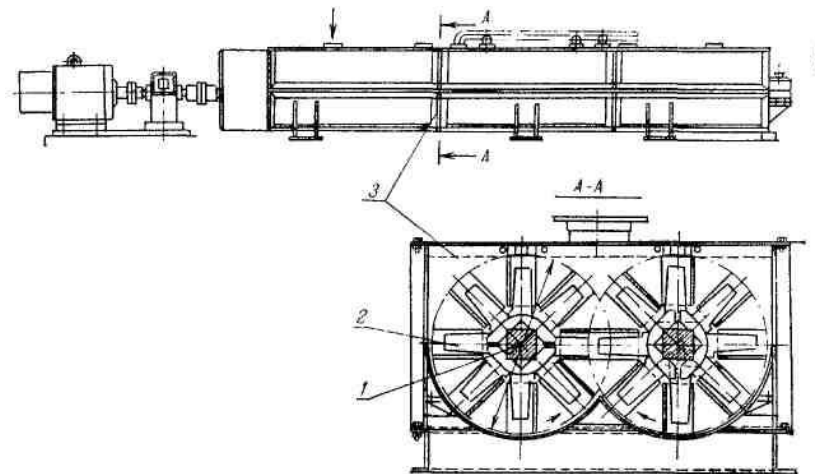


Рисунок 1.5 – Лопатковий двовальний змішувач

Із цієї причини лопаткові змішувачі не одержали широкого поширення і застосовуються переважно тоді, коли технологічно можливе приготування наповнюючих або єдиних сумішей з невеликим відсотком освіження, а також для приготування рідких самотвердіючих сумішей та холоднотвердіючих сумішей .

Разом з тим у цих змішувачів є ряд переваг: простота конструкції та надійність дії, невелике споживання енергії і висока продуктивність.

Лопаткові змішувачі безперервної дії мають особливо високу продуктивність, тому що в них можна виключити із загального час циклу, який витрачається на непродуктивні операції, пов'язані із завантаженням матеріалів і вивантаженням готової суміші. Безперервність дії змішувачів дозволяє надійно автоматизувати весь комплекс сумішопріготувальних операцій.

Залежно від виду зв'язуючої речовини, а також від фізико-механічних властивостей одержуваної суміші кут встановлення лопаток можна змінювати, у результаті чого змінюється крок гвинтової лінії і швидкість переміщення матеріалів вздовж змішувача, а отже, і тривалість перемішування (у змішувачах безперервної дії). У цих же змішувачах кілька останніх пар лопаток, які повернені так, щоб створювати зустрічний рух матеріалу, що викликає підпір суміші і підтримує потрібну висоту шару матеріалу в кориті.

У змішувачах періодичної дії перемішування виконується протягом певного часу. При цьому матеріал вздовж корита не переміщується, а піднімається лопатками вгору. Замість вивантажується або шляхом повороту корита, або через днище, що відкривається.

У змішувачах безперервної дії завантажені матеріали і суміш безупинно переміщуються вздовж корита, причому тверді компоненти завантажуються в голіві змішувача (зона сухого перемішування), рідкі - на середній ділянці (зона зволоження), а остаточне перемішування відбувається на самій довгій ділянці змішувача, у його кінці, ближче до вивантажувального отвору (зона вологого перемішування).

У нас у країні створені автоматизовані установки для виготовлення стержнів з холоднотвердіючих сумішей (рис. 1.6) [6].

Установка представляє собою лопатковий змішувач 2 з електромеханічним приводом 4, який змонтований на кронштейні поворотного важеля, що обертається навколо вертикальної осі колони підстави 5. Над завантажувальним вікном змішувача розташовані шибер і поворотна труба 3, по якій у змішувач надходять сухі компоненти суміші. В основі установки 5 змонтовані три насоси-дозатори для подачі рідких компонентів у змішувач. Керування роботою установки виконується з пульта 1.

Змішувач 2 складається із труби, яка усередині обертається валом, на якому змонтовані три гвинтові площини і лопатки між ними, посаджені під кутом  $45^\circ$  і  $60^\circ$  до осі вала. Таке розміщення лопаток забезпечує краще перемішування суміші і транспортування її до розвантажувального вікна змішувача. Вал

змішувача обертається із частотою  $n = 1,6 \text{ с}^{-1}$  (95 об/хв). Внутрішній діаметр корита змішувача - 200 мм. Продуктивність установки - 0,85 кг/с (2,5 м<sup>3</sup>/год).

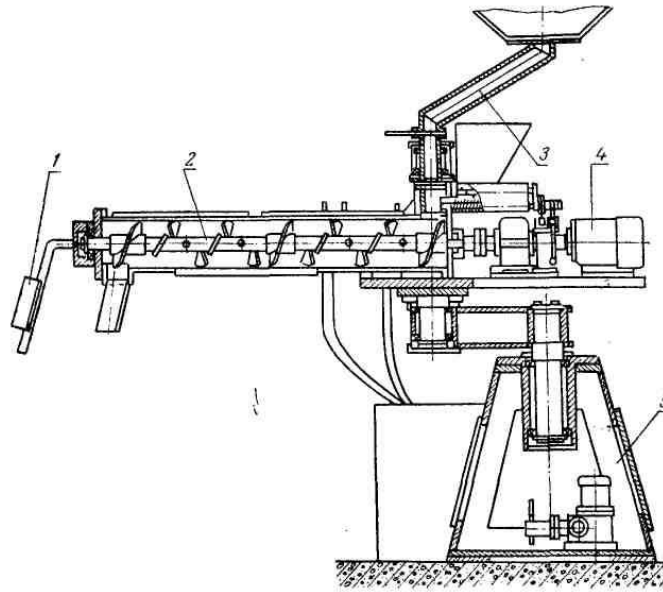


Рисунок 1.6 – Лопатковий змішувач моделі 4727

Прикладом лопаткового змішувача може служити також автоматизована установка для виготовлення самотвердіючих сумішей (рис. 1.7). Подача сухого піску в змішувач 12 виконується стрічковим живильником 14 з бункера 17, у який він надходить по стрічковому конвеєру 1. Деревний пек подається гвинтовим живильником 15 з бункера 13. Затверджувач дозується з бункера 5 безпосередньо в змішувач.

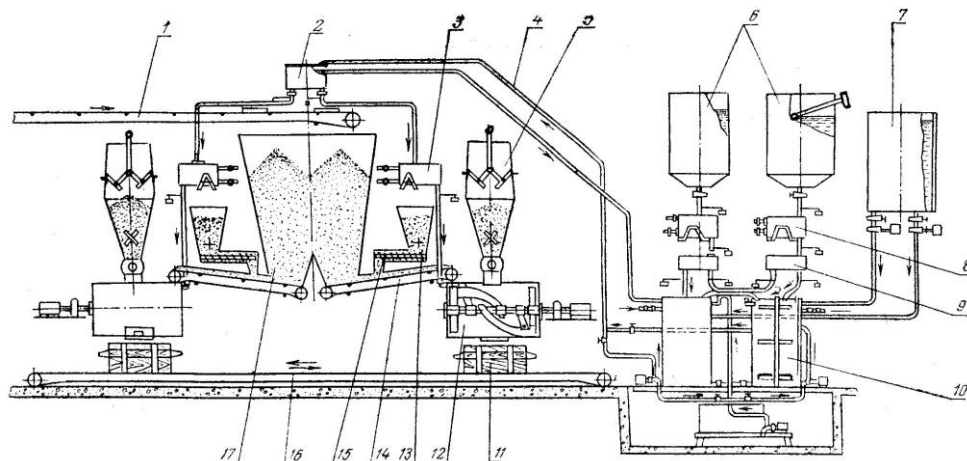


Рисунок 1.7 – Схема установки лопаткового змішувача для приготування самотвердіючих сумішей

Підготовка рідкої композиції здійснюється наступним чином. Рідке скло з бака 7, поверхнево-активна речовина і сода з баків 6 через дозатори 8 і

розподільник 9 надходять і баки-мішалки 10, де ретельно перемішуються з додаванням води і потім по трубопроводу 4 нагнітаються в проміжний бак 2. З бака рідка композиція видається за допомогою дозатора 3 в одні з лопатевих змішувачів 12.

Рідка самотвердіюча суміш, яка одержується із змішувача, заливається в стержневі ящики 11, що розташовані на реверсивному транспортері 16.

#### 1.4 Інші типи змішувачів

Прагнення використати принцип безперервності при приготуванні формувальних сумішей призвело до створення деяких типових змішувачів, які ще не знайшли широкого поширення в автоматичних лініях сумішеприготування. До них відносяться: барабанний вихровий, комбіновані та інші типи змішувачів [5].

Барабанний змішувач безперервної дії (рис. 1.8) представляє собою циліндричний барабан 3, усередині якого розміщені вал-коток 5, розпушувач 2, шкребок 4 і напрямні пластини 1. Вал-коток закріплений шарнірно на важелях і притискається до суміші, обертаючись за рахунок сил тертя об суміш.

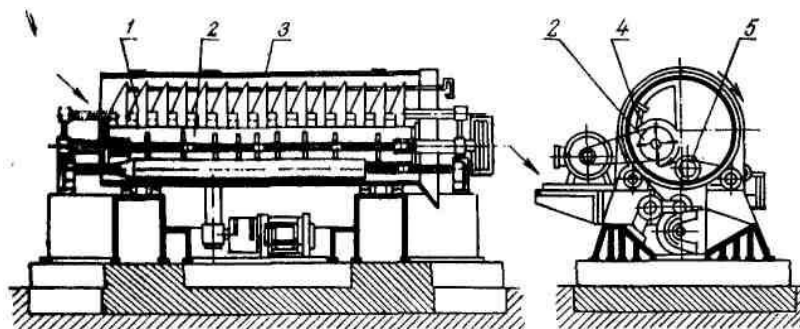


Рисунок 1.8 – Барабанний змішувач

При перекочуванні катка по шару суміші всередині барабана остання ущільнюється, що сприяє впровадженню глинистих часток у пори між зернами суміші.

Для розпушення ущільненої суміші по всій довжині барабана розміщені лопати розпушувачі, до поздовжніх крайок яких привернуті зубчасті листи. Обертаючись від власного привода, розпушувач своїми зубчастими кромками згрібає суміш зі стінки барабана і кидає її на напрямні пластини. Останні

встановлені під кутом до поздовжньої осі барабана, утворюючи своєрідний гвинт, що переміщає суміш до вихідного кінця барабана. Залежно від необхідного часу перемішування кут нахилу напрямних пластин може бути змінений.

Змішувач безперервної дії, в якому обертається чаша (рис. 1.9) складається з чаші 1, виконаної так, щоб вона могла обертатися за допомогою електродвигуна 2, редуктора 3, на вихідному валу якого закріплено шестерню, яка знаходиться в зачепленні з шестернею 4, закріпленою на чаші. Чашу встановлено на катках 5. Над чашею на стояках 6 поставлено раму 7, на якій закріплено плужки 8 і шарнірно важелі 9 з опорами 10 і котками 11. У центрі чаші є отвір 12, через який розвантажуються формівна суміш, формівні матеріали завантажуються біля борту чаші. Змінюючи, кут нахилу плужків 8, можна регулювати якість формівної суміші та продуктивність змішувача. Потужність електродвигуна визначають за викладеною методикою, а продуктивність.

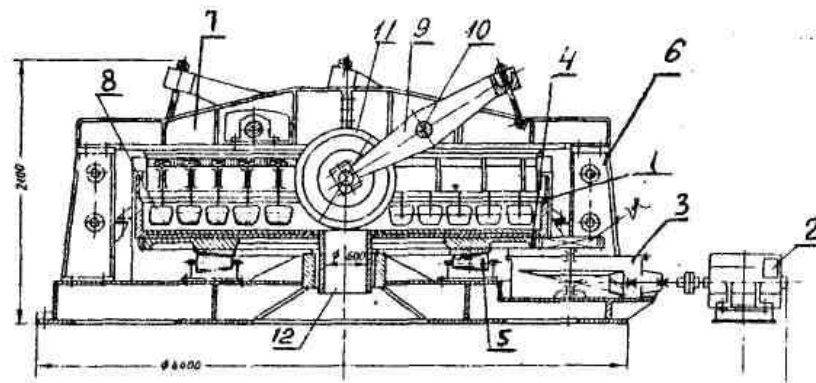
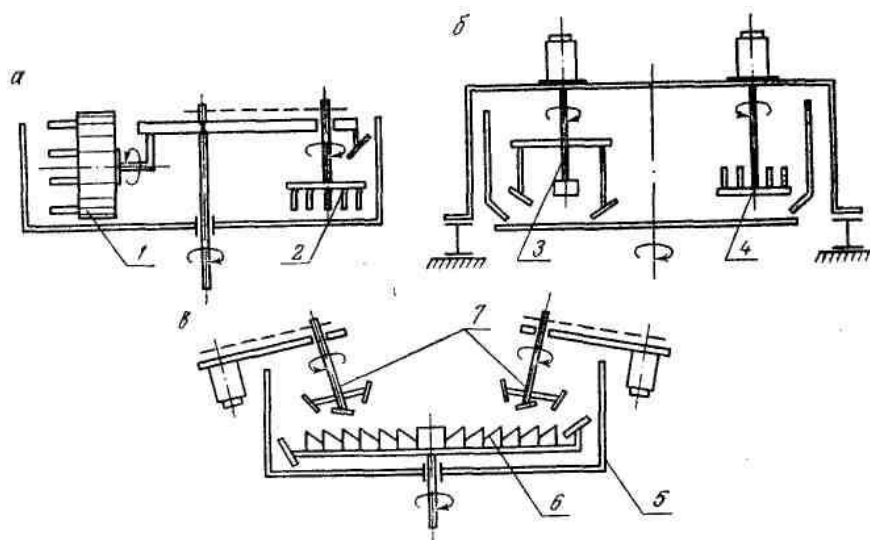


Рисунок 1.9 – Схема змішувача безперервної дії, в якому обертається чаша

У практиці ливарного виробництва зустрічаються також змішувачі з одним вертикальним катком 1 і відцентровим розпушувачем 2 замість другого катка (рис. 1.10, а) і протитечійні змішувачі (рис. 1.10, б), у робочому обсязі яких розміщені дві різні по конструкції лопатеві мішалки 3 і 4 з незалежними приводами, обертаються назустріч один одному [6].

Застосовуються також змішувачі, над дном чаші 5 якого (рис. 1.10, в) обертаються спеціальні лопати 6, що забезпечують змішування компонентів, а дві лопатеві мішалки 7, що занурюють у суміш, роблять подальшу її обробку.



а - з одним котком і розпушувачем; б - з двома мішалками; в - зі змішувальною лопатою і двома мішалками

Рисунок 1.10 – Схеми ливарних змішувачів

Аналіз літературних даних показав наявність зв'язку між процесом приготування суміші та роботою різних типів змішувачів. Найкраще цей зв'язок прослідковується при роботі маятникового змішувача і полягає у специфічній кінематиці робочих органів, яка радикально відрізняється від звичайних лопатевих чи каткових механізмів. Маятниковий рух впливає на якість ливарної суміші слідуючим чином:

1. ефект «Планетарного розтирання». У маятникових змішувачах змішувальні елементи здійснюють складний рух, що нагадує коливання маятника навколо вертикальної або похилої осі. Це створює умови, де піщинки не просто переміщуються в об'ємі, а інтенсивно труться одна об одну. Як результат - завдяки цьому тертю рідке сполучне (смола) розмазується по поверхні кожної зернини піску надтонким шаром. Це набагато ефективніше, ніж просте перемішування;
2. оптимізація для ХТС (холоднотвердіючих сумішей). Приготування сумішей у маятникових апаратах ідеально підходить для процесів, де важливою є швидкість хімічної реакції:

a. послідовність введення. Конструкція дозволяє чітко розділити етапи введення каталізатора та смоли, що запобігає передчасній реакції (схопленню) суміші ще всередині змішувача;

b. рівномірність активізації. Оскільки маятниковий рух охоплює весь об'єм чаші без «мертвих зон», кожна порція суміші має ідентичні фізико-механічні властивості;

3. зв'язок з якістю форми та виливка. Процес приготування безпосередньо впливає на подальші етапи виробництва:

a. газопроникність. Завдяки тому, що маятниковий змішувач не перетирає зерна піску в пил (на відміну від важких каткових змішувачів), зберігається природна пористість суміші. Це дозволяє газам вільно виходити з форми під час заливки металу, що критично для запобігання газовим раковинам;

b. міцність оболонки. Рівномірне покриття піску сполучним гарантує, що форма витримає тиск рідкого металу (наприклад, при виготовленні корпусних деталей або циліндричних посудин), не руйнуючись і не створюючи за засмічення;

4. енергетичний та часовий аспект. Завдяки інтенсивності маятникового руху, час циклу приготування суміші значно скорочується. Це дозволяє:

a. зменшити енерговитрати на тонну готової суміші;

b. забезпечити безперервну подачу свіжої маси на формівні ділянки (наприклад, для ліній з горизонтальним роз'ємом).

## **2 Опис конструкції та принципу роботи маятникового змішувача**

Маятниковий змішувач (відцентровий) показаний на рис. 2.1 є одною з найбільш продуктивних машин для приготування формівних та стержневих сумішей. Змішувач складається з рами 1 (рис. 2.2), чаші 9, кожуха 11 і ротора 8. Чаша змонтована на приводі корпусу ротора [7]. Вона складається з піддону, який утворює дно робочої порожнини, і циліндричної обичайки, яка утворює бокову поверхню робочої порожнини.

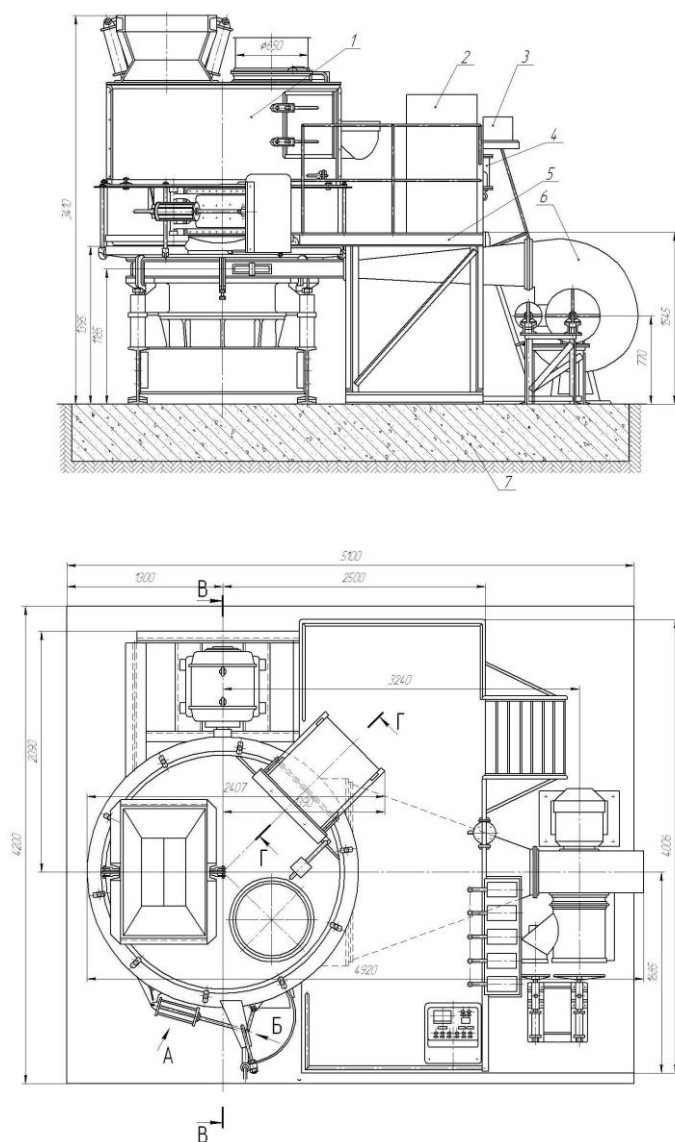


Рисунок 2.1 – Маятниковий змішувач

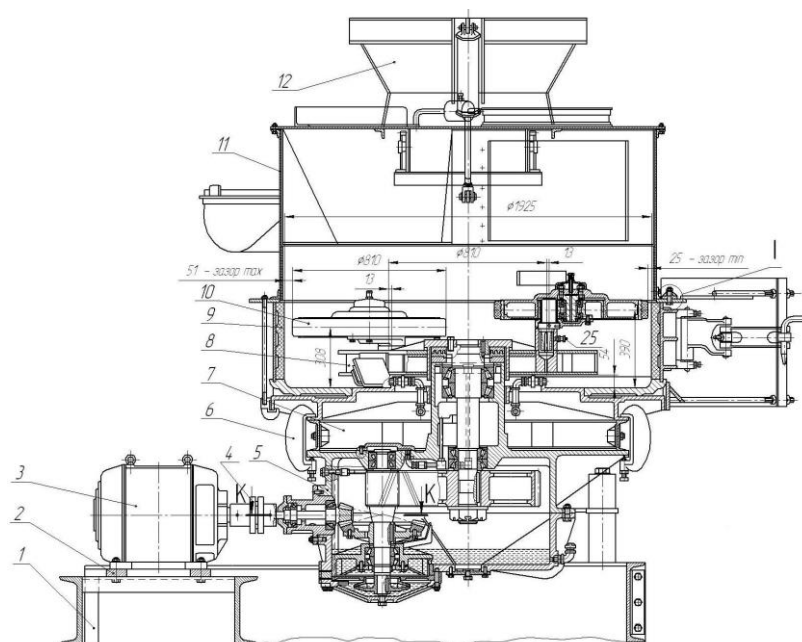


Рисунок 2.2 – Маятниковий змішувач у розрізі

Внутрішня поверхня обичайки облицьована резиною, яка складається з окремих секцій, які закріплюються до чавунного борту чаші на болтах, залитих в резині облицювання.

Ротор 8 приводиться в дію від електродвигуна 3 через муфту 4 і редуктор 5.

Редуктор привода має дві пари зубчастих коліс - конічних та косозубих циліндричних. Змазка подається відцентровим насосом по трубі до верхнього роликового підшипника головного вертикального валу змішувача. Звідси вона стікає вниз, змазуючи нижній підшипник того ж валу, і частково вловляється козирком, від якого по трубі відводиться по трубі до верхнього підшипнику вертикального валу малого косозубого колеса.

Ротор 8 складається з вертикального валу, який встановлений в підшипниках в центрі чаші і траверси, на який закріплено два горизонтальні диски. На дисках змонтовано два пальці 7 (рис. 2.3). На останні посаджені головки катків 3. В центрі головки в підшипниках встановлена вісь 5 катка, жорстко закріплена з самим катком 2. Вісь катка 5 та вісь пальця 7 не співпадають одна з одною, тому при обертанні ротора головка разом з катком можуть обертатись відносно вісі пальця.

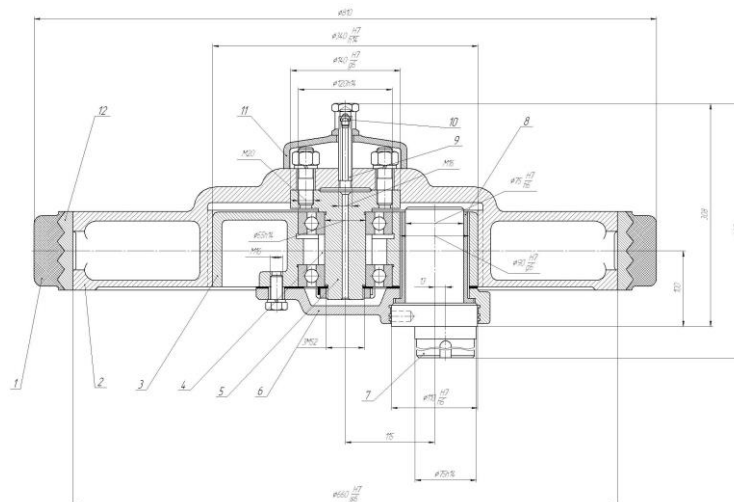


Рисунок 2.3 – Каток

При роботі ротора під дією відцентрових сил каток прагне зайняти крайнє положення, тобто вісі катка, пальця і ротора знаходяться на одній точці. При попаданні між катком і обичайкою суміші каток відхиляється від цього

положення, при цьому головка катка 3 обертається навколо осі пальця 7. Внутрішня поверхня катка додатково центрується відносно зовнішньої поверхні головки. Кожен каток обернений по обіду резиновим бандажем 1.

Для зміни величини мінімального зазору між катком і обичайкою палець 7 виконаний ексцентрично. Обертаючи палець в стакані ротора і закріплюючи його притискним гвинтом 25 (рис. 2.2), можна змінювати величину зазору в межах 25...50 мм. Катки розташовані на різній висоті від робочої порожнини.

На роторі закріплені два шкребки, один з яких нахилений під кутом  $45^\circ$ , а інший під кутом  $60^\circ$  до горизонту. При обертанні ротора шкребки захоплюють суміш і відкидають її до обичайки; одночасно відбувається перемішування складових суміші. Потoki суміші від кожного з шкребків попадають під відповідний каток. Катки, які притискаються відцентровими силами до обичайки, перекачуються по суміші, розминають коми і частково зміцнюють суміш, що сприяє покриттю зерен піску плівкою зв'язуючого.

Крім робочих шкребків, на роторі закріплений бортовий шкребок, який зчищає суміш з обичайки. Відпрацьована суміш завантажується в змішувач через бункер-дозатор 12 (рис. 2.2). Устя бункера дозатора 1 (рис. 2.4) закрито затвором, щелепи 7 та 8, якого з'єднані зубчатими секторами.

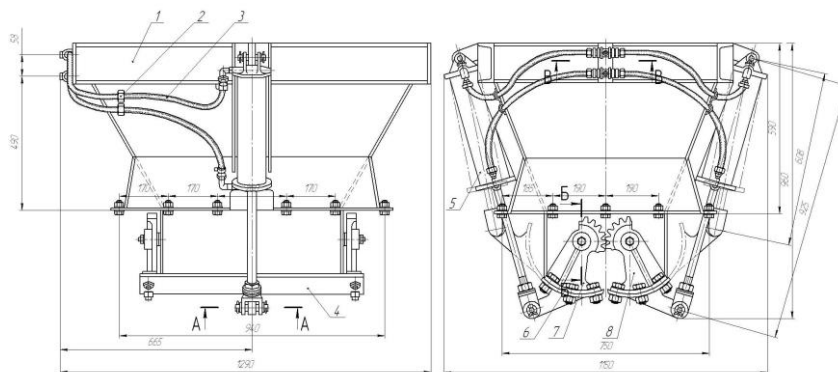


Рисунок 2.4 – Бункер - дозатор

Відкриття затвору проводиться пневматичними циліндрами 11. Свіжі добавки в змішувач завантажуються лотком 12 (рис. 2.5), який шарнірно закріплений на кожусі і обертається пневматичним циліндром 11. При обертанні лотка навколо осі 10 його важіль відтискає шарнірно закріплену вертикальну дверці, і добавки висипаються в чашу.

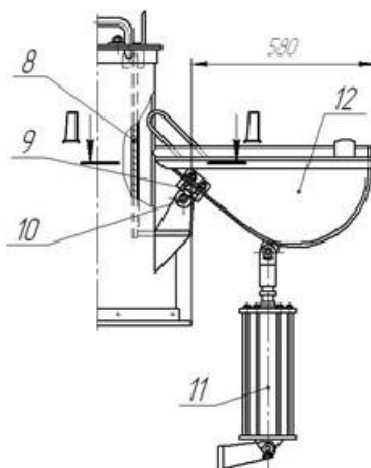


Рисунок 2.5 – Лоток

Для вивантаження з чаші готового замісу в ній є бокове вікно, яке закривається дверцятами 16 (рис. 2.6).

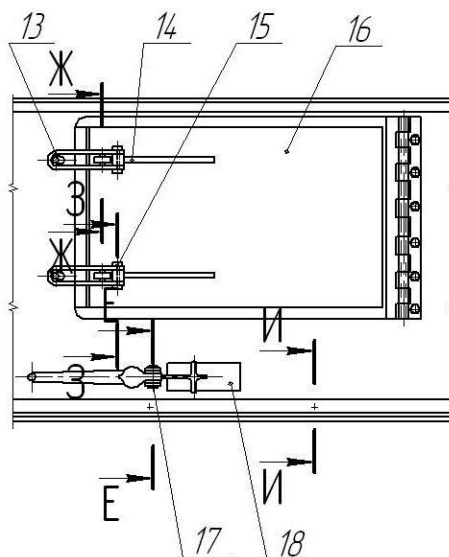


Рисунок 2.6 – Дверцята

Дверцята відкриваються шарнірним механізмом, який приводиться в дію пневмоциліндром. Козирок, встановлений напроти вікна (рис. 2.1), відхиляє потік вивантажуємої суміші вниз. Під розвантажувальним вікном розташовані дверцята 18 (рис. 2.6) від взяття проби суміші.

В процесі перемішування заміс обезпилюється і охолоджується, для чого вентилятор 6 (рис. 2.1) безперервно подає повітря в повітряну коробку 7 (рис. 2.2), розташовану під ротором. Вентилятор має два всмоктувальних патрубків, які зачиняються заслінками за допомогою пневмоциліндрів (рис. 2.2). Малий отвір відкривається під час завантажування змішувача відпрацьованою сумішшю для

видалення з неї пилу. Великий всмоктувальний отвір вентилятора відкривається під час перемішування вологої суміші. Велика кількість повітря, яке подається в цей період, охолоджує та аерує суміш.

Змішувач має автоматичне керування усім циклом роботи.

### **3 Розрахунок основних технологічних параметрів машини**

Змішуючі бігуни використовують для приготування формувальних і стержневих сумішей у ливарних цехах масового, серійного і індивідуального виробництва.

Розрізняють бігуни з горизонтальними катками (відцентрові) і з вертикальними катками.

При проектуванні бігунів для заданого об'єму замісу вибирають основні робочі параметри машини: розміри чаші (внутрішній діаметр і висота), діаметр і ширину катків і частоту обертання вертикального валу відповідно до даних. Крім цього, розраховують потужність електродвигуна привода і експлуатаційну характеристику машини - максимальну масу замісу, при якій забезпечується найбільш повне використання потужності електродвигуна.

Необхідно також визначити масу катків і зробити розрахунок на міцність деталей редуктора [8].

#### **3.1 Розрахунок кінематичної схеми**

Вихідні дані:

- кількість зубців колес:  $z_1 = 13$ ;  $z_2 = 56$ ;  $z_3 = 21$ ;  $z_4 = 96$ ;

- частота обертів на вихідному валу:  $n_3 = 74$  об/хв;

- обертовий момент:  $M_K = 8600$  Н·м.

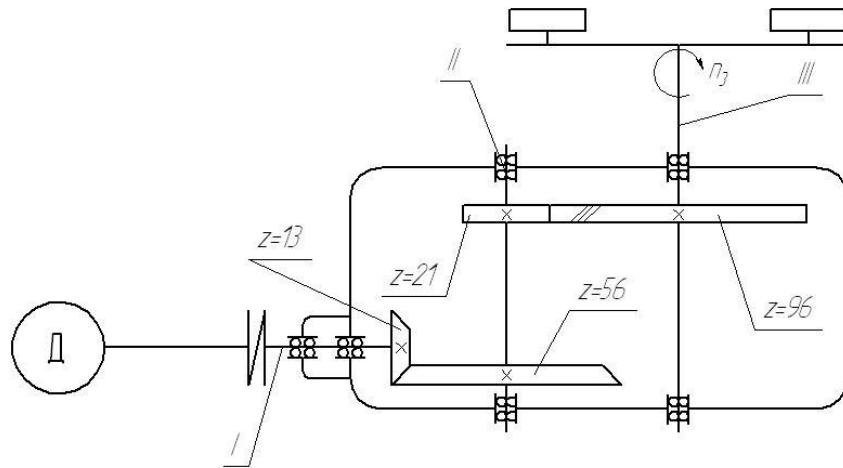


Рисунок 3.1 – Кінематична схема приводу маятникового змішувача

Визначаємо передаточні числа конічної передачі, циліндричної передачі, редуктора:

$$u_k = \frac{z_2}{z_1} = \frac{56}{13} = 4,31$$

$$u_u = \frac{z_4}{z_3} = \frac{96}{21} = 4,57$$

$$u_p = u_k \cdot u_u = 4,31 \cdot 4,57 = 19,65$$

Приймаємо передаточне число редуктора  $u_p = 20$ .

Частоти обертання на валах:

$$n_3 = 74 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = n_3 \cdot u_u = 74 \cdot 4,57 = 338 \text{ об/хв}$$

$$n_1 = n_2 \cdot u_k = 338 \cdot 4,31 = 1454 \text{ об/хв}$$

Потужності на валах:

$$N_3 = \frac{M_K n_3}{9550} = \frac{8600 \cdot 74}{9550} = 66,64 \text{ кВт}$$

$$N_1 = N_{\text{дв}} = \frac{N_3}{\eta_0}, \quad (3.1)$$

де  $\eta_0$  - ККД приводу:

$$\eta_0 = \eta_k \cdot \eta_{\text{ц}} \cdot \eta_n, \quad (3.2)$$

де  $\eta_k = 0,96$  [9] - ККД конічної передачі;

$\eta_{\text{ц}} = 0,97$  [9] - ККД циліндричної передачі;

$\eta_n = 0,99$  [9] - ККД пари підшипників.

$$\eta_0 = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,99^3 = 0,9035$$

$$N_1 = N_{\text{дв}} = \frac{66,64}{0,9035} = 73,75 \text{ кВт}$$

По розрахованій потужності та частоті обертання вибираємо асинхронний електричний двигун АО - 93 - 4, який має таку технічну характеристику [10]:

- потужність  $N_{\text{дв}} = 75$  кВт;
- частота обертання  $n_{\text{дв}} = 1500$  об/хв;
- ковзання  $S = 3\%$  [9];
- номінальний момент  $M_H = 1035$  Н·м [9].

Дійсна частота обертання на вхідному валу буде дорівнювати:

$$n_1 = n_{\text{дв}} (1 - S) = 1500 \cdot (1 - 0,03) = 1460 \text{ об/хв}$$

Кутові швидкості:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1460}{30} = 153$$

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 338}{30} = 35$$

$$\omega_3 = \frac{\pi n_3}{30} = \frac{3,14 \cdot 1460}{30} = 7,75$$

### 3.2 Розрахунок потужності електродвигуна

Потужність привода сумішоприготувальних машин залежить від різних факторів - їх можна розбити на три групи: експлуатаційні, технологічні і конструктивні. До експлуатаційних і технологічних факторів відносять відповідно масу замісу і властивості готуємої суміші, а до конструктивних - розміри чаші, площу, розташування і число плужків, розміри, масу, число і місце установки катків, частоту обертання ротора бігунів а ін.

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 3.1:

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика змішуючи бігунів

Параметр	Розмірність	Значення
Об'єм замісу	м <sup>3</sup>	0,4
Розміри чаші - діаметр× висота	мм	1925×475
Вага замісу	кг	500
Міцність суміші в сирому стані	кг/см <sup>2</sup>	0,7
Розміри катків- діаметр× ширина	мм	810×100
Маса катка	кг	130
Число катків	шт	2
Число плужків	шт	2
Частота обертання вертикального валу	об/хв.	74
Потужність електродвигуна	кВт	74

Потужність привода відцентрових бігунів може бути представлена виразом:

$$N = N_{xx} + (N_{nl} + N_{кат}) \frac{1}{1 - \beta_{втр}}, \quad (3.3)$$

де  $N_{xx}$  - потужність холостого ходу;

$N_{nl}$ ,  $N_{кат}$  - потужності, необхідні відповідно для переміщення робочих плужків і катків;

$\beta_{втр}$  - коефіцієнт, що враховує додаткові втрати на тертя ротора по суміші, втрати в редукторі, підшипниках і підп'ятнику ротора при роботі машини під навантаженням [11].

Потужність холостого ходу  $N_{xx}$  не залежить від маси замісу і визначається ККД електродвигуна і втратами на тертя в механізмах машини.

Потужність холостого ходу:

$$N_{x.x.} = M_H \omega_3 = 1035 \cdot 7,75 = 8000 \text{ Вт}$$

Потужність для переміщення робочих плужків:

$$N_{nl} = k \gamma \omega^2 m g, \quad (3.4)$$

де  $\gamma$  - геометричний параметр, що характеризує розміри, кут нахилу та конфігурацію перерізу плужків [11].

Параметр  $\gamma$  визначається по формулах:

$$\gamma = \sum_{i=1}^j \gamma_i, \text{ або } \gamma_i = \frac{1}{3} [h_1 (r_2^3 - r_1^3) + h_2 (r_3^3 - r_2^3)], \quad (3.5)$$

де  $i, j$  - порядковий номер і загальне число плужків;

$r_1, r_2, r_3, h_1, h_2$  - розміри плужків (рис. 3.2);

$h_1 = b_1 \sin \beta_i$ ;  $h_2 = b_2 \sin \beta_i$ ;

$\beta_i$  - кут нахилу плужка до горизонту.

Робочі плужки бігунів виготовляються двох типів (рис. 3.2, а і б).

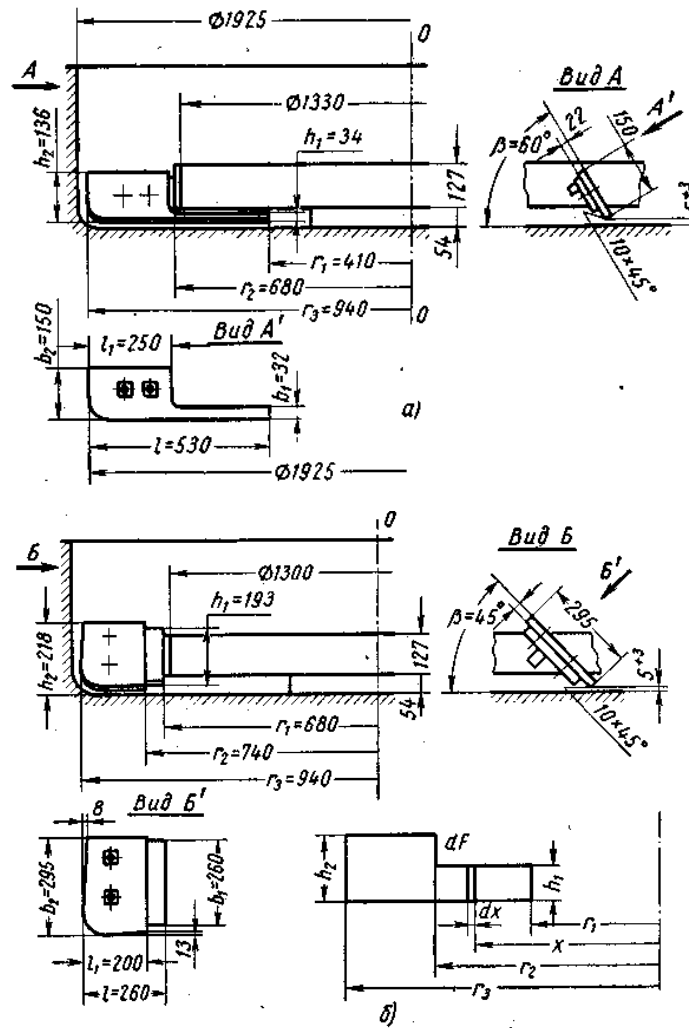


Рисунок 3.2 – Геометричні робочі плужків

$$\gamma_1 = \frac{1}{3} \left[ 3,4(68^3 - 41^3) + 13,6(94^3 - 68^3) \right] = 2,62 \cdot 10^6 \text{ см}^4$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{3} \left[ 19,3(74^3 - 68^3) + 13,6(94^3 - 68^3) \right] = 3,68 \cdot 10^6 \text{ см}^4$$

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = (2,62 + 3,68) \cdot 10^6 = 6,30 \cdot 10^6 \text{ см}^4$$

Коефіцієнт  $k$  з достатньою точністю виражається емпіричною формулою:

$$k = (0,7 + 3 \cdot 10^{-5} \sigma) = (0,7 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7) = 2,8 \text{ с/м}^3$$

Складова потужності  $N_{кат}$  мала в порівнянні з  $N_{пл}$ . Тому її можна представити в долях від повної потужності привода в такий спосіб:

$$N_{кат} = \beta_{кат} (N - N_{x.x.}), \quad (3.6)$$

де  $\beta_{кат}$  - безрозмірний емпіричний коефіцієнт;  $\beta_{кат} = 0,1 \div 0,2$  [11].

Одержимо розрахункову формулу для визначення потужності привода відцентрових бігунів:

$$N = N_{x.x.} + \frac{k\gamma\omega^2 mg}{1 - \beta_{кат} - \beta_{втр}}, \quad (3.7)$$

де  $\beta_{втр} = 0,03 \div 0,05$  [12] - коефіцієнт втрат.

$$N = 8 + \frac{2,8 \cdot 6,3 \cdot 7,75^2 \cdot 500 \cdot 9,81}{1 - 0,15 - 0,03} = 75000 \text{ Вт}$$

Складові потужності:

$$N_{кат} = 0,15 (75000 - 8000) = 9500 \text{ Вт}$$

$$N_{пл} = 2,8 \cdot 6,3 \cdot 7,75^2 \cdot 500 \cdot 9,81 = 52000 \text{ Вт}$$

### 3.3 Визначення маси катка

Вихідні данні для розрахунку маси катка наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 - Параметри конструкції бігунів

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Внутрішній діаметр чаші	$D_ч$	мм	1925
Діаметр катка	$D_к$	мм	810
Відношення діаметр катка і чаші	$D_к/D_ч$	–	0,42
Мінімальний зазор між катками і чашею	$\Delta$	мм	25

Тоді:

$$m_к = \frac{P_ч}{\omega^2 l_0}, \quad (3.8)$$

де  $P_ч = (3950 \pm 250)H = (400 \pm 25)кгс$  - відцентрова сила;

$\omega$  - кутова швидкість обертання вертикального валу бігунів,  
 $\omega = 2\pi n = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,235 = 7,75$  рад/с;

$l_0$  - радіус центра катка,  $l_0 = \frac{1}{2}(D_ч - D_к) - \Delta = \frac{1}{2}(1925 - 810) - 25 = 532,5$  мм

$$m_к = \frac{4150}{7,75^2 \cdot 0,532} = 130 \text{ кг}$$

#### 4 Розрахунок основних елементів приводу

У бігунах більшості моделей передача руху від ведучого горизонтального валу до вихідного вертикального валу здійснюється редуктором, що складається звичайно із циліндричних і конічної зубчастих пар (рис. 4.1). Обертний момент від вертикального валу передається ротору бігунів за допомогою шпонок або шліцевих з'єднань.

Розрахунку підлягають наступні найбільш навантажені деталі приводу: зубчасті колеса редуктора - на міцність і зносостійкість, вали - на міцність, шпонки або шліцеві з'єднання - на зминання і підшипники - на довговічність.

Виконаємо перевірочний розрахунок зубчастих коліс, а також визначимо зусиль, що діють зубці коліс.

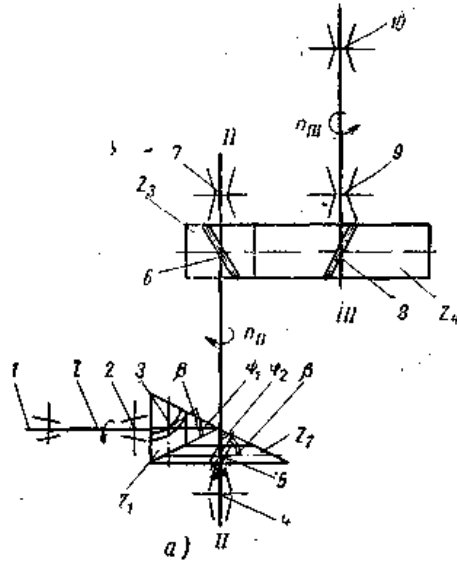


Рисунок 4.1 – Кінематична схема привода бігунів

Через відсутність методики розрахунку напруг згину і контактних напруг у кругових зубах конічних коліс розрахунок відповідно до рекомендацій ведеться за методикою, застосовуваної для конічних коліс із косим зубом. При цьому кут нахилу зуба приймається рівним куту нахилу спирали в середньому перетині зуба.

#### 4.1 Перевірочний розрахунок конічних та циліндричних коліс

Вихідні дані до розрахунку наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані до розрахунку конічних та циліндричних коліс

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Число зубів шестерні та колеса	$z_1$	–	13
	$z_2$	–	56
	$z_3$	–	21
	$z_4$	–	96
Передаточне число	$i_1$	–	4,31
	$i_2$	–	4,57
Частота обертання валу	$n_1$	об/хв	1460
	$n_2$	об/хв	339
	$n_3$	об/хв	74
Кутова швидкість обертання валу	$\omega_1$	рад/с	153

	$\omega_2$	рад/с	35,5
	$\omega_3$	рад/с	7,78

**4.1.1 Перевірочний розрахунок конічних коліс редуктора.** Вихідні дані до розрахунку наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для перевірочного розрахунку коліс редуктора

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Потужність електродвигуна	$N$	Вт	$75 \times 10^3$
Частота обертання валу електродвигуна	$n_{\text{об}}$	об/с	24,3
		об/хв	1460
Кутова швидкість валу	$\omega_{\text{об}} = 2\pi n_{\text{об}}$	рад/с	153
Кількість зубців шестерні	$z_1$	–	13
Кількість зубців колеса	$z_2$	–	56
Торцевий модуль	$m_s$	м	0,008
Кут нахилу зубців або кут спіралі	$\beta$	град	35
Напрямок нахилу зубців або спіралі шестерні колеса	–	–	Ліве
	–	–	Праве
Кут зачеплення	$\alpha$	град	20
Кут тертя	$\zeta$	град	3
Напрямок обертання: - шестерні	–	–	Проти годинникової стрілки, якщо дивитись з вершини конуса
- колеса	–	–	За годинниковою стрілкою, якщо дивитись з вершини конуса
Матеріал і термообробка		–	М42
Модуль пружності матеріалу	$E$	Н/м <sup>2</sup>	$2 \times 10^{11}$
		кгс/см <sup>2</sup>	$2 \times 10^6$

Кутова швидкість ведучої шестерні  $\omega_1 = 153$  рад/с;

Обертний момент на шестерні:

$$M_K = \frac{N}{\omega_1} = \frac{75000}{153} = 490 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Кут початкового конуса шестерні:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{z_1}{z_2} = \arctg \frac{13}{56} = 13^\circ 4'$$

Кут початкового конуса колеса:

$$\varphi_2 = 90^\circ - \varphi_1 = 90^\circ - 13^\circ 4' = 76^\circ 56'$$

Конусна відстань:

$$L = 0,5m_s \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = 0,5 \cdot 0,008 \sqrt{13^2 + 56^2} = 0,23 \text{ м}$$

Ширина шестерні:

$$b = 0,3L = 0,3 \cdot 0,23 = 0,0692 \text{ м}$$

Діаметр шестерні в середньому перерізі:

$$d_{cp1} = 2(L - 0,5b) \sin \varphi_1 = 2(0,23 - 0,5 \cdot 0,069) \sin 13^\circ 4' = 0,0889 \text{ м}$$

Колове зусилля на середньому діаметрі:

$$P_{ном} = \frac{2M_K}{d_{cp1}} = \frac{2 \cdot 490}{0,0899} = 11000 \text{ Н}$$

Колова швидкість:

$$V = \frac{d_{cp1} \omega_1}{2} = \frac{0,0899 \cdot 153}{2} = 6,8 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$k = \frac{1}{2}(K_{кц} + 1)K_{\delta}, \quad (5.1)$$

де  $K_{кц}$  - коефіцієнт концентрації навантаження,  $K_{кц} = 1,05$  [13];

$K_{\delta}$  - коефіцієнт динамічного навантаження,  $K_{\delta} = 1,20$  [13].

$$k = \frac{1}{2}(1,05 + 1) \cdot 1,2 = 1,2$$

Розрахункове навантаження:

$$P = P_{ном} k = 11000 \cdot 1,2 = 13200 \text{ Н}$$

Коефіцієнт підвищення несучої здібності зубців -  $\lambda = 0,9$  [13].

Торцевий коефіцієнт перекриття:

$$\varepsilon_s = \left[ 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cos \beta = \left[ 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{13} + \frac{1}{56} \right) \right] \cos 35^\circ = 1,29$$

Приведене число зубців:

$$z_{np} = \frac{z_1}{\cos \varphi_1 - \cos^3 \beta} = \frac{13}{\cos 13^\circ 4' - \cos^3 35^\circ} = 24,3$$

Коефіцієнт висотної корекції  $\xi = 0,29$  [14], коефіцієнт форми зуба  $y = 0,157$  [13].

Модуль в нормальному і середньому перерізі:

$$m_{нсп} = \frac{m_s \cos \beta}{1 - 0,5 \frac{b}{L}} = \frac{0,008 \cdot \cos 35^\circ}{1 - 0,5 \frac{0,0692}{0,23}} = 0,0077$$

Кут зачеплення в торцевому перерізі:

$$\alpha_s = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = \arctg \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 35^\circ} = 24^\circ$$

$$\cos \alpha_s = 0,914$$

Напруження згину:

$$\sigma_u = \frac{P \cos^2 \beta}{\lambda \varepsilon_s \pi y b m_{nc} \cos \alpha_s} = \frac{13200 \cdot \cos^2 35^\circ}{0,9 \cdot 1,29 \cdot \pi \cdot 0,157 \cdot 0,069 \cdot 0,0077 \cdot 0,914} = 430 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$$

Приймаємо  $\sigma_u = 440 \text{ кгс/см}^2$ . Границя втомленості  $\sigma_{-1} = 5400 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 5400 \text{ кгс/см}^2$  [14].

Ефективний коефіцієнт концентрації напружень біля основи зуба -  $K_\sigma = 2$ , [13], коефіцієнт безпеки  $n = 2$ , [14];

Допустимі напруження згину:

$$[\sigma]_{\text{зг}} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma n} = \frac{430 \cdot 10^5}{2 \cdot 2} = 1350 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 1350 \text{ кгс/см}^2$$

**4.1.2 Розрахунок конічних коліс на довговічність по контактним напруженням.** Передаточне число:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{56}{13} = 4,31$$

Кутова швидкість  $\omega_2 = 35,5 \text{ рад/с}$ .

Експериментальний коефіцієнт для колес з круговим зубом:

$$g = 0,114\sqrt{200 + \beta} = 0,114\sqrt{200 + 35} = 1,75$$

Контактні напруження:

$$\sigma_K = \frac{0,418}{(L + 0,5b)i} \sqrt{\frac{(i^2 + 1)^{3/2}}{b \cdot 0,85g} \frac{2E}{\sin 2\alpha} \frac{M_K}{\omega_2}} = 5000 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 5100 \text{ кгс/см}^2$$

Твердість по Роквеллу для матеріалу колес 40 - 45 HRC, допустимі контактні напруження  $[\sigma]_K = 270 \text{ HRC} \cdot 10^5$  [15],  $[\sigma]_K = 270 \cdot 40 \cdot 10^5 = 11000 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 11000 \text{ кгс/см}^2$

#### 4.1.3 Перевірочний розрахунок циліндричних коліс редуктора на згин.

Вихідні дані до розрахунку наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Вихідні дані до перевірочного розрахунку циліндричних коліс редуктора

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Потужність електродвигуна	$N$	Вт	$75 \times 10^3$
Кількість зубців шестерні	$z_1$	–	21
Кількість зубців колеса	$z_2$	–	96
Нормальний модуль	$m_n$	м	0,007
Кут нахилу зубців	$\beta$	град	23
Напрямок нахилу зубців або спіралі шестерні колеса	–	–	Ліве
	–	–	Праве
Кут зачеплення	$\alpha$	град	20
Кут тертя	$\zeta$	град	3
Напрямок обертання: - шестерні	–	–	За годинниковою стрілкою, якщо дивитись з вершини конуса
- колеса	–	–	Проти годинникової стрілки, якщо дивитись з вершини конуса
Матеріал і термообробка		–	M42
Модуль пружності матеріалу	$E$	Н/м <sup>2</sup>	$2 \times 10^{11}$
		кгс/см <sup>2</sup>	$2 \times 10^6$

Кутова швидкість ведучої шестерні  $\omega_2 = 35,5$  рад/с, ширина шестерні  $b = 0,185$  м

Обертвий момент на шестерні:

$$M_K = \frac{N}{\omega_2} = \frac{75000}{35,5} = 2120 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Торцевий модуль:

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{0,007}{\cos 23^\circ} = 0,0076$$

Діаметр початкового кола шестерні:

$$d_{0_3} = m_s z_3 = 0,0076 \cdot 21 = 0,160 \text{ м}$$

Колове зусилля:

$$P_{ном} = \frac{2M_K}{d_{0_3}} = \frac{2 \cdot 2120}{0,0899} = 26500 \text{ Н}$$

Колова швидкість:

$$V = \frac{d_{0_3} \omega_2}{2} = \frac{0,16 \cdot 35,5}{2} = 2,84 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$k = \frac{1}{2} (K_{кц} + 1) K_d, \quad (5.2)$$

де  $K_{ки}$  - коефіцієнт концентрації навантаження,  $K_{ки}=1,25$  [15];

$K_{\delta}$  - коефіцієнт динамічного навантаження,  $K_{\delta}=1,10$  [15].

$$k = \frac{1}{2}(1,25 + 1) \cdot 1,1 = 1,25$$

Розрахункове навантаження:

$$P = P_{ном} k = 26500 \cdot 1,25 = 33200 \text{ Н}$$

Коефіцієнт підвищення несучої здібності зубців  $\lambda = 0,9$  [15], коефіцієнт форми зуба  $y = 0,138$  [15], модуль в нормальному і середньому перерізі  $m_n = 0,007 \text{ м}$ .

Торцевий коефіцієнт перекриття:

$$\varepsilon_s = \left[ 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{z_3} + \frac{1}{z_4} \right) \right] \cos \beta = \left[ 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{21} + \frac{1}{96} \right) \right] \cos 23^\circ = 1,56$$

Приведене число зубців:

$$z_{np} = \frac{z_3}{\cos^3 \beta} = \frac{56}{\cos^3 23^\circ} = 27$$

Кут зачеплення в торцевому перерізі:

$$\alpha_s = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = \arctg \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 23^\circ} = 21^\circ 30'$$

$$\cos \alpha_s = 0,930$$

Напруження згину:

$$\sigma_u = \frac{P \cos^2 \beta}{\lambda \varepsilon_s \pi y b m_n \cos \alpha_s} = \frac{26500 \cdot \cos^2 23^\circ}{0,9 \cdot 1,56 \cdot \pi \cdot 0,138 \cdot 0,185 \cdot 0,007 \cdot 0,93} = 382 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_u = 390 \text{ кгс/см}^2$$

Границя втомленості  $\sigma_{-1} = 5400 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 5400 \text{ кгс/см}^2$  [15], ефективний коефіцієнт концентрації напружень біля основи зуба  $K_\sigma = 2$  [15], коефіцієнт безпеки  $n = 2$ , [15].

Допустимі напруження згину:

$$[\sigma]_{32} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma n} = \frac{5400 \cdot 10^5}{2 \cdot 2} = 1350 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 1350 \text{ кгс/см}^2.$$

## ВИСНОВОКИ

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих типів обладнання для виготовлення формувальної і стержнєвої суміші в цехах масового і великосерійного виробництва, описано існуючі конструкції і обґрунтовано вибір маятникового змішувача, розраховано основні технологічні параметри машини, виконано перевірочний розрахунок на міцність елементів конструкції змішувача.

Використання маятникового змішувача є справді ефективним вирішенням завдань отримання високоякісних формувальних і стержнєвих сумішей в різних процесах виробництва. Цей тип змішувача відомий своєю простотою у використанні, високою продуктивністю та енергоефективністю.

Також в бакалаврській роботі розроблено креслення загального виду і розрізу змішувача, що дозволяє не лише краще розуміти принцип його роботи, а й надає можливість візуально оцінити конструкцію та потенційні особливості його експлуатації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Vitalii Ivanov, Olaf Ciszak, Khrystyna Berladir, Justyna Trojanowska. Introduction to Foundry Production Technologies and Automation. – Poznań, Poland: Publishing House of Poznan University of Technology, 2024. – P.104.
2. Тітов Н. Д. Технологія ливарного виробництва / Тітов Н. Д., Степанов Ю. А. – М.: Машинобудування, 1978. – 432 с.
3. Матвеєнко І. В. Формовочне та стержневе обладнання ливарних цехів / Матвеєнко І. В., Ісагулов А. З. – Караганда: Видавництво КарГТУ, 2004. – 215 с.
4. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів / Сумцов В. П. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
5. Зайгеров І. Б. Обладнання ливарних цехів: [Навч. посібник для вищих навчальних закладів за спеціальністю «Машини та технологія ливарного виробництва»]. – Мн.: Вища школа, 1980. – 368 с.
6. Горський А. І. Розрахунок машин ливарного виробництва. – М.: Машинобудування, 1966. – 399 с.
7. Горський А. І. Розрахунок машин і механізмів ливарного виробництва. – М.: Машинобудування, 1978. – 551 с.
8. Аксьонов П. М., Орлов Г. М., Благонравов Б. П. Машини ливарного виробництва. Атлас конструкцій. Навчальний посібник для машинобудівних вищих навчальних закладів за спеціальністю «Машини та технологія ливарного виробництва». – М.: «Машинобудування», 1972. – 268 с.
9. Мархель І. І. Деталі машин: Навчальний посібник. – К.: Алерта, 2005. - 368 с.
10. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О. М. Закладний, В. В. Прокопенко, О. О. Закладний – К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 316 с.
11. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.

12. Гевко Р. Б. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання: навчальний посібник до лабораторних робіт / Р. Б. Гевко, Н. І. Хомик, О. С. Жаровський, Т. А. Довбуш. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. – 256 с.
13. Деталі машин і основи конструювання: конспект лекцій / укладач В. В. Стрелец. – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 150 с.
14. Хомик Н. І. Деталі машин: курс лекцій / Н. І. Хомик, А. Д. Довбуш, О. П. Цьонь. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 160 с.
15. Дереза О. О. Інженерна механіка (деталі машин): посібник-практикум (Частина 2)/ О. О. Дереза, О. М. Леженкін, О. О. Вершков, Є. А. Гавриленко, А. О. Смелов, Ю. О. Дмитрієв – Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2021. – 132 с.

# ДОДАТКИ