

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)
« ____ » _____ 2024__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Проектування маятникового змішувача
продуктивністю 25 м³/год»**

«Design of a pendulum mixer with a capacity of 25 m³/h»

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи _____ ПМ(ОЛ)-21-3СК
_____ Сергій Губрій
(прізвище та ініціали)

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк _____»
спеціальності _131 «Прикладна механіка»
Керівник роботи:

к.т.н., доц.
_____ Олександр СКРИПНИК
(прізвище та ініціали)

Рецензент:
к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали)

Кропивницький – 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М та ЛВ

Олександр КУЗИК
«_____» _____ 2024 р.

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

Губрій Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Проектування маятникового змішувача продуктивністю 25 м³/год
- Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК
- Строк подання роботи до захисту 10.05.2024
- Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:
Спроекувати маятниковий змішувач продуктивністю 25 м³/год

Завдання:

- Виконати аналіз існуючих типів змішувачів
- Описати конструкцію та принцип роботи маятникового змішувача
- Розрахувати технологічні параметри змішувача
- Розробити математичну модель розрахунку часу спрацювання пневмоциліндру
- Розрахувати основні елементи приводу
- Техніка безпеки і покращення умов праці

Перелік графічного матеріалу:

- Маятниковий змішувач
- Каток

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих типів змішувачів	6.05.2024	
2	Опис конструкції та принципу роботи маятникового змішувача	9.05.2024	
3	Розрахунок технологічних параметрів змішувача	11.05.2024	
4	Розробка математичної моделі розрахунку часу спрацювання пневмоциліндру	13.05.2024	
5	Розрахунок основних елементів приводу	16.05.2024	
6	Техніка безпеки і покращення умов праці	22.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2024	
8	Оформлення презентації роботи	3.06.2024	
9	Здача роботи на кафедру та перевірка наявності запозичень	10.05.2024	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2024__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2024__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Сергій ГУБРІЙ)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 64 стор. друкованого тексту і містить 22 рис., 6 табл., 22 літературних посилань.

В бакалаврській роботі виконано опис і обґрунтування вибору обладнання для приготування формувальної суміші, проаналізовано і розраховано робочий процес маятникового змішувача, визначено його основні параметри і розміри, потужність приводів, запропонована математична модель часу спрацювання пневмоциліндру, описані заходи по створенню безпечних умов праці.

Об'єкт розробки – проектування маятникового змішувача продуктивністю 25 м³/год.

Предмет розробки – визначення конструктивних та технологічних параметрів маятникового змішувача.

Результати проектування – спроектовано маятниковий змішувач продуктивністю 25 м³/год.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при виробництві формувальних та стержньових сумішей в умовах серійного та масового виробництва.

МАЯТНИКОВИЙ ЗМІШУВАЧ, ЗМІШУВАЧІ, СУМІШ, КАТКИ, ПЛУЖКИ, БУНКЕР – ДОЗАТОР, ПНЕВМОЦИЛІНДР, РОТОР, ЛОТОК, БАНДАЖ, БІГУНИ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ПРИВОД

ABSTRACTS.

The explanatory note is presented on 30 pages of printed text and contains 22 figures, 6 tables, 22 references.

The bachelor's thesis describes and justifies the choice of equipment for the preparation of the molding mixture, analyzes and calculates the working process of the pendulum mixer, determines its main parameters and dimensions, drive power, proposes a mathematical model of the pneumatic cylinder operating time, and describes measures to create safe working conditions.

The object of development is the design of a pendulum mixer with a capacity of 25 m³/h.

Subject of development - determination of design and technological parameters of the pendulum mixer.

Design results - a pendulum mixer with a capacity of 25 m³/h was designed.

The results of the development can be recommended for implementation in the production of molding and core mixtures in serial and mass production.

**PENDULUM MIXER, MIXERS, MIXTURE, ROLLERS, PLOWS,
HOPPER - DOSING UNIT, PNEUMATIC CYLINDER, ROTOR, TRAY, BAND,
RUNNERS, ELECTRIC MOTOR, DRIVE**

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
1 Аналіз існуючих типів обладнання для приготування формувань сумішей.....	7
1.1 Змішуючі ливарні бігуни з вертикальними котками.....	7
1.2 Маятникові (відцентрові) змішуючі бігуни.....	9
1.3 Лопаткові змішувачі.....	11
1.4 Інші типи змішувачів.....	14
2 Опис конструкції та принцип роботи маятникового змішувача.....	17
3 Розрахунок основних технологічних параметрів змішувача.....	22
3.1 Розрахунок кінематичної схеми змішуючих бігунів.....	23
3.2 Розрахунок потужності електродвигуна	26
3.3 Визначення маси катка	30
4 Математична модель розрахунку часу спрацювання пневмоциліндра.....	31
5. Розрахунок основних елементів приводу на міцність.....	44
5.1. Перевірочний розрахунок конічних та циліндричних коліс.....	45
5.2 Розрахунок конічних коліс на довговічність по контактним напруженням.....	50
5.3 Перевірочний розрахунок циліндричних коліс редуктора.....	51
5.4 Розрахунок циліндричних коліс на довговічність по контактним напруженням.....	56
5.5 Розрахунок зусиль, що діють на зубці коліс.....	57
6. Техніка безпеки і покращення умов праці.....	59
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	61
ЛІТЕРАТУРА.....	62
ДОДАТКИ.....	64

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, які базуються на безвідходній технології і інтегрованих з АСУТП, АРМ, впровадження роботів і маніпуляторів, закриття або переоснащення цехів, ділянок 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.

За останні два десятиліття в світі величезну увагу приділили технології виробництва виливків у сирих піщано-глинистих формах [1].

Цей напрямок вдосконалення технології виготовлення виливків дійсно відкрив нові можливості для промисловості. Завдяки йому стало можливим виробництво геометрично точних виробів з тонкими стінками та складною конфігурацією, що раніше було важко досяжною метою через обмежені можливості технології.

Зросла і важливість формувальної суміші, яка стала ключовим елементом у виробництві виливків. Регулювання її властивостей стало критичним для забезпечення якості і стабільності виробництва. З урахуванням розвитку автоматизованих систем у виробництві, наголос на стабільності якісних показників стає ще більш важливим.

Ефективна робота автоматичних формувальних ліній вимагає розробки і використання новітнього обладнання для виготовлення високоякісної формувальної суміші.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТИПІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

1.1 Змішуючі ливарні бігуни з вертикальними котками

Змішуючі бігуни з вертикальними котками (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 катки за допомогою плужків. Готовий заміс вивантажується зі змішувача через люк 7 у днище чаші. Наведений на схемі змішувач є машиною циклічної дії [2].

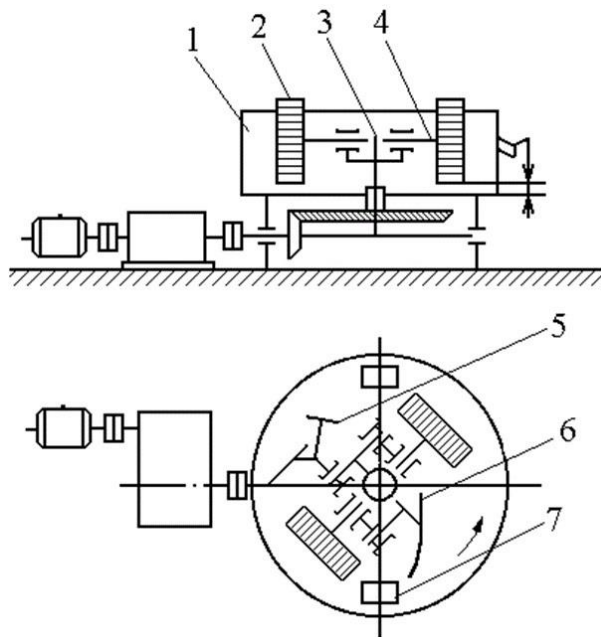


Рисунок 1.1 – Схема змішувачів ливарних бігунів

На рис. 1.2 зображений змішувач безперервної дії. Змішувач складається з привода 1, основи 2, ковпака 3, обичайки 4, розвантажувального пристрою 5, патрубку 6 для відведення повітря від вентилятора, патрубку 7 для приєднання до вентиляційної системи, стрічкового конвеєра 8, бункерів 9, 10, 11 для зворотної формувальної суміші, порошкових добавок і свіжого піску та відповідних, дозаторів - коробчастих 12, 14 і секторного 13. Конструкція має два вертикальних вали 15, дві траверси 16 з розсувними пристроями і чотири катки 17. Над лівою

чашею змонтовано розподільник формувальних матеріалів. Дозатор для порошкових домішок 13 - це два секторних барабани з власними приводами [3].

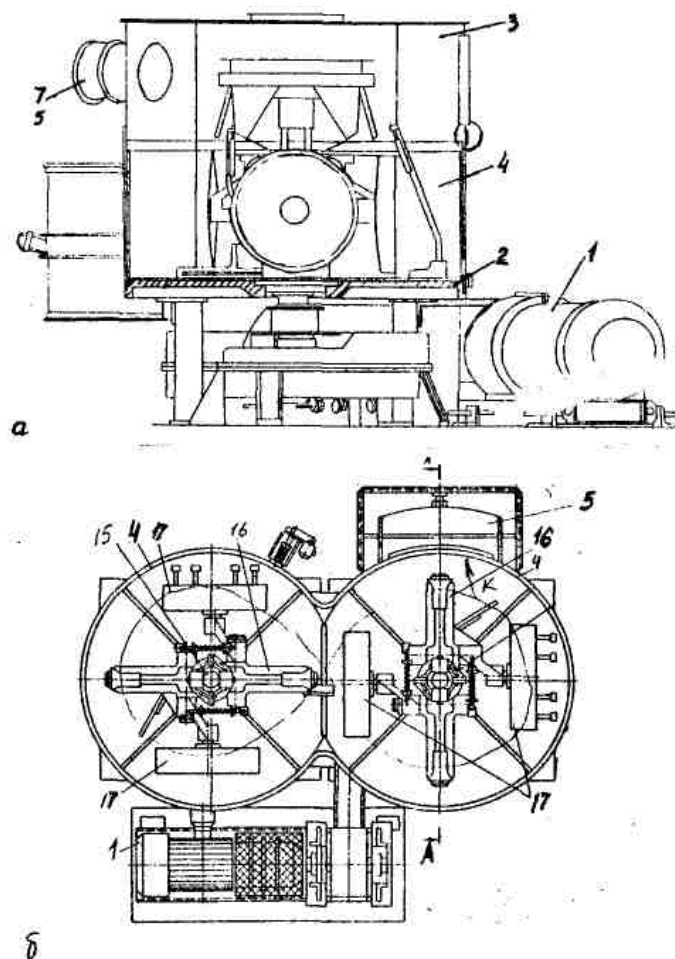


Рисунок 1.2 – Схема змішувача типу бігунів безперервної:

а - загальний вигляд; б - горизонтальна проекція при знятому ковпаку

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 скребки підхоплюють завантажений матеріал і переміщують його до катків і далі до бічної поверхні чаші.

Під дією відцентрових сил у місці з'єднання обох чаш суміш переноситься в ліву чашу змішувача, а потім повертається в праву і т.п. Однак з лівої чаші в праву суміш повертається в трохи меншій кількості. Різниця в кількості суміші, яка надійшла і повернулась за кожен оберт змішуючого механізму видаляється через постійно відкритий люк у днищі лівої чаші.

Висока якість змішування можлива тільки в тому випадку коли матеріали,

які 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.

Використання традиційних змішувачів типу бігунів при приготуванні формувальних сумішей може призвести до повільного розподілу та засвоєння води бентонітом через їх низьку ефективність змішування. У результаті цього вологість суміші поступово збільшується протягом процесу змішування. Це може призвести до недостатнього розподілу бентоніту та недостатнього засвоєння води, оскільки час перемішування у таких змішувачах зазвичай досить обмежений, становлячи від 2 до 5 хвилин [4].

Для досягнення кращих результатів у змішуванні і забезпечення належного розподілу води і бентоніту може бути доцільним використання більш ефективних змішувачів або модифікація процесу змішування, наприклад, застосування додаткових технологій або збільшення тривалості процесу змішування. Такі заходи можуть допомогти покращити якість суміші і забезпечити більш ефективне використання бентоніту та води у виробництві.

1.2 Маятникові (відцентрові) змішуючі бігуни

У цих змішувачах матеріал перемішується і на дні, і на стінках чаші. 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 [5].

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.

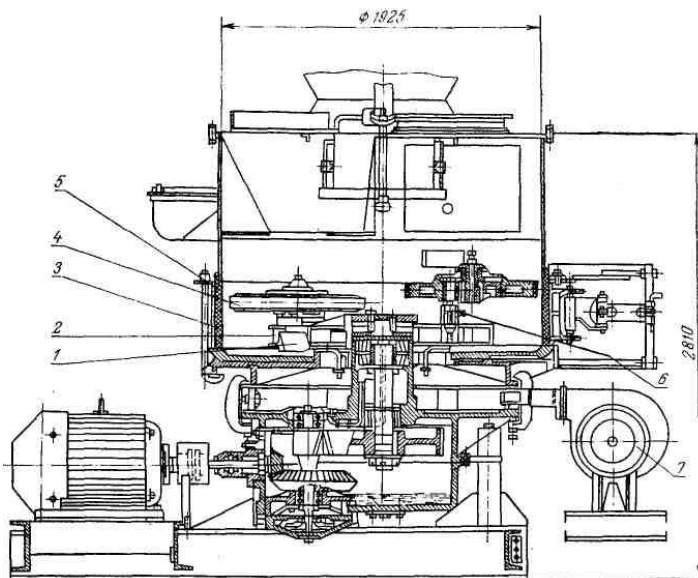


Рисунок 1.3 – Маятникові змішуючі бігуни

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.

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 пилу, 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.

Маятникові (відцентрові) змішуючі бігуни також мають ряд недоліків, головними з яких є невисока продуктивність, не екологічність (забруднюють атмосферу), складність вбудовування в автоматичні лінії [6].

1.3 Лопаткові змішувачі

Лопатковий змішувач (рис. 1.4) представляє з себе 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 [7].

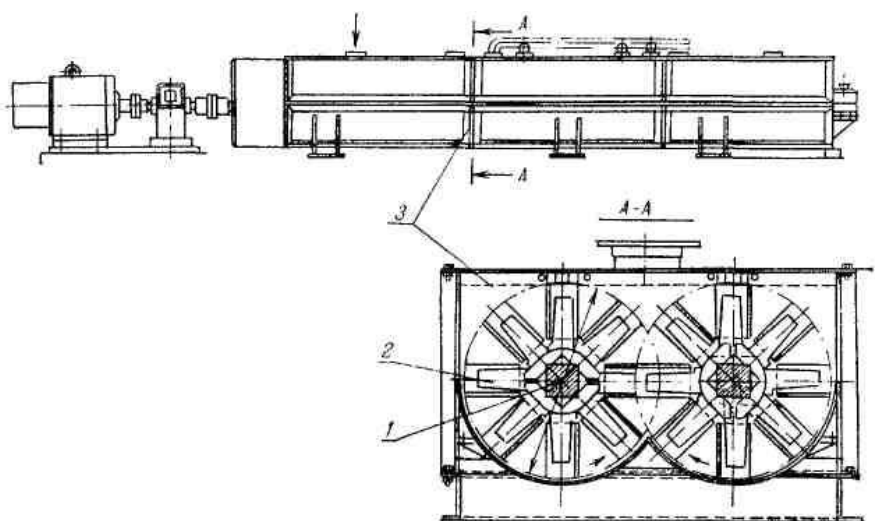


Рисунок 1.4 – Лопатковий двовальний змішувач

У змішувачах безперервної дії завантажені матеріали і суміш безупинно переміщуються вздовж корита, причому тверді компоненти завантажуються в голві 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).

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

Залежно від виду зв'язучої 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 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, яке відкривається.

В ливарному виробництві широко застосовуються автоматизовані установки для виготовлення холоднотвердіючих стержньових сумішей [8]. Установка представляє собою лопатковий змішувач 2 (рис. 1.5) з електромеханічним приводом 4, який змонтований на кронштейні поворотного важеля і обертається навколо вертикальної осі колони підстави 5.

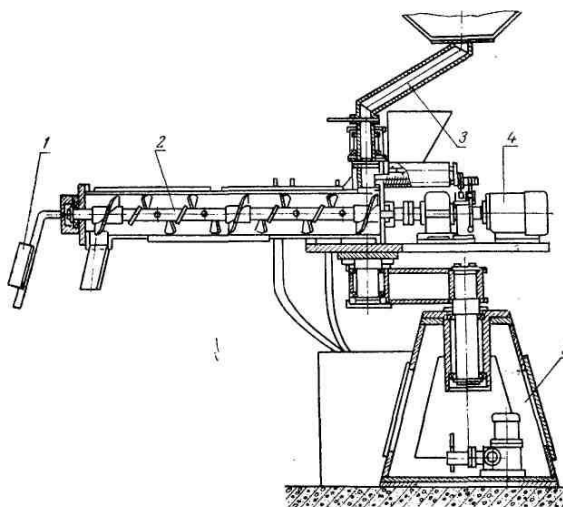


Рисунок 1.5 – Лопатковий змішувач

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, в якій обертається вал, на якому змонтовані гвинтові площини і лопатки між ними, посаджені під кутом 45° і 60° до осі валу. 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 ($2,5 \text{ м}^3/\text{год}$).

На рис. 1.6 показана автоматизована установка для виготовлення стержнів із самотвердіючих сумішей [9]. 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.

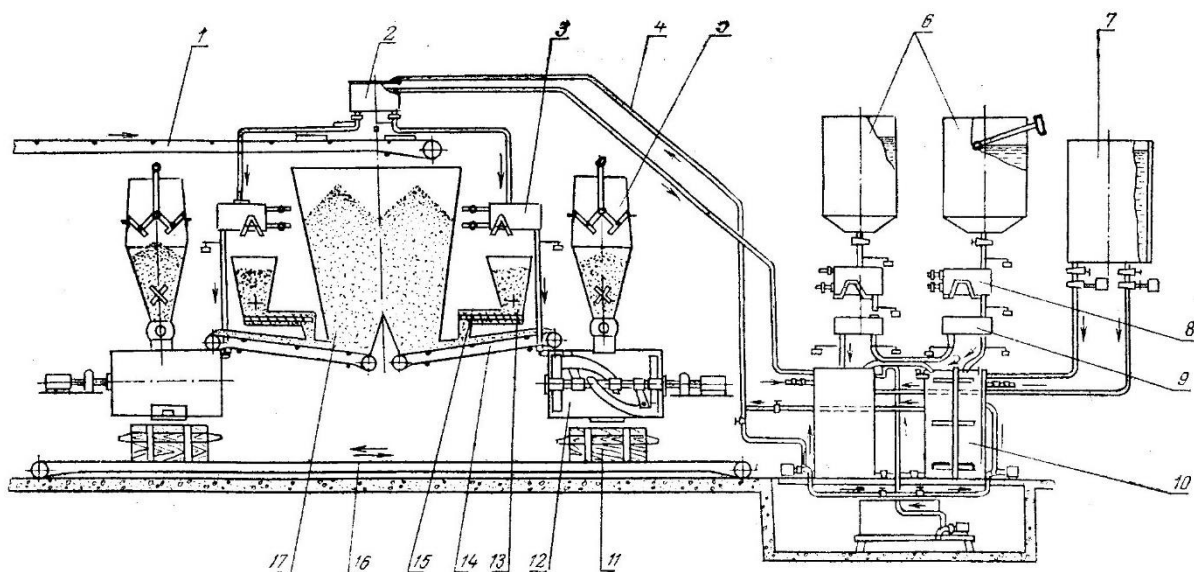


Рисунок 1.6 – Схема установки для приготування самотвердіючих сумішей

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 один з лопаткових змішувачів 12.

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

В лопаткових змішувачах суміш перетирається та ущільнюється в дуже малому обсязі і повного обволікання зерен піску глинистою оболонкою не відбувається. Із цієї причини лопаткові змішувачі не одержали широкого поширення і застосовуються переважно тоді, коли технологічно можливе приготування наповнюючих або єдиних сумішей з невеликим відсотком свіжих добавок, а також для приготування рідких самотвердіючих сумішей та холоднотвердіючих сумішей.

1.4 Інші типи змішувачів

Прагнення використати принцип безперервності при приготуванні формувальних сумішей призвело до створення деяких типових змішувачів інших конструкцій. До них відносяться: барабанний, вихровий, комбінований та інші.

Барабанний змішувач безперервної дії (рис. 1.7) представляє собою циліндричний барабан 3, усередині якого розміщені вал-коток 5, розпушувач 2, скребок 4 і напрямні пластини 1 [7].

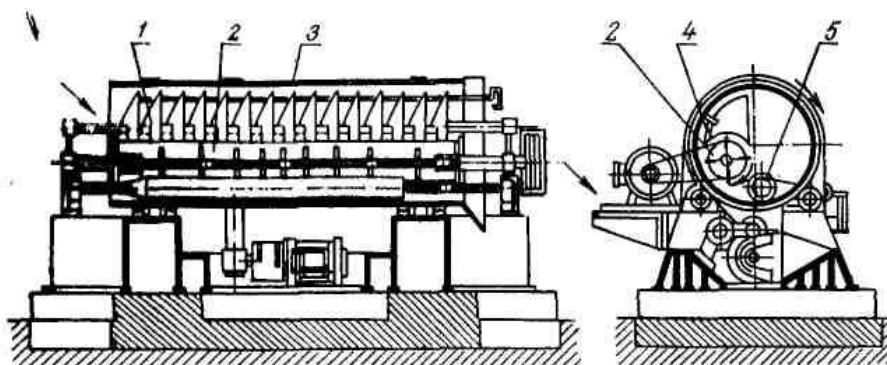


Рисунок 1.7 – Барабанний змішувач

Вал-коток закріплений шарнірно на важелях і притискається до суміші, обертаючись за рахунок сил тертя об суміш.

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 лопатки 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.

Вихрове змішування є ефективним процесом, який дозволяє досягти високоякісного результату у виробництві сумішей. Висока лінійна та обертальна швидкість руху частинок наповнювача досягається завдяки вихровій головці і сприяє рівномірному розподілу компонентів у суміші, як в об'ємі, так і на поверхні зерен наповнювача [10].

Інтенсивний рух суміші та кожної її частинки забезпечує отримання однорідної суміші з високим ступенем гомогенності. Більш того, високі швидкості руху зерен та постійне зіткнення частинок призводять до механічної активації сполучного комплексу, що підвищує міцнісні характеристики суміші.

Загальний вид вихрового змішувача наведено на рис. 1.8.

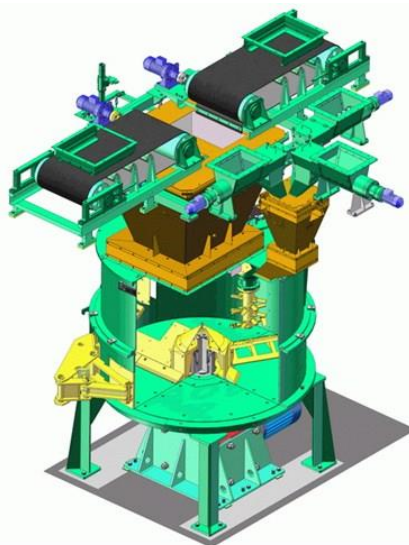


Рисунок 1.8 – Вихровий змішувач

Постійна аерація суміші під час перемішування також має важливе значення, оскільки вона поліпшує формуємість і ущільнюємість суміші.

Змішувач безперервної дії, в якому обертається чаша (рис. 1.9) складається

з чаші 1, виконаної так, щоб вона могла обертатися за допомогою електродвигуна 2, редуктором 3, на вихідному валу якого закріплено шестерню, яка знаходиться в зачепленні з шестернею 4, закріпленою на чаші [11]. Чашу встановлено на катках 5. Над чашею на стійках 6 встановлено 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 розвантажується формівна суміш, формівні матеріали завантажуються біля борту чаші. Змінюючи, кут нахилу плужків 8, можливо регулювати якість формівної суміші та продуктивність змішувача.

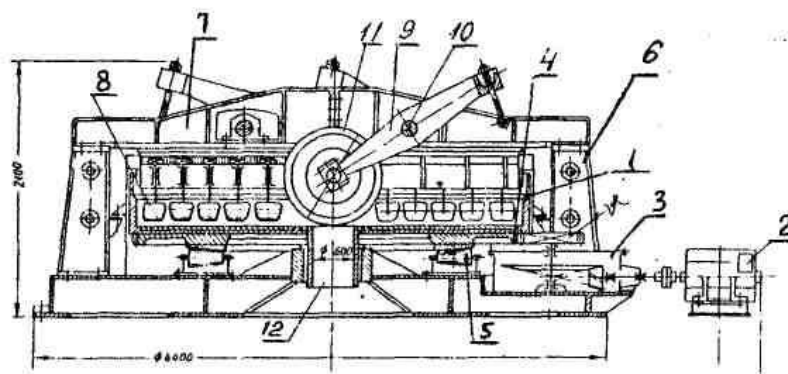


Рисунок 1.9 – Схема змішувача безперервної дії, в якому обертається чаша

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 об'ємі яких розміщені дві різні по конструкції лопаткові мішалки 3 і 4 з незалежними приводами. Лопаткові мішалки обертаються назустріч одна одній.

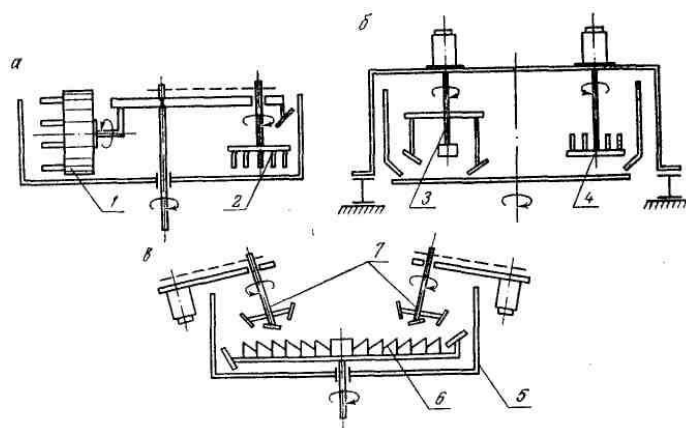


Рисунок 1.10 – Схеми інших типів ливарних змішувачів:

а - з одним катком і розпушувачем; б - з двома лопатковими мішалками; в - зі змішувальними лопатками і двома мішалками

Застосовуються також змішувачі, над дном чаші 5 яких (рис. 1.10 в) обертаються спеціальні лопатки 6, які забезпечують змішування компонентів. Подальшу обробку суміші виконують дві лопаткові мішалки 7.

Слідє відмітити що такі змішувачі завдяки складності конструкції не знайшли широкого поширення в автоматичних лініях сумішеприготування.

Проаналізувавши існуючі конструкції обладнання, приходимо до висновку, що для умов масового і великосерійного виробництва оптимальним варіантом для приготування формувальних сумішей, є маятникові (відцентрові) змішуючі бігуни. Дані бігуни мають ряд переваг, а саме:

- 1) висока якість приготованої суміші;
- 2) малі габарити;
- 3) простота конструкції.

Вказані переваги забезпечують ефективність роботи устаткування та його економічну вигідність.

2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ МАЯТНИКОВОГО ЗМІШУВАЧА

Маятниковий (відцентровий) змішувач, який показано на рис. 2.1, є одною з найбільш продуктивних машин для приготування якісних формувальних та стержньових сумішей [12].

Змішувач складається з рами 1 (рис. 2.2), чаші 9, кожуха 11 і ротора 8. Чаша змонтована на приводі корпусу ротора і представляє собою піддон, який є дном робочої порожнини, з циліндричною обичайкою, яка утворює бокову поверхню робочої порожнини. Внутрішня поверхня обичайки облицьована резиною, яка складається з окремих секцій, які кріпляться до чавунного борту чаші на болтах, залитих в резині.

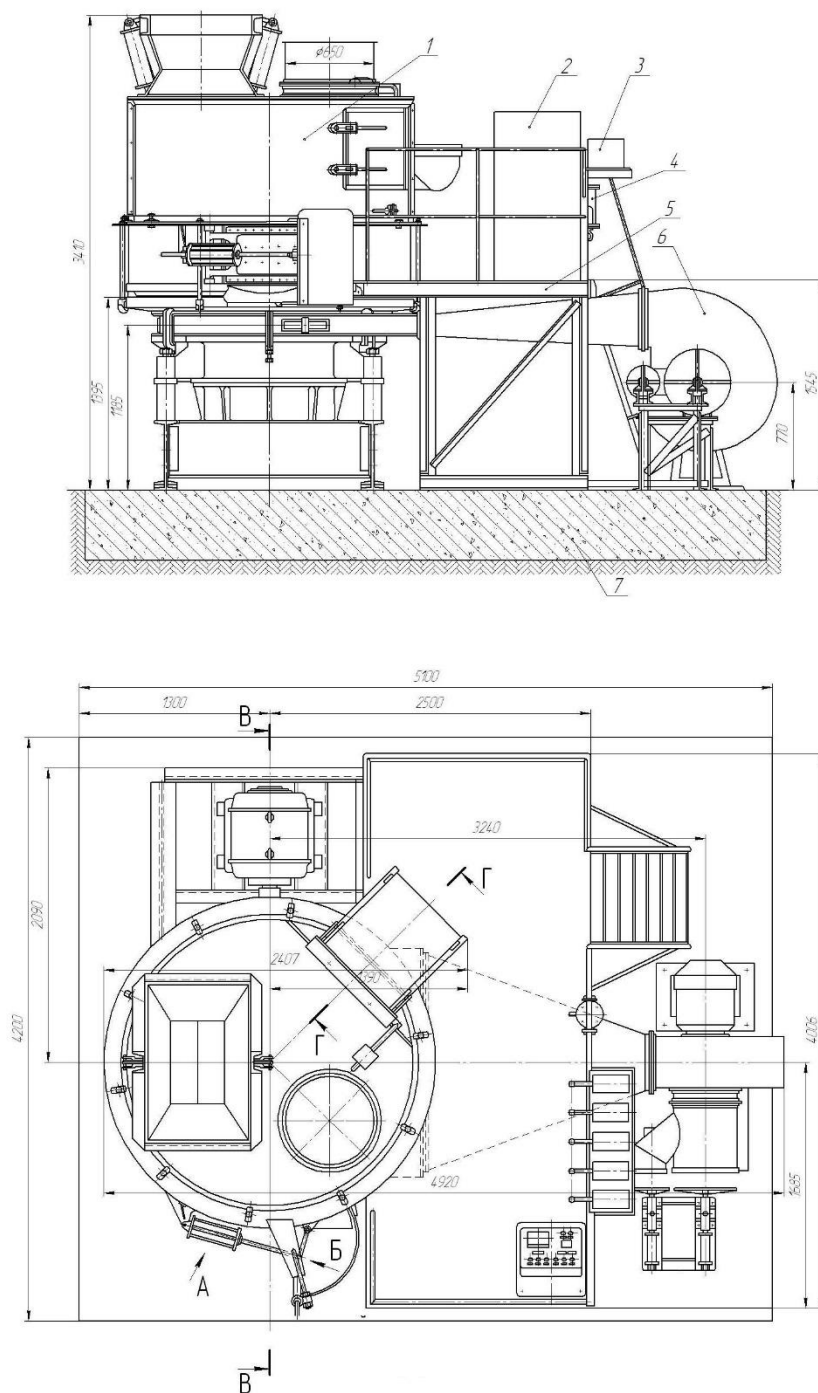


Рисунок 2.1 – Загальний вид маятникового змішувача

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 уловлюється козирком, від якого по трубі підводиться до верхнього підшипника вертикального валу малого косозубого колеса.

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 ободу 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 (рис. 2.2), можна змінювати величину зазору в межах від 25 до 50 мм. Катки розташовані на різній висоті від робочої порожнини.

На роторі закріплені два скребки, один з яких нахилений під кутом 45° , а інший під кутом 60° до горизонту. При обертанні ротора скребки захоплюють суміш і відкидають її до обичайки. Одночасно відбувається перемішування складових суміші. Потоки суміші від кожного з скребків попадають під відповідний каток. Катки, які притискаються відцентровими силами до обичайки, перекочуються по суміші, розминають грудки і частково зміцнюють суміш, що сприяє покриттю зерен піску плівкою зв'язуючого [12].

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

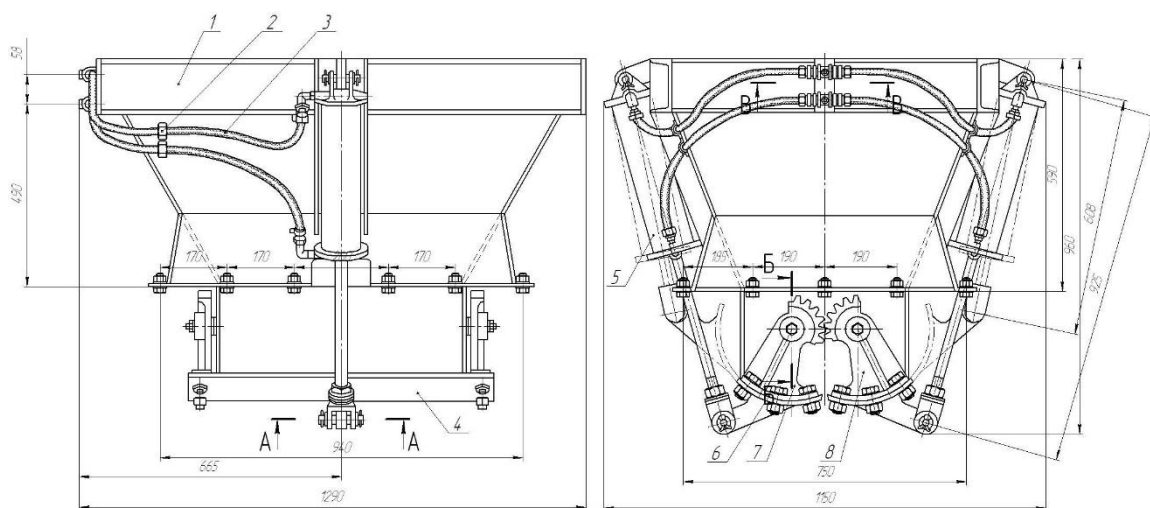


Рисунок 2.4 – Бункер - дозатор

Відкриття затвору проводиться пневматичними циліндрами 11 (рис. 2.5). Свіжі добавки в змішувач завантажуються лотком 12, який шарнірно закріплений на кожусі і обертається пневматичним циліндром 11.

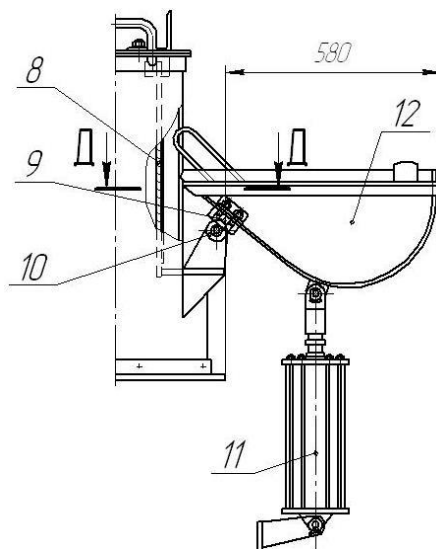


Рисунок 2.5 – Лоток

При обертанні лотка навколо осі 10 його важіль відтискає шарнірно закріплену вертикальну дверцят, і добавки всипаються в чашу.

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

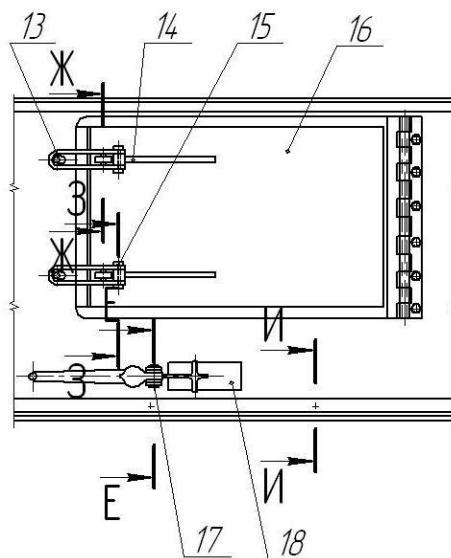


Рисунок 2.6 – Дверцята

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 (рис. 2.2), розташовану під ротором. Вентилятор має два всмоктувальних патрубків, які зачиняються заслінками за допомогою пневмоциліндрів. 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 ЗМІШУВАЧА

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.

Основні параметри і розміри бігунів регламентуються ГОСТ 8664-64 і ГОСТ 15955-70.

При проектуванні бігунів для заданого об'єму замісу вибирають основні робочі параметри машини: розміри чаші (внутрішній діаметр і висота), діаметр і ширину катків, 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, визначають масу катків, виконати розрахунок на міцність деталей редуктора.

3.1 Розрахунок кінематичної схеми змішуючих бігунів

Вихідні дані:

- кількість зубців колеса: $z_1 = 13$; $z_2 = 56$; $z_3 = 21$; $z_4 = 96$;
- частота обертів на вихідному валу: $n_3 = 74$ об/хв;
- крутний момент: $M_K = 8600$ Н·м.

Кінематична схема приводу маятникового змішувач наведена на рис. 3.1.

Визначаємо передаточні числа:

$$u_k = \frac{z_2}{z_1} \quad (3.1)$$

$$u_k = \frac{56}{13} = 4,31 - \text{конічної передачі};$$

$$u_y = \frac{z_4}{z_3} \quad (3.2)$$

$$u_y = \frac{96}{21} = 4,57 - \text{циліндричної передачі};$$

$$u_p = u_k \cdot u_y \quad (3.3)$$

$$u_p = 4,31 \cdot 4,57 = 19,65 - \text{редуктора}$$

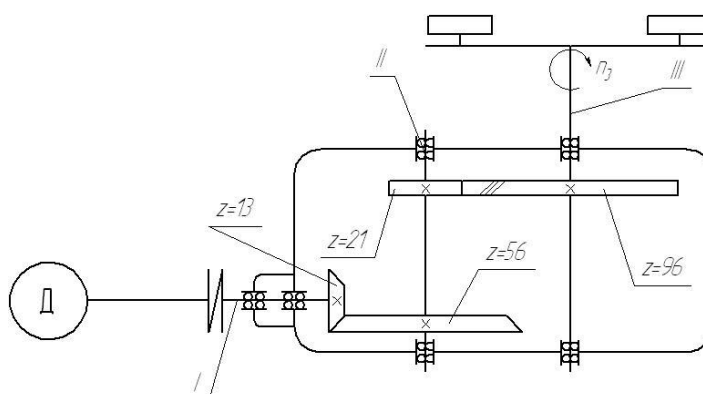


Рисунок 3.1 – Кінематична схема приводу маятникового змішувача

Приймаємо передаточне число редуктора $u_p = 20$ [13].

Частоту обертів на валах:

$$n_3 = 74 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = n_3 \cdot u_y \quad (3.4)$$

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

$$n_1 = n_2 \cdot u_\kappa \quad (3.5)$$

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

Потужності на валах:

$$N_3 = \frac{M_\kappa n_3}{9550} \quad (3.6)$$

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

$$N_1 = N_{\text{ов}} = \frac{N_3}{\eta_0} \quad (3.7)$$

де η_0 - ККД приводу.

Коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta_0 = \eta_\kappa \cdot \eta_y \cdot \eta_n, \quad (3.8)$$

де $\eta_\kappa = 0,96$ - ККД конічної передачі [14];

$\eta_y = 0,97$ - ККД циліндричної передачі [14];

$\eta_n = 0,99$ - ККД пари підшипників [14]

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

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

За розрахованою потужністю та частотою обертання вибираємо асинхронний електричний двигун АО – 93 – 4, який має таку технічну характеристику [15]:

- потужність $N_{\partial\partial} = 75 \text{ кВт}$;
- частота обертання $n_{\partial\partial} = 1500 \text{ об/хв}$;
- ковзання $S = 3 \%$;
- номінальний момент $M_H = 1035 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Дійсна частота обертання на вхідному валу буде дорівнювати:

$$n_1 = n_{\partial\partial} (1 - S) \quad (3.9)$$

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

Кутові швидкості:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} \quad (3.10)$$

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1460}{30} = 153 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} \quad (3.11)$$

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 338}{30} = 35 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3 = \frac{\pi n_3}{30} \quad (3.12)$$

$$\omega_3 = \frac{3,14 \cdot 1460}{30} = 7,75 \text{ рад/с}$$

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 та ін.

Точний розрахунок потужності електропривода бігунів, що враховує вплив всіх перерахованих факторів, викликає більші труднощі, тому що робочий процес сумішеприготування вивчений недостатньо повно.

Для розрахунку потужності електропривода бігунів необхідні слідуючі вихідні дані - технічна характеристика змішуючи бігунів наведена (табл.3.1), вага замісу $m = 500$ кг, Міцність суміші в сирому стані $\sigma = 0,7$ кг/см² [16].

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика змішуючи бігунів

Параметр	Розмірність	Значення
Об'єм замісу	м ³	0,4
Розміри чаші: - діаметр× висота	мм	1925×475
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:

$$N = N_{xx} + (N_{nl} + N_{кат}) \frac{1}{1 - \beta_{втр}}, \quad (3.13)$$

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.

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

Потужність холостого ходу:

$$N_{x.x.} = M_H \omega_3 \quad (3.14)$$

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

Потужності для переміщення робочих плужків:

$$N_{nl} = k\gamma\omega^2 mg, \quad (3.15)$$

де γ - геометричний параметр, який характеризує розміри, кут нахилу та конфігурацію перерізу плужків.

Параметр γ визначається по формулах:

$$\gamma = \sum_{i=1}^j \gamma_i, \quad (3.16)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{3} \left[h_1 (r_2^3 - r_1^3) + h_2 (r_3^3 - r_2^3) \right], \quad (3.17)$$

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

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

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

β_i - кут нахилу плужка до горизонту.

Робочі плужки бігунів виготовляються двох типів (рис. 3.2, а і б) [16].

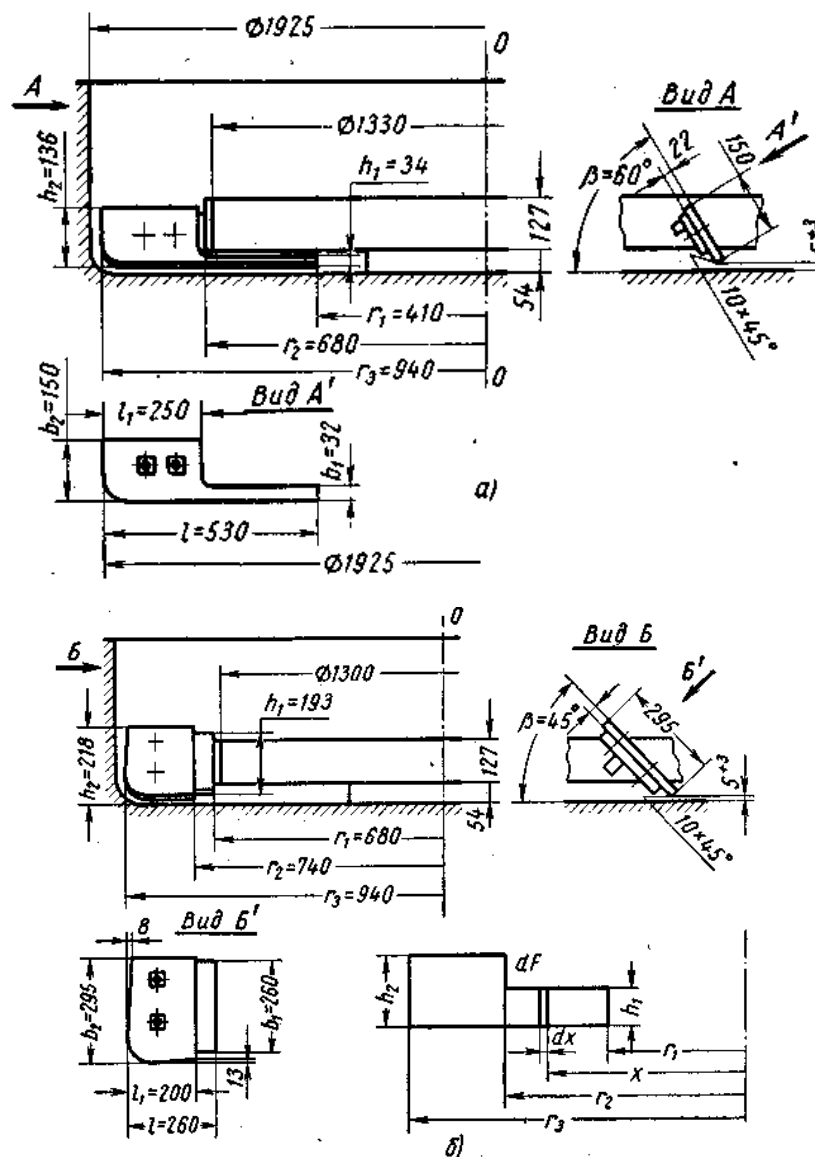


Рисунок 3.2 – Робочі плужки

Тоді:

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

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

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

Коефіцієнт k з достатньою точністю виражається емпіричною формулою:

$$k = (0,7 + 3 \cdot 10^{-5} \sigma) \quad (3.18)$$

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

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

$$N_{кат} = \beta_{кат} (N - N_{х.х.}), \quad (3.19)$$

де $\beta_{кат}$ - безрозмірний емпіричний коефіцієнт; $\beta_{кат} = 0,1 \div 0,2$ [16].

Одержимо розрахункову формулу для визначення потужності привода маятникових (відцентровий) змішувачів:

$$N = N_{х.х.} + \frac{k\gamma\omega^2 mg}{1 - \beta_{кат} - \beta_{emp}}, \quad (3.20)$$

де $\beta_{втр} = 0,03 \div 0,05$ - коефіцієнт втрат [16]

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

Складові потужності:

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

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

3.3. Визначення маси катка

Вихідні данні для визначення маси катка наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Параметри бігунів

Параметр	Розмірність	Значення
Внутрішній діаметр чаші, D_q	мм	1925
Діаметр катка, D_k	мм	810
Відношення діаметр катка і чаші, $\frac{D_k}{D_q}$	—	0,42
Мінімальний зазор між катками і чашею, Δ	мм	25

Маса катка:

$$m_k = \frac{P_y}{\omega^2 l_0}, \quad (3.21)$$

де $P_y = (3950 \pm 250) \text{ Н} = (400 \pm 25) \text{ кгс}$ - відцентрова сила;

ω - кутова швидкість обертання вертикального валу бігунів:

$$\omega = 2\pi n \quad (3.22)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,235 = 7,75 \text{ рад/с}$$

l_0 - радіус центра катка

$$l_0 = \frac{1}{2}(D_q - D_k) - \Delta \quad (3.23)$$

$$l_0 = \frac{1}{2}(1925 - 810) - 25 = 532,5 \text{ мм}$$

Тоді:

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

4 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ЧАСУ СПРАЦЮВАННЯ ПНЕВМОЦИЛІНДРА

Розглянемо схему роботи пневмоприводу (рис. 4.1). Отримавши команду, пневморозподільник спрацює не відразу (час спрацювання пневморозподільника $t = 0,01 \dots 0,1$ с); потрібний час, щоб хвиля повітря високого тиску дійшла по трубопроводу від пневморозподільника до циліндра, с:

$$t_2 = \frac{L_m}{a} \quad (4.1)$$

де L_m - довжина труби, м; a - швидкість звуку в повітрі, за температури 20°C , $a = 341$ м/с [17].

Для того щоб поршень, почав рухатися, необхідно, щоб сила тиску повітря

на поршень перевищувала суму сил опору. Отже, потрібно обчислити час, необхідний для підвищення тиску, а же потім визначити час руху поршня.

У посудині змінного об'єму V знаходиться повітря масою M . У цей об'єм одночасно повітря через отвір f_m надходить із магістралі dM_m і з цього об'єму через отвір f_a витікає в атмосферу dM_a .

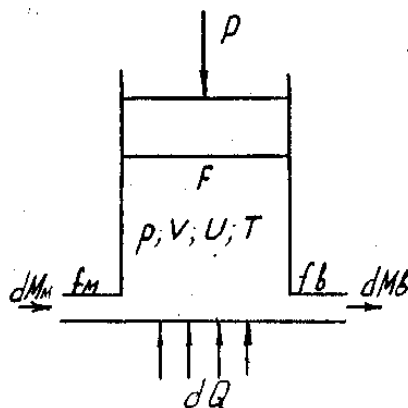


Рисунок 4.1 – Схема роботи пневмопривода

Цей процес описується першим законом термодинаміки:

$$\delta Q = dU + dL \quad (4.2)$$

де Q - теплота, Дж;

U - внутрішня енергія, Дж;

L - робота, Дж.

Якщо позначити через Π_m енергію 1 кг маси газу, який надходить в об'єм, і Π_a - енергію 1 кг маси газу, який витікає з об'єму, то згідно з першим законом термодинаміки можна записати:

$$dQ + \Pi_m dM_m = dU + dL + \Pi_a dM_a \quad (4.3)$$

Пневмопривод працює дуже швидко, тому $dQ = 0$. Оскільки при збільшенні тиску p поршень F підніметься і тиск знову становитиме $p = P/F$ (P сила, яка діє на поршень площею F), то процес можна вважати ізобарним, тоді - $dL = p dV$.

Окрім того:

$$dU = d(MU) = U dM + M dU$$

$$U = C_V T$$

$$dU = C_V dT$$

$$\Pi_M = C_P T_M \quad (4.4)$$

$$\Pi_A = C_P T_A$$

$$C_P T_M dM_M = C_V T dM + M C_V dT + C_P dT M_A$$

Продиференціюємо рівняння Менделєєва ($pV = MRT$):

$$pdV + Vdp = RTdM + RMdT \quad (4.5)$$

Звідси:

$$MdT = \frac{1}{R}(Vdp + pdV) - TdM \quad (4.6)$$

$$C_P T_M dM_M = C_V T dM + C_V \left(\frac{1}{R}(Vdp + pdV) - TdM \right) p dM + C_P dT M_A \quad (4.7)$$

Праву і ліву частини поділило на C_V , а також помножимо R :

$$\frac{C_p}{C_v} RT_M dM = RT dM + V dp + p dV - RT dM + \frac{R}{C_v} p dV + \frac{C_p}{C_v} RT_A dM_A \quad (4.8)$$

Враховуючи, що

$$\frac{C_p}{C_v} = k \quad (4.9)$$

де k - показник адіабати, для повітря $k=1,41$ [18]; запишемо:

$$kRT_M dM - kRT_A dM_A = V dp + k p dV \quad (4.10)$$

де $R = C_p - C_v$

Отримали дуже важливе рівняння, за допомогою якого можна описати, динамічні процеси, які проходять у багатьох пневматичних пристроях.

Якщо отримано сигнал на роботу пневмоциліндра, пневморозподільник підминає циліндр до магістралі, проте тиск у циліндрі ще недостатній для того, аби зрушити з місця поршень. У цьому разі $dV=0$ і рівняння набуває вигляду:

$$kRT_M dM = V dp \quad (4.11)$$

Процес пересування поршня пневмоциліндра ($dM_a = 0$) описується рівнянням:

$$kRT_M dM = V dp + k p dV \quad (4.12)$$

Процес витікання повітря з ресивера ($dV=0$; $dM_a=0$):

$$-kRT_A dM_A = V dp \quad (4.13)$$

Процес стиснення або розширення повітря, коли закриті впускні і випускні отвори:

$$kpdV + Vdp = 0 \quad (4.14)$$

Процес випорожнення за змінного об'єму (стан повітря в циліндрі, коли поршень опускається, $dM_M = 0$; $dV \neq 0$):

$$-kRT_A dM_A = kpdV + Vdp \quad (4.15)$$

Можна записати:

$$dM_M = G_M dt; \quad dM_A = G_A dt \quad (4.16)$$

де G_M, G_A - витрати повітря, що витікає відповідно з магістралі та циліндра, кг/с;
 t - час витікання, с.

Витрати повітря при витіканні можна обчислити аналітично. Розглядаючи термодинамічну систему, ми не враховували швидкостей припливу і витікання газу. В так званих "відкритих системах" в одному місці газ вводиться зі швидкістю ω , і параметрами p_2, V_2, T_2 .

Згідно з першим законом термодинаміки можна записати:

$$q = \left(U_2 + p_2 V_2 + \frac{\omega_2^2}{2} \right) - \left(U_1 + p_1 V_1 + \frac{\omega_1^2}{2} \right) + l \quad (4.17)$$

Оскільки процес відбувається швидко, то $q = 0$; крім того технічна робота l відсутня ($l = 0$), тому можна записати:

$$\left(U_2 + p_2 V_2 + \frac{\omega_2^2}{2} \right) - \left(U_1 + p_1 V_1 + \frac{\omega_1^2}{2} \right) = 0 \quad (4.18)$$

Відомо, що:

$$U + pV = h; \quad h_2 + \frac{\omega_2^2}{2} = h_1 + \frac{\omega_1^2}{2}; \quad \text{або} \quad \Delta h - \frac{\Delta \omega^2}{2} = 0 \quad (4.19)$$

Перший закон термодинаміки можна записати так:

$$q = \Delta h - \int_{p_1}^{p_2} V dp \quad (4.20)$$

Якщо $q = 0$, рівняння набуває вигляду:

$$\Delta h = \int_{p_1}^{p_2} V dp = 0; \quad \omega_2^2 - \omega_1^2 = 2 \int_{p_1}^{p_2} V dp \quad (4.21)$$

Враховуючи, що ω_1 і $pV^k = p_1 V_1^k$, записуємо:

$$\omega_2^2 = 2 \int_{p_1}^{p_2} V \left(\frac{p_1}{p} \right) dp \quad (4.22)$$

Оскільки p_1, V_1 - величини сталі, то:

$$\omega_2^2 = 2V_1 p_1^{1/k} \int_{p_1}^{p_2} p_1^{-1/k} dp \quad (4.23)$$

Після інтегрування маємо:

$$\omega_2^2 = \frac{2k}{k-1} V_1 p_1^{1/k} \left(p_2^{\frac{k-1}{k}} - p_1^{\frac{k-1}{k}} \right) \quad (4.24)$$

Виконавши математичні перетворення, отримаємо:

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2)} \quad (4.25)$$

Секундні витрати газу через сопло з площею перерізу f_2 можна знайти з умов нерозривності потоку, кг/с:

$$G = \frac{\omega_2 f_2}{V_2^2}; \quad G = f_2 \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_1}{V_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (4.26)$$

Замінімо згідно з рівнянням Менделєєва V_1 на RT/p_1 :

$$G = p_1 f_2 \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{1}{RT} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (4.27)$$

Параметри з індексом 1 стосуються посудини з більшим тиском, звідки газ витікає, а з індексом 2 - посудини з меншим, куди газ притікає. Позначимо $\frac{p_2}{p_1} = Y$, тоді:

$$\varphi(Y) = \sqrt{Y^{\frac{2}{k}} - Y^{\frac{k+1}{k}}} \quad (4.28)$$

Цю функцію називають функцією витрат. Вона має максимум. Щоб знайти

його, візьмемо першу, похідну і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{d\varphi(Y)}{dY} = \frac{1}{\sqrt{Y^{\frac{2}{k}} - Y^{\frac{k+1}{k}}}} \left(\frac{2}{k} Y^{\frac{2}{k}-1} - \frac{k+1}{k} Y^{\frac{k+1}{k}-1} \right) = 0; \quad \frac{2}{k} Y^{\frac{2-k}{k}} - \frac{k+1}{k} Y^{\frac{1}{k}} = 0 \quad (4.29)$$

Поділимо на $Y^{\frac{2-k}{k}}$:

$$\frac{2}{k} = \frac{k+1}{k} Y^{\frac{k-1}{k}} \quad (4.30)$$

Поділивши на $k+1/k$ отримаємо:

$$Y^{\frac{k-1}{k}} = \frac{2}{k+1}, \text{ або } Y_{KP} = \left(\frac{k+1}{2k} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (4.31)$$

Зміна залежності витрат від Y описується кривою Ob (рис. 4.2) з максимумом у точці b , якщо значення $Y=Y_{KP}$. Оскільки для повітря $k = 1,41$ [18], то $Y_{KP} = 0,528$. Отже $\varphi(Y_{KP}) = 0,259$.

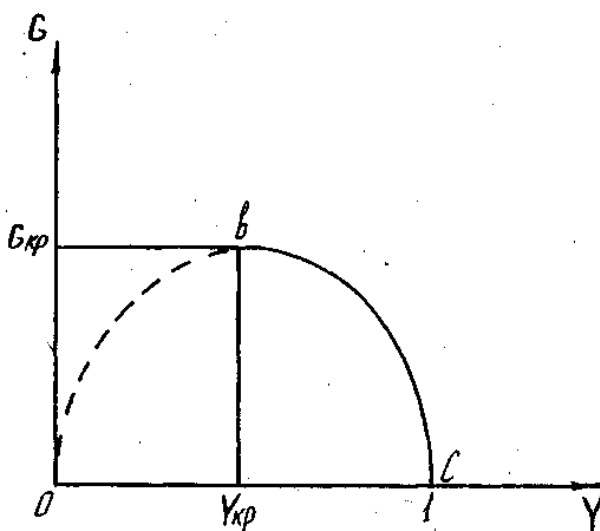


Рисунок 4.2 – Графік залежності витрат повітря від співвідношення тиску повітря в об'ємі, куди витікає повітря, до тиску повітря в об'ємі, звідки воно витікає

Насправді при $Y = 0$ витрати не дорівнюють нулю. Експериментально доведено, що при $Y < Y_{KP}$ витрати залишаються сталими і дорівнюють критичному значенню, тобто описуються кривою Obc (рис. 4.2). Ділянка Ob із сталими витратами при $Y \leq Y_{KP}$ відповідає надкритичному режиму витікання, ділянка bc при $Y > Y_{KP}$ - підкритичному режиму витікання. Існування двох режимів витікання необхідно враховувати, аналізуючи роботу пневмоприводів.

Витрати повітря залежать також від коефіцієнта витікання μ , який в свою чергу залежить від форми отвору s опору трубопроводу. Визначений експериментально коефіцієнт μ наведено в таблицях. Отже, остаточно:

$$G = \mu_2 f_2 \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{1}{RT} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (4.32)$$

Позначимо:

$$\sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{1}{R}} = B \quad (4.33)$$

Враховуючи, що $R = 287$ Дж/кг·К [18], маємо $B = 0,156$. Підставивши значення B у попереднє, отримаємо:

$$G = 0,156 \mu_2 f_2 p_1 \sqrt{\frac{1}{T}} \varphi(Y) \quad (4.34)$$

Для надкритичного режиму:

$$G_{KP} = 0,04 \mu f = \frac{p_1}{\sqrt{T}} \quad (4.35)$$

Отже, маємо всі необхідні дані для обчислення часу руху поршня.

Розглянемо найскладнішу задачу: розрахувати час руху поршня пневматичного циліндра вперед і назад. Щоб поршень рухався вперед (праворуч), потрібно ліву порожнину з'єднати з магістраллю, а праву - з атмосферою. Згідно з другим законом Ньютона:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_{\text{вл}} F - p_{\text{вл}} F_{\text{ум}} + p_n \quad (4.36)$$

Для лівої порожнини:

$$\frac{dp_{\text{вл}}}{dT} = \frac{kRT_M}{V_{\text{л}}} \frac{dM_M}{dT} - kp_{\text{вл}} \frac{dV}{V_1} \quad (4.37)$$

Маємо:

$$\frac{dM_M}{dt} = G_{\text{л}}; G_{\text{л}} = \mu f_{\text{л}} p_M \sqrt{\frac{1}{T}} \varphi(Y_{\text{л}}); \varphi(Y_{\text{л}}) = \sqrt{(Y_{\text{л}})^{\frac{2}{k}} - (Y_{\text{л}})^{\frac{k+1}{k}}}; Y_{\text{л}} = \frac{p_{\text{вл}}}{p_M}; \quad (4.38)$$

$$V = F(S_0 + x); dV = Fdx \quad (4.39)$$

Для правої порожнини:

$$\frac{dp_n}{dt} = -k \frac{RT_M}{V_n} \frac{dM_A}{df} + kp_{\text{вл}} \frac{dV_n}{V_n}; \frac{dM_A}{df} = G_n; G_n = 0,156 \mu f_n p_{\text{вл}} \varphi(Y_n) \sqrt{\frac{1}{T}} \quad (4.40)$$

$$\varphi(Y_n) = \sqrt{(Y_n)^{\frac{2}{k}} - (Y_n)^{\frac{k+1}{k}}}; V_n = \frac{p_a}{p_{\text{вл}}} \quad (4.41)$$

Як тільки поршень дійде до кінця (пересунеться на величину ходу S), ліва порожнина циліндра з'єднається з атмосферою, а права - з магістраллю.

Рівняння перепишемо у вигляді:

$$m \frac{d^2 x_3}{dt^2} = p_{\text{цн}} F_{\text{ум}} - p_{\text{цл}_3} F + p_{n_3} \quad (4.42)$$

Для правої порожнини:

$$\frac{dp_{\text{цн}}}{dt} = \frac{kRT_M}{V_n} \frac{dM_{Mn}}{df} - kp_{\text{цн}} \frac{dV_n}{V_n}; \frac{dM_n}{dt} = G_{n_3}; G_{n_3} = 0,156 \mu f_n p_n \sqrt{\frac{1}{T}} \varphi(Y_{n_3}) \quad (4.43)$$

$$\varphi(Y_{n_3}) = \sqrt{\left(Y_{n_3}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(Y_{n_3}\right)^{\frac{k+1}{k}}}; Y_{n_3} = \frac{p_{\text{цл}_3}}{p_M}; V_n = F_{\text{ум}} (S_0 + S - x); dV_n = F_{\text{ум}} dx \quad (4.44)$$

Для лівої порожнини:

$$\frac{dp_{\text{цл}_3}}{dt} = -k \frac{RT_M}{V_{\text{л}_3}} \frac{dM_{A_3}}{dt} + kp_{\text{цл}_3} \frac{dV_{\text{л}_3}}{V_{\text{л}_3}}; \frac{dM_{A_3}}{dt} = G_{\text{л}_3} \quad (4.45)$$

$$G_{\text{л}_3} = 0,156 \mu f_{\text{л}} p_{\text{цл}_3} \sqrt{\frac{1}{T}} \varphi(Y_{\text{л}_3}); \varphi(Y_{\text{л}_3}) = \sqrt{\left(Y_{\text{л}_3}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(Y_{\text{л}_3}\right)^{\frac{k+1}{k}}}; V_{\text{л}_3} = \frac{p_a}{p_{\text{цл}_3}} \quad (4.46)$$

Алгоритм розрахунку часу прямого і зворотного руху поршня показано на рис. 4.3. Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку часу руху поршня пневматичного циліндра

№	Параметр	Розмірність	Значення
1	Площа поршня, F	m^2	
2	Площа поршня штокової порожнини, F	m^2	
3	Площа перерізу впускних і випускних отворів, f_1, f_2	m^2	
4	Тиск повітря:	Pa	600000
	- у магістралі, p_m		100000
	- атмосфері, p_a		100000
	- лівій порожнині, $p_{\text{ц}}$		100000
	- правій порожнині, $p_{\text{цп}}$		100000
	- в правій порожнині при зворотному ході, $p_{\text{цпз}}$		$p_{\text{цз}} = p_{\text{цл}}$
	- при зворотному ході в лівій порожнині, $p_{\text{лз}}$		
5	Зведена висота початкового об'єму, S_0	m	0,1
6	Хід поршня, S	m	0,01...3,00
7	Змінна координата поршня, x	m	
8	Змінна координата зворотного ходу поршня, x_3	m	
9	Інтервал часу, Δt	s	0,00001
10	Підсумкова маса, m	kg	
11	Навантаження, P_H	H	
12	Зворотне навантаження, P_{H3}	H	
13	Газова стала, R	$Дж/кг \cdot K$	287
14	Показник адіабати, k	—	1,41
15	Коефіцієнт витікання, μ	—	0,3
16	Температура, T	K	293
17	Час пересування поршня в напрямках:	s	
	- у прямому, t		
	- зворотному, t_3		

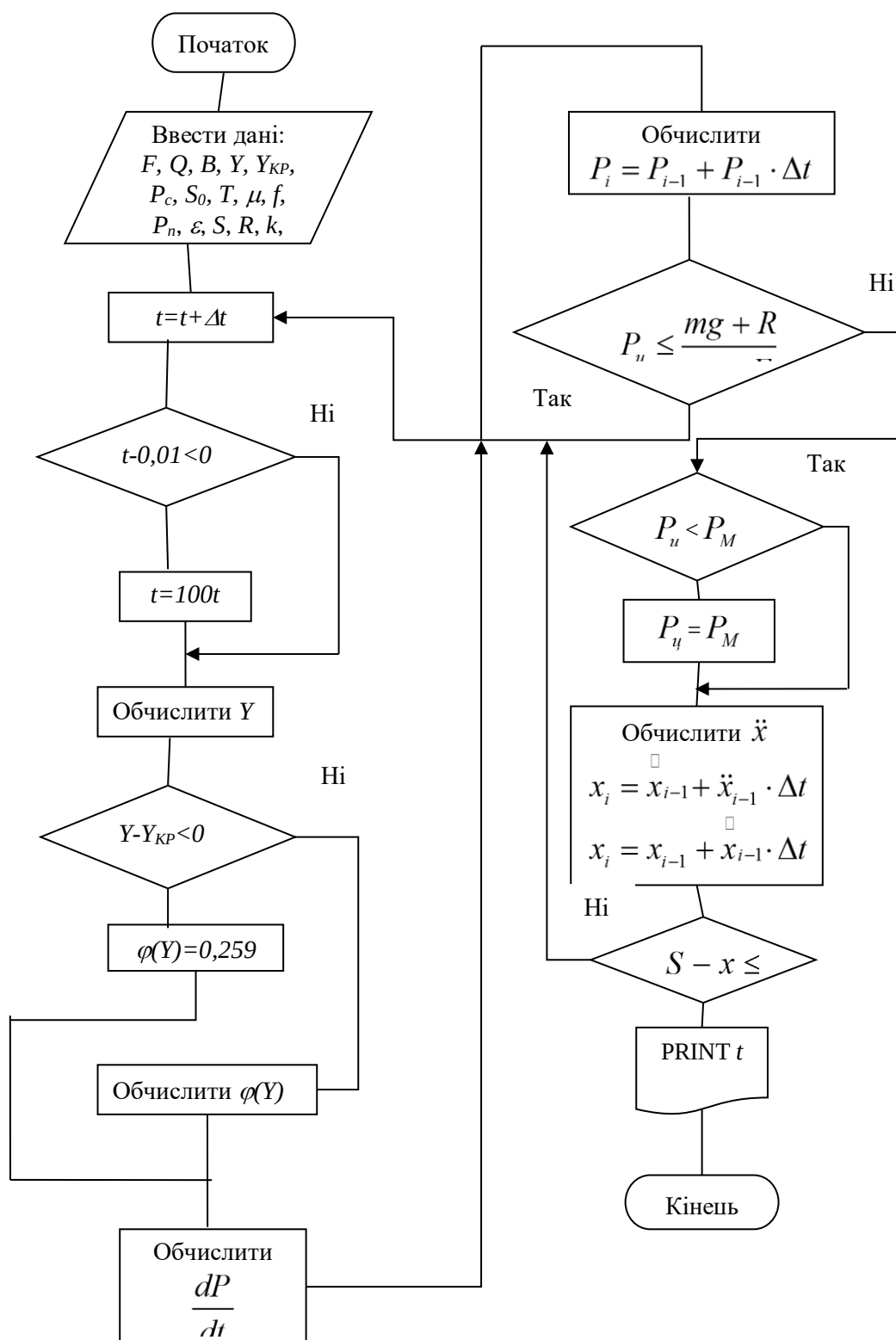


Рисунок 4.3 – Алгоритм розрахунку часу прямого і зворотного руху поршня

Виконавши розрахунки за вказаним алгоритмом, отримали що час прямого і зворотного руху поршня пневматичного циліндру становить $t = 6,25$ с.

Результат розрахунків на ЕОМ треба порівняти з практичними даними або з даними, отриманими за номограмами, побудованими за практичними даними.

5.1 Перевірочний розрахунок конічних та циліндричних коліс

Вихідні дані до розрахунку наведені в табл. 5.1, 5.2.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку конічних та циліндричних коліс

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Число зубів шестерні та колеса	z_1	шт	13
	z_2	шт	56
	z_3	шт	21
	z_4	шт	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	ω_1	рад/с	153
	ω_2	рад/с	35,5
	ω_3	рад/с	7,78

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для перевірконого розрахунку коліс редуктора

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Потужність електродвигуна	N	Вт	$75 \cdot 10^3$
Частота обертання валу електродвигуна	$n_{\text{дв}}$	об/с	24,3
		об/хв	1460
Кутова швидкість валу	$\omega_{\text{дв}} = 2\pi n_{\text{дв}}$	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	β	град	35
Напрямок нахилу зубців або спіралі шестерні колеса	–	–	Ліве
	–	–	Праве
Кут зачеплення	α	град	20
Кут тертя	ζ	град	3
Напрямок обертання: - шестерні	–	–	Проти годинникової стрілки
- колеса	–	–	За годинниковою стрілкою
Матеріал і термообробка		–	M42
Модуль пружності матеріалу	E	Н/м ²	$2 \cdot 10^{11}$
		кгс/см ²	$2 \cdot 10^6$

Кутова швидкість ведучої шестерні:

$$\omega_1 = 153 \text{ рад/с}$$

Обертний момент на шестерні:

$$M_K = \frac{N}{\omega_1} \quad (5.1)$$

$$M_K = \frac{75000}{153} = 490 \text{ Н·м}$$

Кут початкового конуса шестерні:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{z_1}{z_2} \quad (5.2)$$

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

Кут початкового конуса колеса:

$$\varphi_2 = 90^\circ - \varphi_1 \quad (5.3)$$

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

Конусна відстань:

$$L = 0,5m_s \sqrt{z_1^2 + z_2^2} \quad (5.4)$$

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

Ширина шестерні:

$$b = 0,3L \quad (5.5)$$

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

Діаметр шестерні в середньому перерізі:

$$d_{cp1} = 2(L - 0,5b) \sin \varphi_1 \quad (5.6)$$

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

Колове зусилля на середньому діаметрі:

$$P_{ном} = \frac{2M_K}{d_{cp1}} \quad (5.7)$$

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

Колова швидкість:

$$V = \frac{d_{cp1} \omega_1}{2} \quad (5.8)$$

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

Коефіцієнт навантаження:

$$k = \frac{1}{2}(K_{\kappa\iota} + 1)K_{\delta}, \quad (5.9)$$

де $K_{\kappa\iota}$ - коефіцієнт концентрації навантаження, $K_{\kappa\iota} = 1,05$ [19];

K_{δ} - коефіцієнт динамічного навантаження, $K_{\delta} = 1,20$ [19]

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

Розрахункове навантаження:

$$P = P_{\text{ном}} k \quad (5.10)$$

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

Коефіцієнт підвищення несучої здібності зубців приймаємо рівним $\lambda = 0,9$ [19].

Торцевий коефіцієнт перекриття:

$$\varepsilon_s = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cos \beta \quad (5.11)$$

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

Приведене число зубів:

$$z_{np} = \frac{z_1}{\cos \varphi_1 - \cos^3 \beta} \quad (5.12)$$

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

Коефіцієнт висотної корекції приймаємо рівним $\xi = 0,29$ [20], а коефіцієнт форми зуба $y = 0,157$ [20].

Модуль в нормальному і середньому перерізі:

$$m_{n_{cp}} = \frac{m_s \cos \beta}{1 - 0,5 \frac{b}{L}} \quad (5.13)$$

$$m_{n_{cp}} = \frac{0,008 \cdot \cos 35^\circ}{1 - 0,5 \frac{0,0692}{0,23}} = 0,0077$$

Кут зачеплення в торцевому перерізі:

$$\alpha_s = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} \quad (5.14)$$

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

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

Напруга на згинання:

$$\sigma_u = \frac{P \cos^2 \beta}{\lambda \varepsilon_s \pi y b m_{n_{cp}} \cos \alpha_s} \quad (5.15)$$

$$\sigma_u = \frac{13200 \cdot \cos^2 35^\circ}{0,9 \cdot 1,29 \cdot \pi \cdot 0,157 \cdot 0,069 \cdot 0,0077 \cdot 0,914} = 430 \cdot 10^5 \frac{H}{m^2} = 430 \text{ кгс/см}^2$$

Границя втомленості металу $\sigma_{-1} = 5400 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 5400 \text{ кгс/см}^2$ [21], ефективний коефіцієнт концентрації напружень біля основи зуба $K_\sigma = 2$ [20], коефіцієнт безпеки $n = 2$ [20].

Тоді допустима напруга на згинання:

$$[\sigma]_{\text{зг}} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma n} \quad (5.16)$$

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

Умова міцності виконується.

5.2 Розрахунок конічних коліс на довговічність по контактним напруженням

Передаточне число:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (5.17)$$

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

Кутова швидкість складає $\omega_2 = 35,5$ рад/с.

Експериментальний коефіцієнт для коліс з круговим зубом:

$$g = 0,114\sqrt{200 + \beta} \quad (5.18)$$

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

Контактна напруга:

$$\sigma_K = \frac{0,418}{(L + 0,5b)i} \sqrt{\frac{(i^2 + 1)^{3/2}}{b \cdot 0,85g \sin 2\alpha} \frac{2E}{\omega_2} M_K} \quad (5.19)$$

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

Твердість матеріалу по Роквеллу 40 - 45 HRC [22], а допустима контактна напруга по формулі:

$$[\sigma]_K = 270 \cdot HRC \cdot 10^5 \quad (5.20)$$

$$[\sigma]_K = 270 \cdot 40 \cdot 10^5 = 11000 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 11000 \text{ кгс/см}^2$$

Умова міцності виконується.

5.3 Перевірочний розрахунок циліндричних коліс редуктора

Вихідні дані до розрахунку наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані до перевірного розрахунку циліндричних коліс
редуктора

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Потужність електродвигуна	N	Вт	$75 \cdot 10^3$
Кількість зубців шестерні	z_1	–	21
Кількість зубців колеса	z_2	–	96
Нормальний модуль	m_n	м	0,007
Кут нахилу зубців	β	град	23
Напрямок нахилу зубців або спіралі шестерні колеса	–	–	Ліве
	–	–	Праве
Кут зачеплення	α	град	20
Кут тертя	ζ	град	3
Напрямок обертання: - шестерні - колеса	–	–	За годинниковою стрілкою, якщо дивитись з вершини конуса
	–	–	Проти годинникової стрілки, якщо дивитись з вершини конуса
Матеріал і термообробка		–	М42
Модуль пружності матеріалу	E	Н/м ²	$2 \cdot 10^{11}$
		кгс/см ²	$2 \cdot 10^6$

Приймаємо кутову швидкість ведучої шестерні $\omega_2 = 35,5$ рад/с;

Обертний момент на шестерні:

$$M_K = \frac{N}{\omega_2} \quad (5.21)$$

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

Ширина шестерні $b = 0,185$ м.

Торцевий модуль:

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (5.22)$$

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

Діаметр початкового кола шестерні:

$$d_{0_3} = m_s z_3 \quad (5.23)$$

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

Колове зусилля:

$$P_{ном} = \frac{2M_K}{d_{0_3}} \quad (5.24)$$

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

Колова швидкість:

$$V = \frac{d_{0_3} \omega_2}{2} \quad (5.25)$$

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

Коефіцієнт навантаження:

$$k = \frac{1}{2} (K_{кц} + 1) K_{\delta}, \quad (5.26)$$

де $K_{кц}$ - коефіцієнт концентрації навантаження, $K_{кц} = 1,25$ [19];

K_{δ} - коефіцієнт динамічного навантаження, $K_{\delta} = 1,10$ [19]

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

Розрахункове навантаження:

$$P = P_{ном} k \quad (5.27)$$

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

Коефіцієнт підвищення несучої здібності зубців $\lambda = 0,9$ [20].

Торцевий коефіцієнт перекриття:

$$\varepsilon_s = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{z_3} + \frac{1}{z_4} \right) \right] \cos \beta \quad (5.28)$$

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

Приведене число зубців:

$$z_{np} = \frac{z_3}{\cos^3 \beta} \quad (5.29)$$

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

Приймаємо коефіцієнт форми зуба рівним $y = 0,138$ [20].

Модуль в нормальному і середньому перерізі $m_n = 0,007 \text{ м}$;

Кут зачеплення в торцевому перерізі:

$$\alpha_s = \arctg \frac{tg \alpha}{\cos \beta} \quad (5.30)$$

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

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

Напруга згинання:

$$\sigma_u = \frac{P \cos^2 \beta}{\lambda \varepsilon_s \pi y b m_n \cos \alpha_s} \quad (5.31)$$

$$\sigma_u = \frac{26500 \cdot \cos^2 23^\circ}{0,9 \cdot 1,56 \cdot \pi \cdot 0,138 \cdot 0,185 \cdot 0,007 \cdot 0,93} = 382 \cdot 10^5 \frac{H}{m^2} = 382 \text{ кгс/см}^2$$

Границя втомленості металу $\sigma_{-1} = 5400 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 5400 \text{ кгс/см}^2$ [21], ефективний коефіцієнт концентрації напружень біля основи зуба $K_\sigma = 2$ [20], коефіцієнт безпеки $n = 2$ [20].

Допустима напруга згинання:

$$[\sigma]_{32} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma n} \quad (5.32)$$

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

Умова міцності виконується.

5.4 Розрахунок циліндричних коліс на довговічність по контактним напруженням

Передаточне число:

$$i = \frac{z_4}{z_3} \quad (5.33)$$

$$i = \frac{96}{21} = 4,57$$

Кутова швидкість становить $\omega_3 = 7,78$ рад/с.

Міжосьова відстань:

$$A = \frac{1}{2}(z_3 + z_4)m_s \quad (5.34)$$

$$A = \frac{1}{2}(21 + 96)0,0076 = 0,445 \text{ м}$$

Контактні напруження:

$$\sigma_K = \frac{0,418}{Ai} \sqrt{\frac{(i+1)^3}{b} \frac{2E}{\sin 2\alpha} \frac{M_K}{\omega_3}} = 5700 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 5800 \text{ кгс/см}^2$$

Твердість матеріалу по Роквеллу 40 - 45 HRC [22].

Допустимі контактні напруження:

$$[\sigma]_K = 270 \cdot HRC \cdot 10^5 \quad (5.35)$$

$$[\sigma]_K = 270 \cdot 40 \cdot 10^5 = 11000 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 11000 \text{ кгс/см}^2$$

Умова міцності виконується.

5.5 Розрахунок зусиль, які діють на зубці коліс

Зусилля на конічному ведучому колесі z_1 (напрямок зуба – лівий, напрямом обертання ведучого колеса – за годинниковою стрілкою, якщо дивитись від основи до вершини конуса):

$$P_{1,2} = \frac{2N}{\omega_1 d_{cp1}} \quad (5.36)$$

$$P_{1,2} = \frac{2 \cdot 75 \cdot 10^3}{153 \cdot 0,0889} = 11100 \text{ Н}$$

$$A_{1,2} = \frac{P_{1,2}}{\cos \beta} \left[\pm \sin \beta \cos \varphi_1 + \operatorname{tg}(\alpha + \zeta) \sin \varphi_1 \right] \quad (5.37)$$

$$A_{1,2} = \frac{11100}{\cos 35^\circ} \left[\sin 35^\circ \cos 13^\circ 4' + \operatorname{tg}(20^\circ + 3^\circ) \sin 13^\circ 4' \right] = 8800 \text{ Н}$$

$$T_{1,2} = \frac{P_{1,2}}{\cos \beta} \left[\mp \sin \beta \sin \varphi_1 + \operatorname{tg}(\alpha + \zeta) \cos \varphi_1 \right] \quad (5.38)$$

$$T_{1,2} = \frac{11100}{\cos 35^\circ} \left[-\sin 35^\circ \cos 13^\circ 4' + \operatorname{tg}(20^\circ + 3^\circ) \sin 13^\circ 4' \right] = 3820 \text{ Н}$$

Зусилля на конічному веденому колесі z_2 (напрямок зуба - правий, напрямом обертання ведучого колеса - проти годинникової стрілки, якщо дивитись від основи до вершини конуса):

$$P_{2,1} = P_{1,2} = 11100 \text{ Н}$$

$$A_{2,1} = A_{1,2} = 8800 \text{ Н}$$

$$T_{2,1} = T_{1,2} = 3820 \text{ Н}$$

Зусилля на циліндричному ведучому колесі z_3 (напрямок зуба - лівий, напрямок обертання ведучого колеса - за годинниковою стрілкою, якщо дивитись зверху):

$$P_{3,4} = \frac{2N}{\omega_2 d_{0_3}} \quad (5.39)$$

$$P_{3,4} = \frac{2 \cdot 75 \cdot 10^3}{35 \cdot 0,16} = 26500 \text{ Н}$$

$$A_{3,4} = P_{3,4} \operatorname{tg} \beta \quad (5.40)$$

$$A_{3,4} = 26500 \cdot \operatorname{tg} 23^\circ = 11300 \text{ Н}$$

$$T_{3,4} = P_{3,4} \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \zeta)}{\cos \beta} \quad (5.41)$$

$$T_{3,4} = 26500 \frac{\operatorname{tg}(20^\circ + 3^\circ)}{\cos 23^\circ} = 13700 \text{ Н}$$

Зусилля на циліндричному веденому колесі z_4 (напрямок зуба - правий, напрямок обертання ведучого колеса - проти годинникової стрілки, якщо дивитись

зверху):

$$P_{4,3} = P_{3,4} = 26500 \text{ Н}$$

$$A_{4,3} = A_{3,4} = 11300 \text{ Н}$$

$$T_{4,3} = T_{3,4} = 13700 \text{ Н}$$

6 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ПРАЦІ

Вимоги безпеки до ливарного обладнання повинні відповідати ГОСТ 12.2.003-74.

Наявність небезпечної зони ливарного обладнання може бути пов'язана з небезпечністю ураження електричним струмом, з впливом теплових, електромагнітних випромінень, а також з впливом шуму, вібрації, пилу, з можливістю травмування частинками матеріалу заготовки, що відлітають при обробці.

Особлива загроза створюється у випадку, коли можливий захват одягу чи волосся працюючого рухомими частинами обладнання.

Небезпечні зони обладнання повинні мати огороження. Огороження рухомих частин транспортних засобів повинні виконуватись у відповідності з ГОСТ 12.2.022-76.

Усе ливарне обладнання і його крупні частини масою більше 20 кг повинні бути споряджені рим-болтами, спеціальними приливами, отворами в станині для зачіплювання.

Рухомі частини ливарного обладнання, які виступають при роботі за його габарити, повинні фарбуватися по ГОСТ 12.4.026-76.

Безпечна техніка експлуатації змішувочних бігунів нерозривно пов'язана з виконанням наступних умов:

- кожен оператор перед тим, як приступить до роботи, повинен отримати інструктаж по техніці-безпеки;
- проводити періодичний нагляд за роботою всіх механізмів змішуючих бігунів;
- огорожа рухомих частин повинна завжди бути справна;
- електрообладнання і електроприводи повинні відповідати правилам електробезпеки;
- ремонт механізмів повинен проводитися при виключеному обладнанні;
- обслуговуючі робочі повинні мати захисні окуляри.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих типів обладнання для приготування формувальних сумішей в ливарних цехах масового і великосерійного виробництва, описано існуючі конструкції і обґрунтовано вибір маятникового змішувача, розраховано основні технологічні параметри машини та потужність її приводів, запропонована математична модель часу спрацювання пневмоциліндра і визначено час прямого і зворотного руху поршня пневматичного циліндру, виконано перевірочний розрахунок зубчастих коліс на міцність і визначено зусилля, які діють на зубці коліс.

Використання маятникового змішувача періодичної дії є справді ефективним вирішенням завдань змішування 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 основних вузлів маятникового змішувача що дозволяє не лише краще розуміти принцип його роботи, а й надає можливість візуально оцінити конструкцію та потенційні особливості його експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хричиков В. Е., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
2. В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та проектування ливарних цехів». Розділ 1 «Устаткування загального призначення» для студентів напряму 6.050402 - Ливарне виробництво / Уклад. С.А. Стороженко. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 48 с.
4. И. Б. Зайгеров. Оборудование литейных цехов. – Минск: Высшая школа, 1980. – 368 с.
5. Довнар Г. В. Оборудование литейных цехов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования по дисциплине «Технологическое оборудование литейных цехов» / Г.В. Довнар. – Минск: БНТУ, 2011. – 135 с.
6. Горский А. И. Расчет машин и механизмов литейного производства. – М.: Машиностроение, 1978. – 551 с.
7. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. Учеб. пособие для машиностроительных вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.
8. Можарин В. П. Литейное производство: учебное пособие в двух книгах. Книга 2 / В. П. Можарин; Юргинский технологический институт. – Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 468 с.
9. Стоцько З. А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: навч. посібник. - Львів: Бескид Біт, 2014. – 466 с.
10. Кукуй, Д.М. Теория и технология литейного производства: учебник / Д.М. Кукуй, В.А. Скворцов, Н.В. Андрианов. В 2 ч. Ч. 1. Формовочные материалы и смеси. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 384с.

11. Конструкции и принцип работы машин литейного производства для изготовления разовых форм: атлас конструкций / Л. И. Мамина, В. Г. Бабкин, В. Н. Баранов [и др.]. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 324 с.
12. Аксёнов П.Н., Орлов Г.М., Благодоров В.П. Машины литейного производства. Атлас конструкций. – М.: Машиностроение, 1982. – 152 с.
13. Хомик Н.І. Х 76 Деталі машин: курс лекцій / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, О.П. Цюнь. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 160с.
14. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
15. Электропривод: Підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко; За ред. Ю. М. Лавріненко. – К.: Видавництво Ліра-К, 2009. – 504 с.
16. Горский А. И. Расчет машин литейного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 399 с.
17. Основи акустики / В.Т. Грінченко, І. В. Вовк, В. Т. Маципура. – К.; Наукова думка, 2007. – 640 с.
18. Теоретичні основи теплотехніки: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий; 2-ге вид., перероб. та доп. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 180 с.
19. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
20. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М. Деталі машин: Підручник – К.: Кондор, 2005. – 594 с.
21. Конструкційні матеріали і технології : навчальний посібник / Будяк Р. В., Посвятенко Е. К., Швець Л. В., Жученко Г. А. - Вінниця: ФОП Т. П. Барановська, 2020. – 240 с.
22. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів: Підручник. – К.: Знання, 2016. – 400 с.

ДОДАТКИ