

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:  
**«Стационарний піскомет  
продуктивністю 12,5 м<sup>3</sup>/год»**  
**«Stationary sandblaster with a capacity  
of 12.5 m<sup>3</sup>/h»**

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

Євген Ткаченко

(прізвище та ініціали)

ОПП «Компютерний 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.

Юрій НЕВДАХА

(прізвище та ініціали)

**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**

Ткаченко Євген Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Стаціонарний піскомет продуктивністю 12,5 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): Конструктивні особливості стаціонарного піскомета, устрій стаціонарного піскомету та технічний опис системи, розрахунок основних технологічних та конструктивних параметрів проектуємої машини, розрахунок на міцність вузлів та деталей стаціонарного піскомету, правила безпеки
6. Перелік графічного матеріалу:  
 1. Стаціонарний піскомет  
 2. Головка

## 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 виготовлення ливарних форм	25.03.2026	
2	Опис конструкції стаціонарного піскомету та принцип його роботи	1.04.2026	
3	Розрахунок потужності приводу метаючої головки	9.04.2026	
4	Розрахунок стрічкових транспортерів піскомету	15.04.2026	
5	Розрахунок на міцність вала приводу метаючої головки	21.04.2026	
6	Техніка безпеки	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 \_\_\_\_\_ (Євген ТКАЧЕНКО)  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 45 с., 12 рис., 9 табл., 11 джерел.

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих конструкцій машин, описано конструкцію та принцип роботи стаціонарного піскомету, розраховано основні конструкторсько-технологічні параметри робочого процесу машини, приведено розрахунок на міцність елементів конструкції, описані заходи по створенню безпечних умов праці.

Об'єкт розробки - проектування стаціонарного піскомету.

Предмет розробки - визначення конструктивних та технологічних параметрів стаціонарного піскомету.

Результати проектування - спроектовано стаціонарний піскомет продуктивністю 12,5 м<sup>3</sup>/год.

Отримані в ході розробки результати можуть бути успішно використані при серійному та масовому виробництві великих ливарних форм.

**МЕТАЮЧА ГОЛОВКА, ПАКЕТ СУМІШІ, РОТОР, ПІДШИПНИК, КІВШ, СТРИЧКА, ТРАНСПОРТЕР, ГІДРОПРИВОД, НАПРЯМНА ДУГА, НОМОГРАМА, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ВАЛ, МАСЛЯНКА, МЕХАНІЗМ ПІДЙОМУ**

## ABSTRACT

The explanatory note consists of 45 pages, 12 figures, 9 tables, and 11 sources.

The bachelor's thesis analyzes existing machine designs, describes the design and operating principle of a stationary sand blaster, calculates the main design and technological parameters of the machine's working process, provides strength calculations for structural elements, and describes measures for creating safe working conditions.

The object of development is the design of a stationary sand blaster.

The subject of development is the determination of the design and technological parameters of a stationary sand blaster.

Design results: a stationary sand machine with a capacity of 12.5 m<sup>3</sup>/hour has been designed.

The results obtained during the development can be successfully used in the serial and mass production of large casting molds.

**SWINGING HEAD, MIXTURE PACKAGE, ROTOR, BEARING,  
BUCKET, BELT, CONVEYOR, HYDRAULIC DRIVE, GUIDE ARC,  
NOMOGRAM, ELECTRIC MOTOR, SHAFT, OIL CAN, LIFTING  
MECHANISM**

## ЗМІСТ

	Стор
ВСТУП.....	6
1. Аналіз існуючих конструкцій обладнання для виготовлення ливарних форм..	8
1.1. Ущільнення пресуванням.....	8
1.2. Ущільнення струшуванням.....	10
1.3. Імпульсна формовка.....	11
1.4. Комбінований спосіб ущільнення (струшування з допресовкою).....	13
1.5. Піскомете ущільнення.....	16
2. Опис конструкції стаціонарного піскомету та принцип його роботи.....	18
3. Розрахунок основних технологічних та конструктивних параметрів проектуємої машини.....	21
3.1. Розрахунок потужності приводу метаючої головки.....	24
3.2. Розрахунок стрічкових транспортерів піскомету.....	29
4. Розрахунок на міцність вала приводу метаючої головки.....	36
5. Техніка безпеки.....	39
ВИСНОВКИ.....	42
ЛІТЕРАТУРА.....	43
ДОДАТКИ.....	45

## ВСТУП

Ущільнення ливарних форм шляхом направлення струменя формувальної суміші на модель може здійснюватися різними способами. У практиці ливарного виробництва відомі способи скидання суміші в опоку з певної висоти, подачі струменя формувальної суміші стисненим повітрям, метання на модель „пакетів” суміші, яким повідомлена певна швидкість [1].

Останній спосіб, при якому швидкість повідомляється під дією відцентрових сил, отримав найбільше поширення і в даний час є майже єдиним, на базі якого створюються пісcomedні машини для ущільнення форм.

Пісcomedні є єдиною формувальною машиною, яка не зв'язана безпосередньо з ливарною формою, модельною плитою або стержневим ящиком, при якому формувальна суміш подається в опоку безперервним струменем з високою кінетичною енергією. Основні переваги пісcomedного ущільнення:

1. висока продуктивність та універсальність. Пісcomedні здатні переробляти величезні об'єми суміші за одиницю часу. Це робить їх незамінними для виготовлення великих та середніх форм, а саме:

- a. можливість наповнення опок будь-якої складної конфігурації;
- b. висока швидкість заповнення (до декількох десятків кубометрів на годину);

2. рівномірність та регульованість щільності. На відміну від пресування, де щільність падає з віддаленням від пресової плити, пісcomed дозволяє досягти високої рівномірності по всьому об'єму, тобто:

a. динамічне ущільнення. Суміш ущільнюється за рахунок власної енергії удару «пакетів» суміші;

b. гнучкість. Змінюючи швидкість обертання ротора або швидкість переміщення головки, можна регулювати твердість форми в різних зонах;

3. відсутність спеціального модельного оснащення. Для пісcomedного способу не потрібні дорогі пресові плити або складні вакуумні системи:

- a. можна використовувати звичайні дерев'яні або металеві моделі;
- b. метод ефективний як в одиничному, так і в серійному виробництві;

4. покращена газовідданість. Завдяки специфіці укладання «пакетів» суміші, форми часто мають кращу пористість порівняно з методами жорсткого пресування, що знижує ризик появи газових раковин у виливках.

Найважливішим фактором, що робить вплив на надійність і довговічність піскомету, є ступінь захисту формувальної суміші від потрапляння в неї металевих і особливо немагнітних включень. Таким чином, слід очікувати розвиток ширококовшових піскометів і не тільки в дрібносерійному, а й у серійному і великосерійному виробництві [2]. Можлива також поява ширококовшових піскометів з допресовкою замість зрізання верхніх шарів суміші, застосовуваної в даний час.

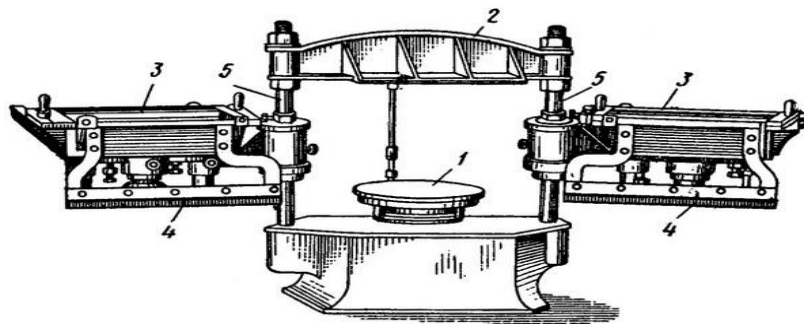
# 1 Аналіз існуючих конструкцій обладнання для виготовлення ливарних форм

У відповідності з методами ущільнення всі формувальні машини можна розділити на такі групи: а) пресові; б) струшуючі; в) імпульсні; г) комбіновані (струшуючо-пресові); д) пісcomети [3].

## 1.1 Ущільнення пресуванням

Ущільнення ливарних форм пресуванням - найбільш відомий спосіб виготовлення ливарних піщано-глинистих форм ущільненням.

Пресова формувальна машина ПФ-3 (рис. 1.1) має стіл 1 з пресовим механізмом, нерухому траверсу 2 і два столи 3, які можуть повертатися навколо стійок 5. Щітки 4 служать для змітання формувальної суміші з поверхні пресового поршня, який робиться при черговій установці на нього поворотного столу. Застосування двох столів підвищує продуктивність праці. На машині працюють два формувальника - по одному на кожен стіл. Розміри формування опок  $720 \times 540 \times (70 - 120)$  мм. Машину застосовують при масовому виробництві відливків невеликої висоти. Продуктивність машини ПФ-3 складає 100 – 120 з'йомів або 50 - 60 форм на годину.

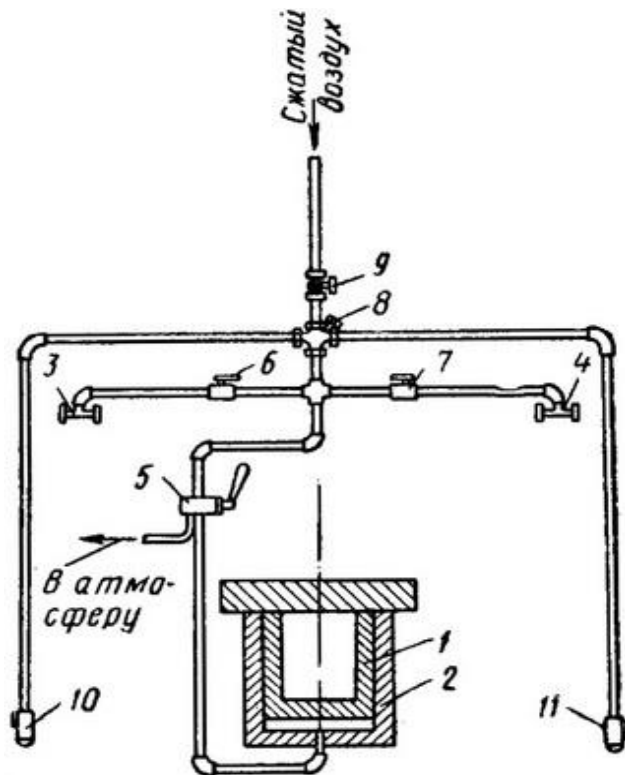


1 - пресовий стіл, 2 - пресова траверса, 3 - поворотні столи, 4 - щітки, 5 - стійки

Рисунок 1.1 – Формувальна машина ПФ-3

Операції при формуванні на машині ПФ-3 (рис. 1.2): обдути модельну плиту 4 лівого столу стисненим повітрям з сопла 10; обприскати модель розподільною рідиною за допомогою пульверизатора; встановити на рамку 1 лівого поворотного

столю опоку 2; заповнити опоку формувальною сумішшю і розрівняти її рукою, поворотом навколо стійки 3 підвести лівий стіл під траверсу 5; поворотом рукоятки клапана управління 5 впустити стиснене повітря під пресовий поршень 1.



1 - пресовий поршень, 2 - пресовий циліндр, 3 - вібратор лівого столу, 4 – вібратор правого столу, 5 - клапан управління, 6 - педаль вмикання вібратора лівого столу, 7 - педаль включення вібратора правого столу, 3 - пусковий вентиль, 9 - запірний вентиль, 10 - обдувочне сопло лівого столу, 11 – обдувочне сопло правого столу

Рисунок 1.2 – Схема управління машини ПФ-3

При цьому поршень 1 підійде вгору і ущільнить суміш в опоці; натисканням на педаль 6 включити, а потім вимкнути вібратор 3, після чого рукояткою клапана управління 5 випустити стиснене повітря з-під пресового поршня, завдяки чому станеться вилучення моделі з форми; поворотом навколо стійки 3 вручну вивести стіл під траверсу, поставивши його в початкове положення; зняти готову напівформу, другу напівформу подібним же чином виготовляють на правому поворотному столі [2].

Пресовий спосіб має ряд переваг, в силу яких він і отримав широке поширення.

Основні його переваги:

- безшумність і простота процесу;
- можливість створення тиску пресування будь-якої величини;
- відносно низька енергоємність;
- висока продуктивність.

Однак цей спосіб має істотний недолік - значну нерівномірність розподілу щільності суміші при ущільненні по висоті опоки, в силу чого він придатний тільки для виготовлення низьких опок (переущільнення суміші над моделлю і недоущільнення її навколо моделі).

Пресування знайшло широке застосування не як самостійний спосіб, а в комбінації з іншими, наприклад, зі струшуванням, піскострільним процесом, вібрацією та ін.

## 1.2 Ущільнення струшуванням

Схема струшуючої формувальної машини наведена на рис. 1.3.

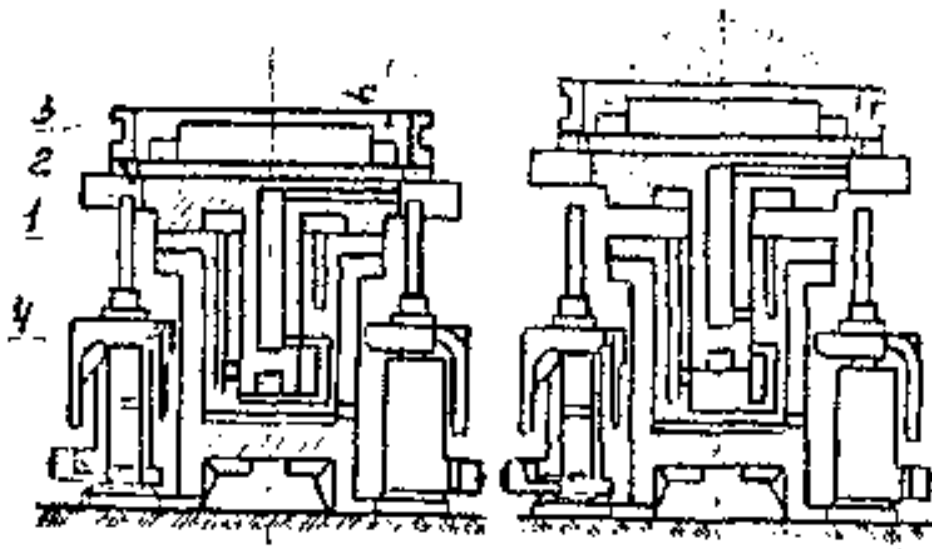


Рисунок 1.3 – Схема струшуючої формувальної машини

При виготовленні форм на струшуючих машинах стіл 1 машини (рис. 1.3) разом з підмодельною плитою 2, опокою 3 і формувальною сумішшю піднімається на висоту 31 - 100 мм, а після того, як тиск повітря в циліндрі знизиться, стіл падає і вдаряється об станину 4.

В момент удару кінетична енергія системи перетворюється на роботу пружних сил деформації, за рахунок чого формувальна суміш спресовується і її густина зростає.

Однак не вся кінетична енергія перетворюється в роботу пресування, значна її частина витрачається на поновлення швидкості після удару.

Оскільки станина і стіл у момент удару стискаються дуже швидко, то цей процес залежить як від пружних, так і від в'язких властивостей матеріалу станини.

Перевагою струшуючих машин є можливість виготовлення форм різних розмірів, включаючи дуже великі (масою в кілька десятків тонн), які не можуть бути виготовлені на пресових машинах. Ці машини забезпечують виготовлення форм в опоках великої висоти.

Але струшуючі машини мають меншу продуктивність, ніж пресові машини. Істотним недоліком є також сильний шум, який стомлює робітників.

### **1.3 Імпульсна формовка**

Імпульсна формовка - енергетично економічний процес, завдяки більш повному розширенню стисненого повітря при передачі енергії ущільнюючої суміші та більш раціональному розподілу щільності в опоці, мінімальних втрат енергії на зовнішнє і внутрішнє тертя та імпульсні формувальні машини мають також і свої вельми важливі, необхідні для роботи елементи конструкції.

Найбільш важливим елементом є імпульсна головка - смінь, необхідна для накопичення і швидкої подачі стисненого повітря на ущільнення.

Роль розподільчої системи в імпульсних формувальних машинах грає розсікач, саме тут відбувається рівномірний розподіл повітря по всій площі опоки, що дозволяє одержати достатнє ущільнення суміші, не залежно від конструкції моделі [3].

У машинах імпульсної дії (рис. 1.4) ущільнення суміші відбувається за рахунок удару газо-повітряної хвилі. Опоку 3, встановлену на модельній плиті 5 з

вентами заповнюють формувальною сумішшю і підводять під імпульсну головку - робочий орган машини 1 (рис. 1.4, а).

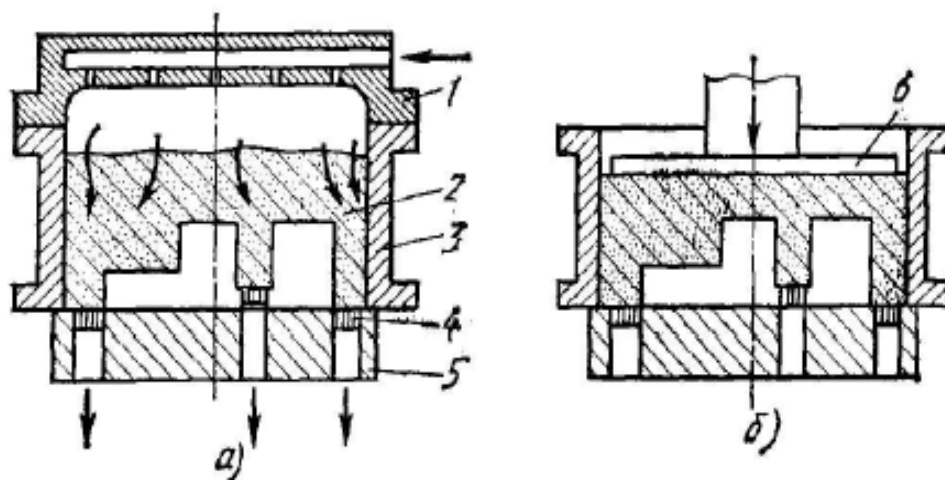


Рисунок 1.4 – Імпульсне ущільнення формівної суміші з наступним допресуванням

Стиснене повітря під тиском  $(6...10) \times 10^6$  Па крізь розсікач 1 з великою швидкістю надходить у порожнину форми. Під дією удару повітряної хвилі формувальна суміш 2 ущільнюється у опоці на протязі 0,02...0,05 с. Збиткове повітря крізь венті 4 видаляється з форми. Слабоущільнена суміш верхніх прошарків форми додатково ущільнюється верхнім підпресуванням плитою 6 (рис. 1.4, б). При використанні звичайних піщано-глинистих сумішей поверхнева твердість форми досягає 89...94 одиниць. Максимальне ущільнення суміші відповідає роз'єму напівформи. Ступінь ущільнення регулюється вихідним тиском повітря в імпульсній голівці. Цей метод формовки дозволяє використовувати і суміші підвищеної міцності (до 0,2 МПа). Коливання властивості суміші в заводських умовах практично не впливають на процес формоутворення. Поліпшення технологічних параметрів ливарної форми підвищує геометричну точність відливків, знижує брак, покращує санітарно-гігієнічні умови праці за рахунок повного усунення вібрації і шуму. Імпульсну формовку можна застосовувати для виготовлення відливків різної номенклатури в опоках розмірами до  $3000 \times 2000 \times 2500$  мм.

Переваги імпульсної формовки:

- висока продуктивність і довговічність;

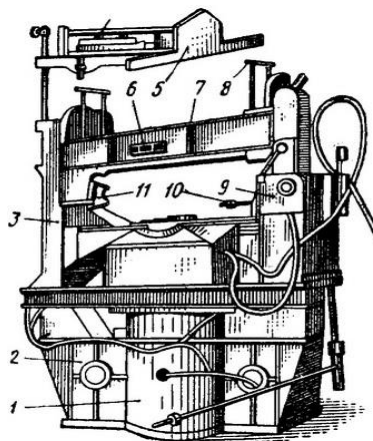
- отримання надзвичайно складних форм (з глибоким кишеннями в оснащенні);
- велика геометрична точність відливоків і більше гладка робоча поверхня;
- економічна, викликає менший знос оснащення;
- імпульсні формувальні машини не вимагають масивних фундаментів, простіші в експлуатації внаслідок відсутності рухомих механізмів;
- зниження шуму і вібрації.

Недоліки повітряно-імпульсної формовки установки високого тиску:

- ці установки вимагають спеціального компресора високого тиску;
- рівень шуму вище допустимих норм;
- наявність вент в модельному оснащенні.

#### 1.4 Комбінований спосіб ущільнення (струшування з допресовкою)

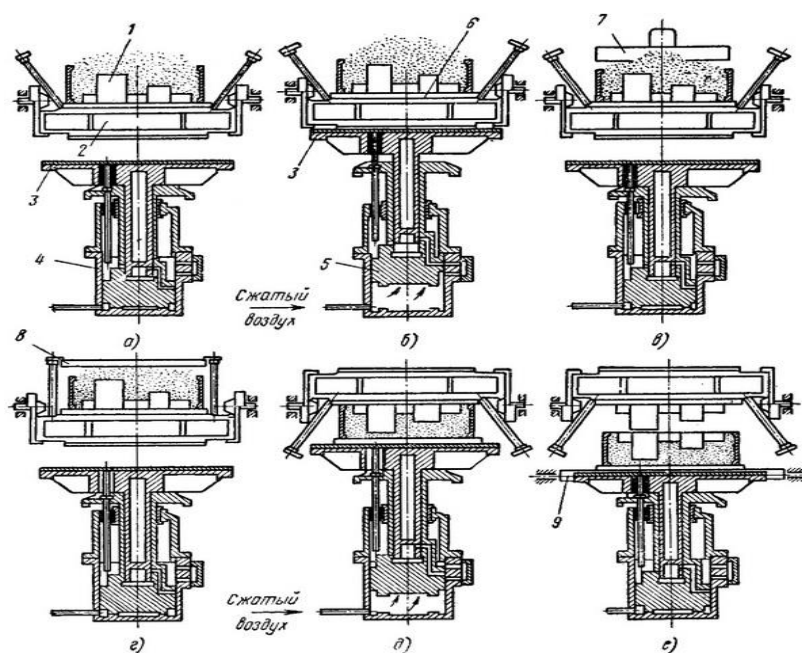
На рис. 1.5 показаний загальний вигляд формівної машини моделі 254М.



1 - підйомно-струшуючий стіл, 2 - станина, 3 - стійки, 4 - пневматичний циліндр скребка, 5 – скребок, 6 - вібратори, 7 - поворотний стіл, 8 - пневматичні затискачі, 9 - повітророзподільник, 10 - обдувочне сопло, 11 - пневматичний циліндр повороту столу

Рисунок 1.5 – Загальний вид формівної машини 254М

Машини цього типу мають ряд особливостей, яких немає у формувальних машин інших конструкцій (рис. 1.6): струшуючий стіл 3 не пов'язаний з поворотним столом 2 (рис. 1.6, а); струшуючий механізм поєднується з механізмом підйому струшуючого столу.



а - насипка суміші в опоку, б - струшування, в - зрізання скребком зайвої формівної суміші, г - накладення подопочного щитка і його затискач, д - поворот столу і пресування, е - витяжка моделі; 1 - модель, 2 - поворотний стіл, 3 - струшуючий стіл, 4 - станина, 5 - пресовий поршень. 6 - модельна плита, 7 - скребок, 8 - затискач, 9 - приймальний рольганг

Рисунок 1.6 – Кінематична схема машини 254М

Струшування проводиться після підйому струшуючого столу 3 в крайнє верхнє положення - при контакті з поворотним столом 2 (рис. 1.6, б); передаються на фундамент машини, який пом'якшує їх різкість; наявність скребка 7 (рис. 1.6, в), який згрібає формувальну суміш з верху опоки, залишаючи над нею шар суміші товщиною 10...12 мм для допресовки; поворотний стіл, крім вібраторів, забезпечений пневматичним механізмом затиску напівформи 8 (рис. 1.6, г), який спрацьовує перед поворотом столу; допресовка здійснюється підйомом струшуючого столу 3 (рис. 1.6, д). На відміну від операції струшування (рис. 1.6, б), в цьому випадку підйом столу можливий на меншу висоту (через наявність між столами 2 і 3 напівформи), яка виключає можливість включення в цей період струшуючого механізму; після вилучення моделі з форми опусканням струшуючого столу в крайнє нижнє положення проводиться з'йом готових напівформ з машини привідною секцією рольганга 9 (рис. 1.6, е); обдувочні сопла

встановлені стаціонарно на рівні розташування модельної плити, яка полегшує роботу робітника.

Операції при формуванні на машинах 254М: обдути модельну плиту стисненим повітрям із сопла; обприскати модель розділовою рідиною за допомогою пульверизатора; поставити на модельну плиту опоку; заповнити опоку формувальною сумішшю і розрівняти її рукою; перевести рукоятку повітророзподільника 9 в положення «Струшування» для підйому столу 3 (рис. 1.6, б) і ущільнення суміші в опоці; поворотом рукоятки 7 крана скребка згребти формувальну суміш з верху опоки, залишивши шар суміші товщиною 10 - 12 мм для допресовки; накласти на поверхню суміші подопочний щиток; поворотом рукоятки повітророзподільника 8 включити пневматичні затискачі 8 (рис. 1.6, г) для закріплення на поворотному столі опоки разом з подопочним щитком; поворотом рукоятки повітророзподільника 8 повернути стіл разом з опокою, набитою сумішшю, на 180 °; перевести рукоятку повітророзподільника 9 в положення «Пресування» для виконання допресовкою, яка виробляється підйомом столу 3 (рис. 1.6, д) з одночасним відключенням затискачів і включенням вібраторів; перевести рукоятку повітророзподільника 9 в положення «Витяжка», в результаті чого відбувається вилучення моделі з напівформи завдяки опусканню струшуючого столу з одночасним обдуванням модельної плити і вимиканням вібраторів. При цьому готова напівформа буде лежати на приймальному рольгангу 9 (рис. 1.6, е); відкотити напівформу на складальний рольганг.

Ця операція проводиться автоматично при оснащенні приймального рольганга приводом з ланцюговою передачею; поворотом рукоятки повітророзподільника 8 повернути поворотний стіл 2 (рис. 1.6, а) у вихідне положення.

Переваги комбінованого способу:

- формувальні суміші з будь-якою сирою міцністю однаково легко добре ущільнюються;
- можна виготовити форми різної маси і конфігурації відливків як при дрібносерійному, так і при великосерійному характері виробництва.

Недоліки комбінованого способу:

- шум під час роботи;
- передача значної частини енергії удару на фундамент;
- тривалість процесу.

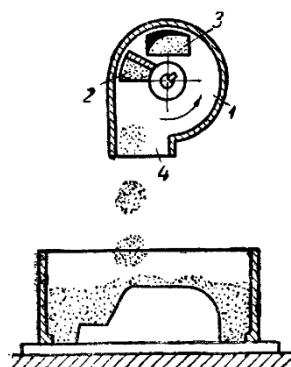
### 1.5 Піскометне ущільнення

Основні елементи піскомету: метаюча головка, яка складається з ротору та закріпленими на ньому ковшами і нерухомого корпусу, система живлення головки формувальною або стержневою сумішшю і система пересування головки над формою. У дворукавних піскометів пересування рукавів здійснюється від гідроприводу [5].

По конструкції піскомети поділяють на стаціонарні та пересувні. Пересувні мають механізм пересування вздовж цеху і виконуються в двох модифікаціях - локомотивні та консольні.

Суміш, що подається системою живлення в метаючу головку, збирається обертовими ковшами, де в результаті спільної дії відцентрових сил, які притискують суміш до напрямної дуги корпусу головки, і сил внутрішнього тертя між частинками суміші в головці утворюються спресовані пакети суміші, які з великою швидкістю викидаються в опоку (рис. 1.7).

Суміш в опоці ущільнюється в результаті удару пакетів об площину набивання. Щільність і поверхнева твердість форми залежать від основних робочих параметрів метаючої головки: кількості суміші, яка подається в головку в одиницю часу (продуктивності), швидкості горизонтального переміщення метаючої головки над формою, частоти обертання ротору, а також від діаметра головки, складу і властивостей суміші, конфігурації набивання порожнини, розмірів і кількості хрестовин в опоці. Крім того, на щільність набивки впливає відношення зазору між ковшем і спрямовуючої дуги до радикального розміру пакету.



1 - кожух головки піскомету, 2 - змінна лопатка, 3 - отвір для подачі транспортером формувальної суміші, 4 - вихідний отвір головки.

Рисунок 1.7 - Схема ущільнення форми за допомогою піскомету

Стационарний піскомет з двома транспортерними стрічками показаний на рис. 1.8.

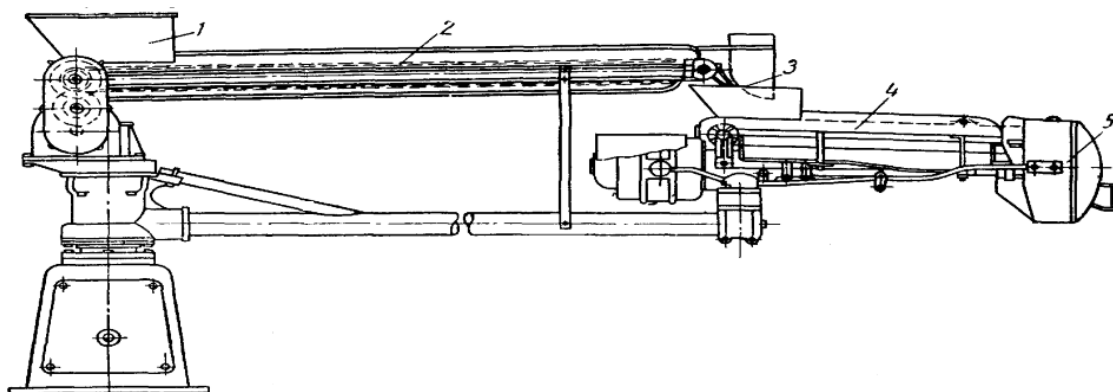


Рисунок 1.8 - Піскомет з двома транспортерними стрічками

Формувальна суміш цеховим транспортером подається в прийомну воронку піскомету 1, звідки транспортером 2 подається у воронку 3, яка харчується розташованим дещо нижче другим транспортером 4, який подає суміш до головки піскомету 5. Приймальні воронки розташовані над центрами повороту консольних важелів і тому харчування головки може проводитися безперервно і незалежно від того, який кут утворює між собою важелі піскомету при переміщенні головки піскомету до різних ділянок опоки.

Піскомети мають недоліками, головними з яких є:

– необхідність в ущільнення верхніх шарів форми, яке здійснюється здебільшого вручну за допомогою трамбовок;

- ієраціональність ущільнення ливарних форм в опоках малих розмірів (менше 1000...1500) внаслідок відносно великому просипу формівної суміші;
- відсутність у них механізму для вилучення моделі з набитої напівформи;
- обмежена площа, яку вони обслуговують (для стаціонарних піскометів).

Проаналізувавши існуючі способи ущільнення ливарних форм і конструкції машин, оптимальним варіантом для ущільнення великих форм є стаціонарний піскомет, який має наступні переваги:

- велика продуктивність;
- можливість формувати будь-які за величиною опоки;
- універсальність.

Дані переваги забезпечують ефективність роботи устаткування та його економічну вигідність.

## **2 Опис конструкції стаціонарного піскомету та принцип його роботи**

Стаціонарний піскомет з дистанційним управлінням моделі 2А93 конструкції НІЛІТМАШа призначений для ущільнення великих форм. Він зазвичай встановлюється в лінії, по якій під робочу головку направляються модельні плити зі встановленими на них опоками. Лінія комплектується також поворотно-витяжним пристроєм для кантування форм і витяжки з нього моделей. Головка піскомету 1 ([лист КП-6.05050202.14.43.00.00.01 В3](#)) закріплена на трубі малого рукава 5, усередині якого проходить приводний вал ротору. Труба малого рукава шарнірно закріплена у великому рукаві 10, який також шарнірно встановлений на механізмі підйому 14. На відміну від моделей, які раніше випускалися, на даному піскометі електродвигун 13 ротору головки закріплений не на трубі малого рукава, а на трубі великого рукава. Обертний момент від електродвигуна передається горизонтальним валом через блок шестерні, встановлений на протилежному кінці рукава, і далі валом малого рукава до ротору головки. Двигун має дві швидкості, які дозволяють викидати пакети суміші з

початковою швидкістю 47,7 або 30 м/сек. Перемикання швидкості здійснюється з пульта управління.

Формувальна суміш стрічковим транспортером 11 подається на стрічковий транспортер 6 і звідти надходить у головку 1. Стрічковий транспортер 6 має дві швидкості: 2,59 і 1,57 м/сек; вони змінюються одночасно зі зміною швидкості ротору. Так як рукава піскомету мають подвійне шарнірне з'єднання, то головка може бути встановлена майже над будь-якою точкою, яка знаходиться всередині півкола і радіус дорівнює максимальному вильоту головки. Кут повороту великого рукава дорівнює  $180^\circ$  в горизонтальній площині, кут повороту малого рукава –  $270^\circ$ . Кожен з транспортерів приводиться в дію від власних електродвигунів 12 і 9. Передні барабани 2 транспортерів натяжні.

Поворот рукавів проводиться гідроциліндрами механізмів повороту 7 і 16, які працюють від гідростанції 15. Від цієї ж станції приводиться в дію гідравлічний механізм підйому 14. Піскомет управляється дистанційно з окремо встановленого пульта.

Головка піскомету являє собою зварний кожух 18 (лист КП-6.05050202.14.43.00.00.02. КС), усередині якого обертається ротор 23. Ротор обертається на підшипниках, які знаходяться на трубі рукава 5. До зовнішнього торця ротору прикріплена кришка 21, маточина якої посаджена на шпонки ведучого горизонтального вала, який обертається в трубі 5. На приливі ротору закріплений ківш 19. Суміш, що подається в головку транспортером малого рукава через вікно в торцевій стінці кожуха, підхоплюється ковшем 19, притискається до дуги 17, під дією відцентрових сил ущільнюється, а потім викидається пакетом через нижній отвір в кожусі. Зазор між ковшем і головою регулюється упорними болтами, встановленими в кожусі. Кожух при роботі закритий кришкою 22. Труба 15 малого рукава, на кінці якої змонтована головка, закріплена в корпусі 17, насадженого на вал 13. Вал 13 обертається в підшипниках корпусу 11, який змонтований на кінці труби великого рукава. На валу 13 є шестерня, що входить в зачеплення з поршнями-рейками гідроциліндра 12. При подачі мастила в праву порожнину одного циліндра 12 і ліву порожнину другого циліндра 12 поршні-

рейки 11 і 15 починають рухатися перша вліво, друга - праворуч. Так як циліндри закріплені в корпусі великого рукава, то при русі поршнів починає повертатися шестерня, яка знаходиться з ним в зачепленні, вал 13 і малий рукав з головкою.

Усередині корпусу 17 розташований блок шестерень 18 у вигляді стакана 24, всередині якого в підшипниках обертається втулка 23 з закріпленими на ній кінчними шестернями 21. Верхня шестерня знаходиться в зачепленні з шестернею вала великого рукава, а нижня - з шестернею валу малого рукава. Так як вертикальна вісь блоку (вісь стакана) збігається з вертикальною віссю повороту малого рукава, то шестерні блоку будуть знаходитися в зачепленні з відповідними шестернями великого і малого рукавів при будь-якому їх відносному повороті. Зверху на валу 13 закріплений кронштейн, на якому встановлені двигун 10 транспортера малого рукава і сам транспортер 9.

Труба 8 великого рукава на одному (лівому) кінці несе корпус 11, а іншим кріпиться в корпусі 5. На задній площадці корпусу 5 встановлений двигун 4 ротору. Таке положення двигуна розвантажує рукава транспортера. Зверху на кронштейні корпусу 5 встановлений двигун 3 транспортера великого рукава. Вал 2, який передає обертовий момент від двигуна 4 до блоку шестерни, розміщений в трубі, яка розташована над трубою великого рукава. У корпусі 5 закріплені два циліндра 6 повороту великого рукава. Сам корпус посаджений на стакан 20 механізму підймання, всередині якого розміщена вертикальна вісь 21 з закріпленою на ній шестернею 19. Шестерня входить в зачеплення з двома штоками-рейками 4, які рухаються в циліндрах 1 механізму повороту великого рукава. Механізм працює так само, як описаний вище механізм повороту малого рукава. Відмінність полягає в тому, що нерухомою тут є шестерня, а рейка, оббігаючи її, повертає циліндри та скріплені з ними корпус великого рукава.

Вісь 21 жорстко з'єднана з циліндром 24. Усередині циліндра розташований поршень 22, шток 23 якого шарнірно встановлений на під'ятнику 27. Крізь приливи циліндра 24 проходять масивні напрямні 25, які утримують циліндр (а з ним і рукава піскомету) в строго вертикальному положенні. При подачі мастила в надпоршневий простір циліндр 24 рухається вгору, піднімаючи рукави піскомету

на потрібну висоту. Опускання вниз циліндра 24 проводиться також під тиском мастила, яке подається в нижню порожнину циліндра, що запобігає можливість зависання циліндра через перекіс в направляючих [6].

### 3. Розрахунок основних технологічних та конструктивних параметрів проектуємої машини

При проектуванні піскомету вихідним параметром є задана продуктивність (кількість суміші, яка подається в головку в одиницю часу)  $L$ .

Визначається діаметр  $D$  метаючої головки, виміряний за напрямною дугою, число ковшів  $k$ , ширина ковша  $b$ , частота обертання ротору метаючої головки  $n$  і гранична швидкість горизонтального переміщення головки над формою  $V$ . Значення параметрів  $L$ ,  $D$ ,  $k$ ,  $b$ , регламентуються (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Основні параметри піскомета

Найменування параметра	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Продуктивність (за ущільненою сумішшю $1,6 \text{ т/м}^3$ )	$L$	$\text{м}^3/\text{сек}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
		$\text{м}^3/\text{год}$	12,5
Діаметр напрямної дуги	$D$	мм	620
Число ковшів	$k$	–	1
Ширина ковша	$b$	мм	125

Діаметр напрямної дуги метаючої головки рекомендується вибирати з практичних даних в залежності від виду ліття (табл. 3.2). За заданої продуктивності  $L$  і обраному діаметру  $D$  (з табл. 3.1) знаходимо число ковшів та їх ширину.

Таблиця 3.2 – Вибір діаметра напрямної дуги  $D$  і граничної швидкості горизонтального переміщення метаючої головки  $V$  (за практичними даними)

Найменування параметра	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Вид лиття - середні чавунні і дрібні сталеві відливки			
Діаметр напрямної дуги	$D$	мм	620
Гранична швидкість горизонтального переміщення метаючої головки	$V$	м/сек	0,15...0,30

Привод ротору метаючої головки здійснюється, як правило, безпосереднім з'єднанням ротора з валом електродвигуна. У більшості випадків встановлюють електродвигуни з синхронною частотою обертання  $n = 20$  об/сек (1450 об/хв).

Метаюча головка часто наводиться від двошвидкісного електродвигуна з частотами обертання 20 і 18 об/сек (1450 і 970 об/хв). Скидання суміші на модель безпосередньо з транспортера, минаючи головку, дозволяє застосовувати більш прості одношвидкісні електродвигуни [7].

Результати досліджень (рис. 3.1) показують, що швидкість горизонтального переміщення повинна бути узгоджена з продуктивністю, причому з ростом продуктивності швидкість повинна збільшуватися.

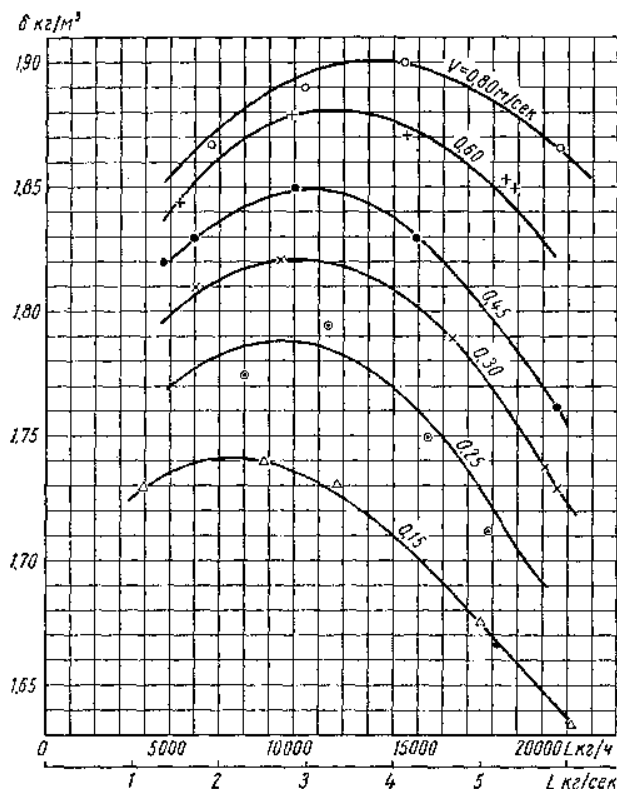


Рисунок 3.1 – Графік впливу продуктивності  $L$  і швидкості  $V$  горизонтального переміщення головки на щільність набивання  $\delta \times 10^{-3}$

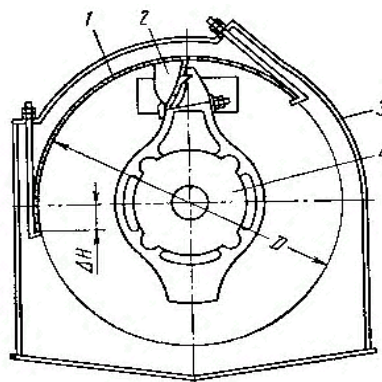
Діаметр метаючої головки  $D = 620$  мм, кутова швидкість ротору  $\omega = 153$  рад/сек, відпрацьована суміш вологістю  $W = 3,8 \dots 4,5$  % і міцністю по сирому  $\sigma = (0,5 \dots 0,7) \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

Довжини рукавів піскомету, положення вихідного отвору головки над рівнем фундаменту, кути повороту рукавів, а також кут гойдання підвісної (хитної) головки повинні вибиратися відповідно до норм (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Основні конструктивні параметри піскометів

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Продуктивність	L	м <sup>3</sup> /сек	$3,5 \times 10^{-3}$
		м <sup>3</sup> /год	12,5
Виліт рукавів (сума довжин великого і малого рукавів)	R	мм	4220
Кут повороту рукавів: - великого, не менше - малого, не менше	$\varphi_6$	град	180
	$\varphi_M$	град	270
Положення вихідного отвору головки над рівнем фундаменту піскомету: - верхнє, не менше - нижнє, не більше	H	мм	1400
	h	мм	800

Важливим конструктивним параметром метаючої головки є відстань  $\Delta H$  від передньої кромки направляючої дуги до горизонтальної осі корпусу головки (рис. 3.2).



1 – направляюча дуга, 2 – метаючий ковш, 3 – корпус, 4 – ротор

Рисунок 3.2 – Метаюча головка піскомету

Правильний вибір  $\Delta H$  забезпечує викидання пакетів суміші з головки по вертикальній траєкторії, яка істотно покращує якість набивання форм.

У більшості конструкцій сучасних піскометів  $\Delta H$  піддається плавному регулюванню.

Для визначення меж цього регулювання при проектуванні піскомету можна користуватися практичними даними, наведеними в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Практичні дані для вибору ΔН

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Продуктивність (за густиною ущільненої суміші 1,6 т/м <sup>3</sup> )	L	м <sup>3</sup> /сек	3,5 × 10 <sup>-3</sup>
		м <sup>3</sup> /Год	12,5
Діаметр	D	м	0,62
Ширина ковша	b	м	0,125
Відстань від передньої кромки направляючої дуги до горизонтальної вісі корпусу головки	ΔН	м	0,012...0,015
		мм	12...15

### 3.1 Розрахунок потужності приводу метаючої головки

Вихідні дані:

- продуктивність піскомету  $L = 12,5 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- ширина ковша  $b = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$ ;
- число ковшів  $k = 1$ ;
- число оборотів ротора в хвилину  $n = 1450 \text{ об/хв}$ ;
- радіус диску ротора  $r_1 = 15,7 \text{ см}$ ;
- ширина диску ротора  $b_1 = 7,5 \text{ см}$ ;
- радіус підшипника ротора  $r_2 = 11 \text{ см}$ ;
- вага ротора  $G_p = 150 \text{ кг}$ .

Швидкість транспортної стрічки малого рукава:

$$V_{\text{тр.}} = \frac{b \cdot n \cdot k}{6 \cdot 10^3} \quad (3.1)$$

$$V_{\text{тр.}} = \frac{12,5 \cdot 1450 \cdot 1}{6 \cdot 10^3} = 3 \text{ м/с}$$

Вибираємо швидкість сходу пакету суміші з ковша та швидкість горизонтального переміщення головки:

Для отримання щільних форм середнього сталевого лиття рекомендується окружна швидкість ковша -  $V_{\text{окр.}} = 45 \div 50$  м/с [7]. Приймаємо швидкість сходу суміші, рівної окружної швидкості ковша -  $V_{\text{сх.}} = 47$  м/с. Швидкість горизонтального переміщення головки, приймаємо -  $V_2 = 45$  м/с.

Радіус направляючої дуги головки:

$$R = \frac{30 \cdot V_{\text{сх.}}}{\pi \cdot n} \quad (3.2)$$

$$R = \frac{30 \cdot 47}{3,14 \cdot 1450} = 0,31 \text{ м} = 31 \text{ см}$$

Визначаємо повну потужність приводу метаючої головки:

$$N = (N_{\text{кор}} + N_1 + N_2 + N_3) \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (3.3)$$

де  $N_{\text{кор}}$  - корисна частина потужності, яка необхідна для повідомлення пакетам формувальної суміші кінетичної енергії;

$N_1$  - потужність, яка необхідна для визначення тертя між пакетами і прямою дугою;

$N_2$  - потужність, яка необхідна для подолання втрат, зумовлених вентиляційним ефектом ротору;

$N_3$  - потужність, яка витрачається на подолання тертя в підшипниках ротору;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу, який враховує втрати тертя в підшипниках, для тихохідної передачі,  $\eta = 0,92 - 0,93$  [7].

Корисна частина потужності:

$$N_{\text{кор}} = \frac{L \cdot \delta \cdot V_a^2}{2}, \quad (3.4)$$

де  $L$  - об'ємна продуктивність піскомету (за ущільненою сумішшю);  $L = 12,5 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$\delta$  - середня густина ущільненої суміші;  $\delta = 1,7 \text{ кг}/\text{м}^3$  [7];

$V_a$  - абсолютна швидкість вілета пакету суміші, яку з достатньою для практичних розрахунків точністю можна прийняти рівною окружній швидкості ротору  $U$ ;  $V_a = V_{\text{сх.}} = 47 \text{ м}/\text{с}$ .

$$N_{\text{кор}} = \frac{12,5 \cdot 1,7 \cdot 47^2}{2} = 23471 \text{ Вт} = 23,47 \text{ кВт}$$

Потужність, необхідна для визначення тертя між пакетами і направляючою дугою:

$$N_1 = \varepsilon \cdot f_1 \cdot R^2 \cdot b \cdot \omega \cdot p_1, \quad (3.5)$$

де  $\varepsilon$  - відношення довжини дуги тертя пакета до повної довжині кола; для головок звичайної конструкції з осьовим підведенням суміші і одним ковшем,  $\varepsilon = 0,25$  [7];

$f_1$  - коефіцієнт тертя суміші по сталі при русі;  $f_1 = 0,3$  [7];

$R$  - радіус напрямної дуги;  $R = 0,31 \text{ м} = 31 \text{ см}$ ;

$b$  - розрахункова ширина ковша;  $b = 0,125 \text{ м}$ ;

$\omega$  - кутова швидкість ротору;  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 = 126 \text{ рад}/\text{сек}$ ;

$p_1$  - умовний тиск пакету на направляючу дугу, який залежить від окружної швидкості ротору і параметру  $\varphi_0$ ;  $p_1 = 0,60 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$ ;  $p_1$  визначається за графіками (рис. 3.3, б);

$\varphi_0$  - параметр, що характеризує форму пакету і визначається залежно від  $R$  і  $S$  за номограмою (рис. 3.3, а);  $\varphi_0 = 79,3 \text{ град}$ ;

$k$  - число ковшів,  $k = 1$ ;

$S$  - площа перерізу пакету;

$$S = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\omega \cdot b \cdot k} \quad (3.6)$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}}{126 \cdot 0,125 \cdot 1} = 0,0014 \text{ м}^2$$

$$N_1 = 0,25 \cdot 0,3 \cdot 0,31^2 \cdot 0,125 \cdot 126 \cdot 0,60 \cdot 10^5 = 6811 \text{ Вт} = 6,81 \text{ кВт}$$

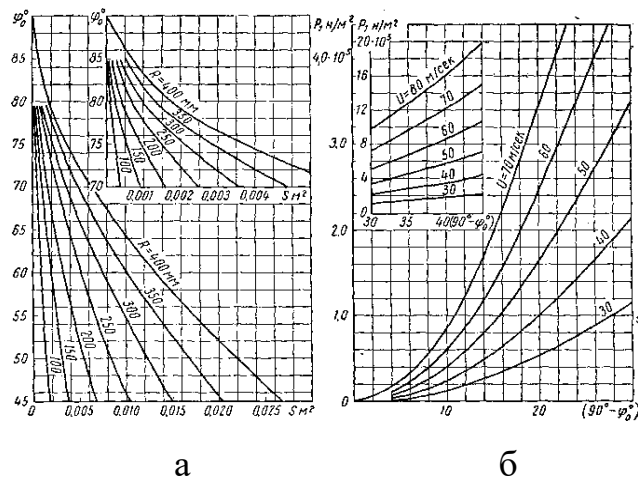


Рисунок 3.3 – Номограма для визначення параметру:  $\varphi_0$  (а),  $\rho_1$  (б)

Потужність, яка необхідна для подолання втрат, які зумовлені вентиляційним ефектом ротору:

$$N_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot b_1 \cdot (R - r_1) \cdot \left( \omega \cdot \frac{R + r_1}{2} \right)^3, \quad (3.7)$$

де  $\rho_v$  - густина повітря, при 20 °С,  $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$  [6];

$r_1$  - радіус диску, до якого кріпиться метаючий ківш;  $r_1 = 15,7 \text{ см} = 0,157 \text{ м}$ ;

$b_1$  - ширина диску;  $b_1 = 7,5 \text{ см} = 0,075 \text{ м}$ .

$$N_2 = \frac{1,2 \cdot 0,075 \cdot (0,31 - 0,157)}{2} \cdot \left( 126 \cdot \frac{0,31 + 0,157}{2} \right)^3 = 175,32 \text{ Вт} = 0,18 \text{ кВт}$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в підшипниках ротору:

$$N_2 = \frac{G_p \cdot f_2 \cdot r_2 \cdot n}{97500} \quad (3.8)$$

$$N_2 = \frac{150 \cdot 0,01 \cdot 11 \cdot 1450}{97500} = 250 \text{ Вт} = 0,25 \text{ кВт}$$

Загальна повна потужність приводу метаючої головки:

$$N = (23,47 + 6,81 + 0,18 + 0,25) \cdot \frac{1}{0,93} = 33,02 \text{ кВт}$$

Розрахунок міцності приводу метаючої головки піскомету при частоті обертання ротору 20 об/сек (1450 об/хв) показано в табл. 3.5. Потужність встановленого електродвигуна  $N_{уст} = 48 \text{ кВт}$ .

Таблиця 3.5 – Розрахунок міцності приводу головки піскомету

Найменування	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Частота обертання ротору	$n$	об/сек	20
		об/хв	1450
Продуктивність піскомету	$L$	$\text{м}^3/\text{сек}$	$3,5 \times 10^{-3}$
		$\text{м}^3/\text{год}$	12,5
Радіус напрямної дуги	$R$	м	0,31
Розрахункова ширина ковша	$b$	м	0,125
Число ковшів	$k$	–	1
Радіус диску ротору	$r_1$	м	0,157
Ширина диску ротору	$b_1$	м	0,075
Число підшипників	$z$	–	4
К.к.д. підшипника	$\eta_n$	–	0,995
К.к.д. приводу	$\eta$	–	0,98
Кутова швидкість ротору	$\omega$	рад/сек	126
Окружна швидкість ротору	$u$	м/сек	39,1
Середня густина ущільненої суміші	$\delta$	$\text{кг}/\text{м}^3$	1700
Вологість суміші	$W$	%	4,5
Коефіцієнт тертя суміші по сталі в русі	$f_1$	–	0,3
Площа перерізу пакета суміші	$S$	$\text{м}^2$	0,0014
Параметр форми пакету	$\varphi_0$	град	79,3
Умовний тиск пакету на напрямну дугу	$p_1$	$\text{Н}/\text{м}^2$	$0,60 \cdot 10^5$
Корисна частина потужності	$N_{кор}$	Вт	23471
Потужність, між пакетами і напрямною дугою	$N_1$	Вт	6811
Потужність вентиляційних втрат	$N_2$	Вт	175
	$N_3$	Вт	250

Потужність, яка витрачається на подолання тертя в підшипниках ротору		кВт	0,25
Повна потужність приводу метаючої головки	N	Вт	33020
		кВт	33,02

### 3.2 Розрахунок стрічкових транспортерів піскомету

Піскомет дворукавної конструкції має два стрічкових транспортерів: на великому і на малому рукавах. При проектуванні визначають швидкість стрічки і потрібну потужність електродвигуна для приводу транспортера. Швидкість стрічки транспортера малого рукава, який подає суміш у метаючу головку, вибирається з таким розрахунком, щоб за час повороту ротору на кут між двома сусідніми ковшами струмінь суміші, який сходить з транспортера, проходив відстань, яка дорівнює ширині ковша:

$$v_M = b \cdot n \cdot k, \quad (3.9)$$

де  $b$  - розрахункова ширина ковша;

$n$  - частота обертання ротору головки;

$k$  - число ковшів.

$$v_M = 0,125 \cdot 20 \cdot 1 = 2,5 \text{ м/сек.} = 3 \text{ м/сек}$$

Швидкість стрічки транспортера великого рукава повинна забезпечувати задану продуктивність піскомету  $v_B = 2,0 \text{ м/сек}$  [7].

Потужність приводу транспортера залежить від швидкості і натягу стрічки. Останнє, у свою чергу, залежить від погонних навантажень, геометричних факторів і умов роботи.

Оскільки стрічки транспортерів піскомету зазвичай огорожені бортами, перетин шару суміші на стрічці має форму, близьку до прямокутника, основа якого дорівнює ширині стрічки.

Висота шару суміші на стрічці:

$$h_M = \frac{L_p}{B \cdot v_M} \quad (3.10)$$

$$h_B = \frac{L_p}{B \cdot v_B}, \quad (3.11)$$

де  $L_p$  - об'ємна продуктивність піскомету за неущільненою сумішшю;

$B$  - ширина стрічки,  $B = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}$ .

$$h_M = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 3} = 0,0058 \text{ м}$$

$$h_B = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 2} = 0,0088 \text{ м}$$

Вага погонного метру суміші, що транспортується:

$$q_M = B \cdot h_M \cdot \delta_H \cdot g \quad (3.12)$$

$$q_B = B \cdot h_B \cdot \delta_H \cdot g, \quad (3.13)$$

де  $\delta_H$  - об'ємна густина суміші, яка транспортується,  $\delta_H = 1100 \text{ кг/м}^3$  [6].

$$q_M = 0,2 \cdot 0,0058 \cdot 1100 \cdot 9,8 = 12,5 \text{ Н/м}$$

$$q_B = 0,2 \cdot 0,0088 \cdot 1100 \cdot 9,8 = 18,97 \text{ Н/м}$$

Вага погонного метру стрічки:

$$q_{лм} = q_{лв} = B \cdot \Delta_{л} \cdot \rho_{л} \cdot g, \quad (3.14)$$

де  $\Delta_{л}$  – товщина стрічки,  $\Delta_{л} = 0,04$  м;

$\rho_{л}$  – густина матеріалу стрічки,  $\rho_{л} = 1150$  кг/м<sup>3</sup> [7].

$$q_{лм} = 0,2 \cdot 0,04 \cdot 1150 \cdot 9,8 = 90,16 \text{ Н/м}$$

Розрахунок зусиль натягів на ділянках стрічки:

$$\omega_{гр.} = (q + q_{л}) \cdot l \cdot [\omega' \cos \beta + \mu \pm \sin \beta] + q'_p \cdot l \cdot \omega' \cdot \cos \beta \quad (3.15)$$

$$\omega_n = (q_{л} + q''_p) \cdot l \cdot \omega' \cdot \cos \beta \pm q_{л} \cdot l \cdot \sin \beta \quad (3.16)$$

де  $\omega_{гр.}$  - сила опору на похилої прямолінійній ділянці завантаженої гілки;

$\omega_n$  - теж саме, але на ділянці порожньої (звотної) гілки;

$q'_p, q''_p$  - погонні навантаження від обертових частин роликоопор відповідно для вантаженої і порожньої гілок;

$l$  - довжина прямокутної ділянки;

$\beta$  - кут нахилу стрічки;

$\omega'$  - коефіцієнт опору руху стрічки по роликах (табл. 3.6);

$\mu$  - коефіцієнт тертя стрічки по настилу, для сталі  $\mu = 0,35 \div 0,60$  [6];

$l_{в} = 2625$  мм = 2,62 м,  $l_{м} = 1600$  мм = 1,6 м;  $\beta_{в} = 7$  °С,  $\beta_{м} = 12$  °С;  $\mu = 0,4$ .

$$\omega_{гр.в} = (18,97 + 90,16) \cdot 2,62 \cdot [0,035 \cdot \cos 7^\circ + 0,4 + \sin 7^\circ] + 44,15 \cdot 2,62 \cdot 0,035 \cdot \cos 7^\circ = 164,1 \text{ Н}$$

$$\omega_{н.в} = (90,16 + 20,22) \cdot 2,62 \cdot 0,035 \cdot \cos 7^\circ + 90,16 \cdot 2,62 \cdot \sin 7^\circ = 38,4 \text{ Н}$$

$$\omega_{гр.м} = (12,5 + 90,16) \cdot 1,6 \cdot [0,035 \cdot \cos 12^\circ + 0,4 - \sin 12^\circ] + 33,11 \cdot 1,6 \cdot 0,035 \cdot \cos 12^\circ = 38,6 \text{ Н}$$

$$\omega_{п.м} = (90,16 + 33,11) \cdot 1,6 \cdot 0,035 \cdot \cos 12^\circ - 90,16 \cdot 1,6 \cdot \sin 12^\circ = -23,5 \text{ Н}$$

У формулах (3.15) і (3.16) знак „+” при підйомі гілки стрічки, а знак „-” при опусканні.

Таблиця 3.6 – Значення коефіцієнта опіру  $\omega'$

Умови роботи	Значення $\omega'$ для роликоопор
Важкі. Неопалюване приміщення або робота на відкритому повітрі	0,035

Погонні навантаження від обертових частин:

$$q'_{рв} = \frac{G_p}{l'} \quad (3.17)$$

$$q''_{рв} = \frac{G_p}{l''}, \quad (3.18)$$

де  $l'$ ,  $l''$  - відстань між роликами відповідно на вантаженої і порожньої гілках.

$$q'_{рв} = \frac{(7 \cdot 0,2 + 4) \cdot 9,81}{1,2} = 44,15 \text{ Н/м}$$

$$q''_{рв} = \frac{(7 \cdot 0,2 + 4) \cdot 9,81}{2,62} = 20,22 \text{ Н/м}$$

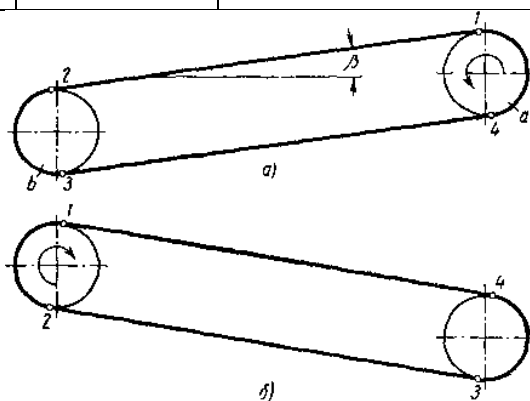
$$q'_{рм} = \frac{(7 \cdot 0,2 + 4) \cdot 9,81}{1,6} = 33,11 \text{ Н/м}$$

$$q''_{рм} = \frac{(7 \cdot 0,2 + 4) \cdot 9,81}{1,6} = 33,11 \text{ Н/м}$$

Вага обертових частин роlikоопор приймаються за даними (табл. 3.7), в залежності від ширини стрічки В, м.

Таблиця 3.7 – Визначення ваги обертових частин роlikоопор

Найменування	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Діаметр ролика $D_p$ ,	$D_p$	м	0,100
Вага для плоскої стрічки	$G_p$	Н	$(7^\circ\text{CB} + 4) \times 9,81$



а – малого рукава; б – великого рукава

Рисунок 3.4 – Розрахункова схема транспортерів піскомету:

Для транспортерів, схеми яких представлені (рис. 3.4), натяги в різних точках контуру розраховуються за формулами:

$$S_1 = (\omega_{гр.} \cdot k + \omega_n) \cdot \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - k} \quad (3.19)$$

$$S_4 = S_1 \cdot e^{f\alpha}, \quad (3.20)$$

де  $k$  - коефіцієнт опору,  $k = 1,05 \div 1,07$ ;

$\alpha$  - кут обхвату ролика стрічкою,  $\alpha = 180^\circ$  С;

$f$  – коефіцієнт тертя сковзання між роликом і стрічкою (табл. 3.8).

$$S_{1_B} = (164,1 \cdot 1,06 + 38,37) \cdot \frac{1,87}{1,87 - 1,06} = 490 \text{ Н}$$

$$S_{1_M} = (38,6 \cdot 1,06 + 23,52) \cdot \frac{1,87}{1,87 - 1,06} = 149 \text{ Н}$$

$$S_{4_B} = 490 \cdot 1,87 = 916 \text{ Н}$$

$$S_{4_M} = 149 \cdot 1,87 = 279 \text{ Н}$$

Таблиця 3.8 – Значення  $f$  та  $e^{fa}$ 

Атмосферні умови	Вид поверхні ролика	$f$	$e^{fa}$ при $\alpha 180^\circ$
Вологе повітря	Обточений ролик	0,20	1,87

Опір на приводному барабані без урахування втрат в підшипниках:

$$\omega_{пр.} = k' \cdot (S_1 + S_4), \quad (3.21)$$

де  $k'$  - коефіцієнт опору,  $k' = 0,03 \div 0,05$ .

$$\omega_{пр.Б} = 0,04 \cdot (490 + 916) = 56,24 \text{ Н}$$

$$\omega_{пр.М} = 0,04 \cdot (149 + 279) = 17,12 \text{ Н}$$

Тягове зусилля на приводному ролику:

$$\omega_0 = S_4 - S_1 + \omega_{пр.} \quad (3.22)$$

$$\omega_{0_B} = 916 - 490 + 56,24 = 482 \text{ Н}$$

$$\omega_{0_M} = 279 - 149 + 17,12 = 147 \text{ Н}$$

Потрібна потужність електродвигуна транспортера становить:

$$N = \psi \cdot \frac{\omega_0 \cdot v}{\eta_M} \quad (3.23)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт запасу на невраховані фактори, рекомендується приймати  $\psi = 1,2$  [8];

$\eta_M$  – передавального механізму,  $\eta_M = 0,95$  [8].

$$N' = 1,2 \cdot \frac{482 \cdot 2,0}{0,95} = 1014 \text{ Вт} = 1,014 \text{ кВт}$$

$$N'' = 1,2 \cdot \frac{147 \cdot 3,0}{0,95} = 464 \text{ Вт} = 0,46 \text{ кВт}$$

Розрахунок транспортерів малого і великого рукавів піскомета показано в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахунок транспортерів малого і великого рукавів піскомета

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Значення параметрів	
			малий рукав	великий рукав
Об'ємна продуктивність піскомету за ущільненою сумішшю	L	м <sup>3</sup> /сек	3,5 × 10 <sup>-3</sup>	
		м <sup>3</sup> /ГОД	12,5	
Об'ємна густина суміші на стрічці транспортера	$\delta_H$	кг/м <sup>3</sup>	1100	
Середня густина ущільненої суміші	$\delta$	кг/м <sup>3</sup>	1600	
Продуктивність транспортерів за розпушеною сумішшю	L <sub>p</sub>	м <sup>3</sup> /сек	5,1 · 10 <sup>-3</sup>	
		м <sup>3</sup> /ГОД	18	
Ширина ковша	b	м	0,125	
Частота обертання ротору	n	об/сек	24,2	
		об/ГОД	1450	
Число ковшів	k	–	1,0	
Швидкість транспортера малого рукава	$v_M$	м/сек	3,0	–

Швидкість транспортера великого рукава	$v_B$	м/сек	–	2,0
Ширина стрічки	$B$	м	0,200	
Висота шару суміші на стрічці	$h$	м	0,0058	0,0088
Вага погонного метра суміші, яка транспортується	$q$	Н/ м	12,5	18,97
Товщина стрічки	$\Delta_L$	м	0,04	
Густина матеріалу стрічки	$\rho_L$	кг/м <sup>3</sup>	1150	
Вага погонного метра стрічки	$q_L$	Н/ м	90,16	
Діаметр ролика	$D_p$	м	0,115	0,150
Вага обертових частин роликкоопор	$G_p$	н	52,97	52,97
		кгс	5,35	5,35
Довжина прямолінійних ділянок	$l$	м	1,6	2,62
Кут нахилу прямолінійних ділянок	$\beta$	–	12 °	7 °
Коефіцієнт опору	$\omega'$	–	0,035	
Коефіцієнт тертя стрічки по напрямних	$\mu$	–	0,4	
Погонне навантаження від обертових частин	$q'_p \neq q''_p$	Н/м	33,11	44,15
			33,11	20,22
Напрямок руху завантаженої гілки	–	–	Вниз	Вгору
Сили опору на прямолінійних ділянках	$\omega_{гр}$	Н	38,6	164,1
	$\omega_n$	Н	-23,5	38,4
Кут обхвату приводного ролика	$\alpha$	град	180	180
Значення	$e^{fa}$	–	1,87	
Коефіцієнт опору на кривол. ділянці	$k$	–	1,06	
Натяг збігаючої гілки на приводному ролику	$S_1$	Н	149	490
Натяг набігаючої гілки на приводному ролику	$S_4$	Н	279	916
Коефіцієнт опору приводного барабану	$k'$	–	0,04	
Опір приводного барабану	$\omega_{пр}$	Н	17,12	56,24
Тягове зусилля на приводному ролику	$\omega_0$	Н	147	482
К.к.д. передавального механізму	$\eta_m$	–	0,95	
Потужність, яка потрібна для електродвигуна	$N$	Вт	464	1014
		кВт	0,46	1,014

#### 4 Розрахунок на міцність вала приводу метаючої головки

У більшості випадків електродвигун приводу головки знаходиться в кінці малого рукава і з'єднується з ротором головки довгим валом. Завдання розрахунку вала полягає в перевірці його міцності на кручення і перевірці на резонанс.

Перевірка на резонанс проводиться з метою виявлення необхідності установки проміжної опори.

Розрахунок вала на кручення. Обертний момент, який діє на вал:

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega_1}, \quad (4.1)$$

де  $N$  - потужність встановленого електродвигуна;  $\omega$  - кутова швидкість валу.

$$M_{кр} = \frac{48}{126} = 380 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Найбільше дотичне напруження визначається за формулою:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (4.2)$$

де  $W_p$  - полярний момент опору перерізу валу.

$$\tau = \frac{380}{43 \cdot 10^{-8}} = 88 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$$

Перевірка валу на резонанс. Критична кутова швидкість двоопорного гладкого валу знаходиться за формулою:

$$\omega_{кр} = (k \cdot \pi)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{M \cdot l^3}}, \quad (4.3)$$

де  $J$  - момент інерції перерізу валу;

$l$  - довжина валу, (табл. 4.1);

$M$  - маса валу;

$E$  - модуль пружності матеріалу вала;

$k$  - корінь рівняння частот, що визначає порядок коливань;  $k = 1, 2, 3, 4$  і т. і.; при розрахунку першої критичної швидкості приймають  $k = 1$ .

$$\omega_{кр} = (1 \cdot 3,14)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 63,5 \cdot 10^{-8}}{58,7 \cdot 2,65^3}} = 106 \text{ рад/сек.}$$

Запас по відношенню до резонансу при кутових швидкостях:

$$\frac{\omega_1 - \omega_{кр}}{\omega_{кр}} \cdot 100 \% = \frac{126 - 106}{106} \cdot 100 \% = 19 \% \quad (4.4)$$

Розрахунок валу приводу метаючої головки піскомету наведено в табл. 4.1. Результати розрахунку показують, що при  $n = 20$  об/сек (1450 об/хв) вал на двох опорах практично буде працювати в умовах резонансу, тому необхідна установка третьої опори.

Таблиця 4.1. – Розрахунок валу приводу метаючої головки піскомету

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Значення параметрів
Довжина валу	$l$	м	2,65
Діаметр валу	$d$	м	0,06
Кутова швидкість валу	$\omega_1$	рад/сек	126
Вага валу	$M$	кг	58,7
Момент інерції перерізу валу	$J$	$\text{м}^4$	$63,5 \times 10^{-8}$
Полярний момент опору перерізу валу	$W_p$	$\text{м}^3$	$43 \times 10^5$
Максимальний крутний момент	$M_{кр}$	$\text{Н} \cdot \text{м}$	380
Максимальне дотичне напруження	$\tau$	$\text{Н}/\text{м}^2$	$88 \times 10^5$
		$\text{кгс}/\text{см}^2$	88
Матеріал валу	–	–	Сталь 45
Допустима напруга (II категорія навантажень)	$[\tau]$	$\text{Н}/\text{м}^2$	$1150 \times 10^5$
		$\text{кгс}/\text{см}^2$	1150
Модуль пружності матеріалу	$E$	$\text{Н}/\text{м}^2$	$2 \times 10^{11}$
		$\text{кгс}/\text{см}^2$	$2 \times 10^6$
Перша критична кутова швидкість вала ( $k = 1$ )	$\omega_{кр}$	рад/сек	106
Запас по відношенню до резонансу при кутових швидкостях	–	%	19

## 5 Техніка безпеки

Робочі місця для виготовлення форм повинні бути обладнані збиральними решітками, що забезпечують прийом і видалення просипу суміші [9].

Система управління повинна забезпечувати виконання технологічних операцій у необхідній послідовності, виключати одночасне виконання несумісних операцій і забезпечувати в автоматичному режимі початок роботи на даній позиції при фіксованому положенні відповідних елементів механізмів.

Формувальні струшуючі машини повинні встановлюватися на віброізолюваному фундаменті. Триматися за опоку у момент ущільнення суміші забороняється.

Пускові пристрої для включення рухомих частин машин повинні розміщатися на дистанційному пульті управління, а при їх розміщенні на машині - приводитися в дію двома руками; при управлінні однією рукою повинні бути передбачені захисні огороження, які виключають травмування оператора пресуючим або струшуючим пристроєм.

Конструкція струшуючих машин повинна передбачати пристрої для зниження рівнів шуму при ударі співударяючих поверхонь.

Сушку і охолодження висушених форм необхідно проводити способами, які виключають виділення в робочу зону газів, пилу і тепла.

Завантаження візків з опоками в камери сушильних печей та їх вивантаження повинні бути механізовані.

Покриття поверхні форм протипригарними фарбами, які виділяють шкідливі речовини, повинно проводитися способами, які виключають потрапляння аерозолів протипригарних фарб в повітря робочої зони.

Пневматична система машин повинна мати глушники в місцях скидання відпрацьованого стисненого повітря, або конструкція машин повинна передбачати можливість виведення скидання стисненого повітря по звукоізолюваному каналу за межі цеху.

Пісcomedети як пересувні, так і стаціонарні з механізованим керуванням повинні бути забезпечені виносним пультом управління [10].

Конструкція пісcomedету повинна передбачати:

- безпеку працюючих при руйнуванні ковша та дуги пісcomedетної головки за рахунок міцного кожуха головки, в якому неприпустимі щілини в зварних швах;
- блокування на кришці кожуха пісcomedетної головки, яка виключає включення приводу ротору головки і відключає його при відкритій кришці;
- установку місцевого освітлення на пісcomedетній головці, яке створює на робочій поверхні освітленість не менше 150 лк.

Конструкція пересувних пісcomedетів повинна передбачати:

- сигнальні пристрої, автоматично вмикаються для подачі попереджувального звукового сигналу при пересуванні пісcomedету;
- можливість управління цим сигналом також вручну;
- кожуха для коліс візків з урахуванням максимальної відстані від нижньої межі кожухів до рейок - 20 мм;
- опорні пристрої на рамах (на випадок поломки вісі коліс), віддалені на відстань 10 мм від головки рейки;
- електричне блокування обмежує пересування пісcomedету в кінцевих точках шляху;
- заземлення рейок і самого пісcomedету.

Щоб забезпечити необхідну якість ущільнення консистенції в опоці і довговічність роботи пісcomedету, формувальник повинен дотримуватися наступних основних правил його експлуатації [11]:

- подача формувальної консистенції в метаючу головку повинна бути рівномірною і здійснюватися транспортним пристроєм безперервно;
- ротор з закріпленим на ньому ковшем повинен бути відбалансований. Маса ковшів, які використовують, повинна бути незмінною з відхиленням в межах  $\pm 5$  г;
- при збільшенні зазору між змінною дугою метаючої головки і ковшем вище 0,5 мм ці деталі повинні бути змінені;

- вісі повороту великого і малого рукавів повинні бути встановлені строго вертикально. Випадковий поворот рукавів неприпустимий;
- при витягнутих в одну лінію рукавах, також при розташуванні вісі малого рукава щодо осі великого рукава під кутом, прогин головки не повинен перевищувати 5 мм;
- потрібно часто дивитися за станом транспортних стрічок; при підміні їх новими потрібно забезпечити правильне з'єднання кінців стрічки і нормальний натяг. Натяг транспортних стрічок здійснюється методом переміщення натяжних роликів великого і малого рукавів за допомогою натяжних пристроїв;
- електричне обладнання має бути захищене від пилу. Для цього потрібно дивитися, щоб дверцята шифоньєрів управління і розподільних коробок були щільно закриті і притягнуті гвинтами. Чи не рідше 1- го разу за місяць потрібно продувати апаратуру та електродвигуни сухим стисненим повітрям;
- потрібно систематично інспектувати затяжку кріпильних деталей.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих типів обладнання для виготовлення ливарних форм в цехах масового і великосерійного виробництва, описано існуючі конструкції і обґрунтовано вибір стаціонарного піскомета, розраховано основні технологічні параметри машини, виконано перевірочний розрахунок на міцність валу піскометної головки та рукавів піскомету на міцність і жорсткість, , описано правила безпеки роботи.

Використання стаціонарного піскомета є справді ефективним вирішенням завдань отримання великих ливарних форм 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 головки піскомету, що дозволяє не лише краще розуміти принцип його роботи, а й надає можливість візуально оцінити конструкцію та потенційні особливості його експлуатації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Формувальні матеріали [Текст]: підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 258 с.
2. 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.
3. Тітов Н. Д. Технологія ливарного виробництва / Тітов Н. Д., Степанов Ю. А. – М.: Машинобудування, 1978. – 432 с.
4. Матвеєнко І. В. Формовочне та стержневе обладнання ливарних цехів / Матвеєнко І. В., Ісагулов А. З. – Караганда: Видавництво КарГТУ, 2004. – 215 с.
5. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів / Сумцов В. П. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
6. Аксьонов П. Н. Обладнання ливарних цехів. / Аксьонов П. Н. – М.: Машинобудування, 1977. – 510 с
7. Машини ливарного виробництва. Атлас конструкцій / Аксьонов П. Н., Орлов В. І., Благодіров Б. П. – М.: Машинобудування, 1972. – 512 с.
8. Горський А. І. Розрахунки машин ливарного виробництва / Горський А. І., Геллер Р. Л. – М.: Машинобудування, 1966. – 405 с.
9. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів напряму 0904 «Металургія» / Н.М.Глиняна. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – 184 с.
10. Охорона праці в галузі (для спеціальності «Металургія чорних металів»): навчальний посібник / В. П. Полетаєв, О. А. Крюковська / під ред. д.т.н., проф. А. П. Огурцова. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2015. – 363 с.
11. Основи охорони праці: Підручник. 2<sup>ге</sup> видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно,

О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

# ДОДАТКИ