Форма № Н-9.02

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)
«____»_____2025__р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Конструювання і розрахунок одношнекового змішувача продуктивністю 1…3 тони за годину»

«Desing and calculation of a single-screw mixer with a productivity of 1…3 tons per hour»

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи _____ПМ(ОЛ)-21_____
_____Дмитро Самойленко_____
(прізвище та ініціали)
ОПП _____«Прикладна механіка»_____
спеціальності _131 «Прикладна механіка»__
Керівник роботи:
к.т.н., доц.
_____Олександр СКРИПНИК__
(прізвище та ініціали)
Рецензент:
к.т.н., доц.
_____
(прізвище та ініціали)

Кропивницький – 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Матеріалознавства та ливарного виробництво
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри М та ЛВ
_____Олександр КУЗИК
«____»_____2025___р.

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

_____Самойленко Дмитро Олександрович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання і розрахунок одношнекового змішувача продуктивністю 1…3 тони за годину

2. Керівник роботи __доц., к.т.н. Скрипник Олександр Вікторович_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "_2_"_01_2025_року № 9-02

3. Строк подання студентом роботи ___17.06.2025 р._____

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 шнекових машин, основні технічні данні та характеристики змішувача, устрій змішувача та технічний опис системи, методика конструкційних розрахунків та технологічних розрахунків шнекового змішувача, правила безпеки_____
_____
_____
_____

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):_____
Змішувач;_____
Змішувач вид зверху;_____
Шнек_____
_____
_____
_____
_____

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Скрипник О.В., доц.		
2	Скрипник О.В., доц.		
3	Скрипник О.В., доц.		

8. Дата видачі завдання 10.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Конструктивні особливості шнекових машин	25.03.2025	
2	Основні технічні данні та характеристики змішувача	1.04.2025	
3	Устрій змішувача та технічний опис системи	9.04.2025	
4	Методика конструкційних та технологічних розрахунків шнекового змішувача	15.04.2025	
5	Розрахунки шнека на міцність, жорсткість і стійкість	21.04.2025	
6	Правила безпеки	7.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.05.20245	
8	Оформлення презентації роботи	25.05.2025	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2025__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2025__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Дмитро САМОЙЛЕНКО)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 39 стор. друкованого тексту і містить 10 рис., 1 табл., 16 джерел.

В бакалаврській роботі виконано опис і обґрунтування вибору обладнання для приготування швидкотвердіючої стержневої суміші, проаналізовано і розраховано робочий процес шнекового змішувача, визначено його основні параметри і розміри, потужність приводів, розраховано на міцність основні вузли, описані заходи по створенню безпечних умов праці.

Об'єкт розробки – проектування шнекового змішувача продуктивністю 1…3 т/год.

Предмет розробки – визначення конструктивних та технологічних параметрів шнекового змішувача.

Результати проектування – спроектовано шнековий змішувач продуктивністю 1…3 т/год.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при виробництві швидкотвердіючих 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 set out on 39 pages of printed text and contains 10 figures, 1 tables, 16 sources.

The bachelor's thesis describes and justifies the choice of equipment for the preparation of a quick-hardening core mixture, analyzes and calculates the working process of a screw mixer, determines its main parameters and dimensions, drive power,

calculates the strength of the main components, and describes measures to create safe working conditions.

Object of development - design of a screw mixer with a capacity of 1...3 t/h. Subject of development - determination of design and technological parameters of the screw mixer.

Design results - a screw mixer with a capacity of 1...3 t/h was designed.

The results of the development can be recommended for implementation in the production of fast-hardening 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 Конструктивні особливості шнекових машин……7
2 Основні технічні данні та характеристики змішувача……8
3 Устрій змішувача та технічний опис системи……9
3.1 Загальні відомості про конструкцію змішувача С1Ш-3……9
3.2 Система подачі рідких компонентів того, що пов'язує……12
3.3 Електроустаткування. Загальні відомості……14
3.4 Шафа управління……15
3.5 Пульт управління……16
3.6 Пневмообладнання. Загальні відомості……17
3.7 Блок підготовки повітря……17
3.8 Блок пневмоапаратів……19
3.9 Пневмокомунікації……20
3.10 Заслінка для затримки першої порції стрижньової суміші……20
4 Методика конструкційних розрахунків та технологічних розрахунків шнекового змішувача……20
4.1 Розрахунок геометрії шнека і частоти його обертання……20
4.2 Розрахунок сумарного об'єму робочої порожнини змішення……23
4.3 Розрахунки шнека на міцність, жорсткість і стійкість……25
4.3.1 Розрахунок консольного шнека……28
4.3.2 Навантаження, що діють на шнек……28
4.3.3 Розрахунок внутрішніх зусиль в поперечних перетинах шнека……30
5 Правила безпеки……34
ВИСНОВКИ……36
ЛІТЕРАТУРА……38
ДОДАТКИ……39

ВСТУП

В умовах ринкової економіки ливарне підприємство зможе залишатися конкурентним лише в тому випадку, якщо використовуватиме сучасну технологію виробництва, прогресивне устаткування і витрачати на виробництво мінімальну кількість енергоресурсів.

Переозброєння виробництва передбачає залучення істотних інвестицій. Доцільнішим, на нашу думку, в економічних умовах, що склалися, буде модернізація існуючого устаткування шляхом заміни його основних робочих вузлів і деталей на нових, спроектованих на основі сучасних методів розрахунку, що враховують якість кінцевого продукту [1].

Протягом останніх двох десятиліть технологія виготовлення виливків у сирих піщано-глинистих формах привернула значну увагу у світовій промисловості. Цей напрямок розвитку відкрив нові можливості для виробництва. Зокрема, стало можливим виготовлення геометрично точних виробів зі складними конфігураціями та тонкими стінками, що раніше було важкодосяжним.

Важливість формувальної і стержневої суміші у виробництві виливків значно зросла. Контроль її властивостей став критичним для забезпечення якості та стабільності виробничого процесу. З розвитком автоматизованих систем, стабільність якісних показників формувальної і стержневої суміші набуває ще більшого значення.

Для ефективної роботи автоматичних стержневих ліній необхідна розробка та використання сучасного обладнання, що забезпечує виготовлення високоякісної стержневої суміші [2].

1 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ШНЕКОВИХ МАШИН

Основним устаткуванням для виготовлення стержнів із швидкотвердіючих сумішей є одно- і багатошнекові машини.

В даний час в промисловості найбільш широке застосування отримали одношнекові преси, як визначальні параметри яких приймаються діаметр шнека – *D* і відношення довжини робочої частини шнека до його діаметру – *L/D* [3].

Моделі вітчизняних одношнекових пресів універсального призначення для виробництва стержнів виготовляються з відношенням довжини робочої частини шнека до діаметру *L/D* рівним 20, 25 і 30. Для спеціальних шнекових машин відношення *L/D* може бути збільшене до 35 або 40. Найбільшого поширення набули машини з відношенням *L/D* рівним 20 і 25, проте останнім часом намічається тенденція до збільшення відношення *L/D* до 30.35, що в сукупності із збільшенням кутової швидкості шнека приводить до істотного підвищення продуктивності шнекових машин (пресів).

Перевагою довгих шнеків є підвищена якість пластикації матеріалу і створення високого тиску закінчення через формівний інструмент, при невеликій глибині гвинтового каналу. Це особливо важливо при формуванні виробів за допомогою оформляючих головок, що мають високий опір.

Шнекові машини для переробки не стержньових сумішей відрізняються від машин для стержневих тим, що при тих же діаметрах шнеків мають менше відношення *L/D*, яке, зазвичай, не перевищує 12, і велику глибину нарізки гвинтового каналу. Зменшення довжини шнеків пояснюється тим, що ці машини призначені продавити через формівний інструмент, вже готову суміш, тобто виконують функції своєрідного гвинтового насоса. Збільшення глибини нарізки шнека усуває великий градієнт швидкостей зрушення по глибині гвинтового каналу, що зменшує дисипативні виділення тепла за рахунок механічної енергії приводу машини, усуває перегрів суміші.

Двошнекові машини набули поширення, як спеціалізоване устаткування для виробництва стержневих композицій, як змішувачі безперервної дії з одночасною профілізацією заготовок.

Змішувачі безперервної дії мають ряд переваг перед змішувачами періодичної дії [4]:

– реалізуються вищі швидкості і напруга зрушення, оскільки обробка суміші проходить в тонкому шарі;

– суміш готується при постійній витраті енергії, а відсутність пікових навантажень дозволяє понизити потужність приводу на 40 %;

– знижується розкид фізико-механических показників якості суміші за рахунок роботи змішувача в сталому режимі;

– операції змішення і профілізації відбуваються одночасно.

2 ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ДАННІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗМІШУВАЧА

Змішувач одношнековий високошвидкісний безперервної дії призначений для приготування стержньових піщано-смоляних холоднотвердіючих сумішей (ХТС), які використовуються для виготовлення піщаних ливарних стержнів по технологіях No-bake і Cold-box.

Змішувач виготовлений в кліматичного виконання УХЛ категорії 4 по ГОСТ 15150 - 69 відповідно до загальних вимог безпеки згідно ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.046.0-2004, ГОСТ 12.2.049 і ГОСТ 10580 - 74 і призначений для експлуатації в закритих, опалювальних і вентильованих приміщеннях з температурою не нижче +16 °С і відносною вологістю не більше 75 % при температурі 20 °С.

Основні технічні дані і характеристики змішувача С1Ш-3 представлені в табл. 2.1

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики змішувача С1ш-3

№ п/п	Параметр	Значення
1	Тип устаткування	Змішувач одношнековий високошвидкісний поворотний безперервної дії
2	Кількість робочих органів (шнеків), шт.	1
3	Тип шнека	Лопасний
4	Кут повороту камери перемішування °, не менше	180
5	Радіус дії, мм	720
6	Продуктивність, т/год	1,0...3,0
7	Діаметр шнека, мм	144
8	Число оборотів шнека, $хв^{-1}$	690
9	Кількість агрегатів електронасосних	2
10	Необхідний тиск повітря в мережі, Мпа	0,5...0,63
11	Рід струму живлячої мережі	Змінний трифазний, 50 Гц
12	Напруга, В	380/110-24

13	Встановлена потужність, кВт	4
14	Габарити (без електрошафи і підставки з насосами), мм: довжина × ширина × висота	 1375 × 420 × 1652
15	Маса змішувача, кг, не більш	450

3 УСТРІЙ ЗМІШУВАЧА ТА ТЕХНІЧНИЙ ОПИС СИСТЕМИ

3.1 Загальні відомості про конструкцію змішувача С1Ш-3

Змішувач мод. С1Ш-3 відноситься до нового покоління одношнекових високошвидкісних змішувачів безперервної дії. Загальний вид змішувача представлений на рис. 3.1 [5].

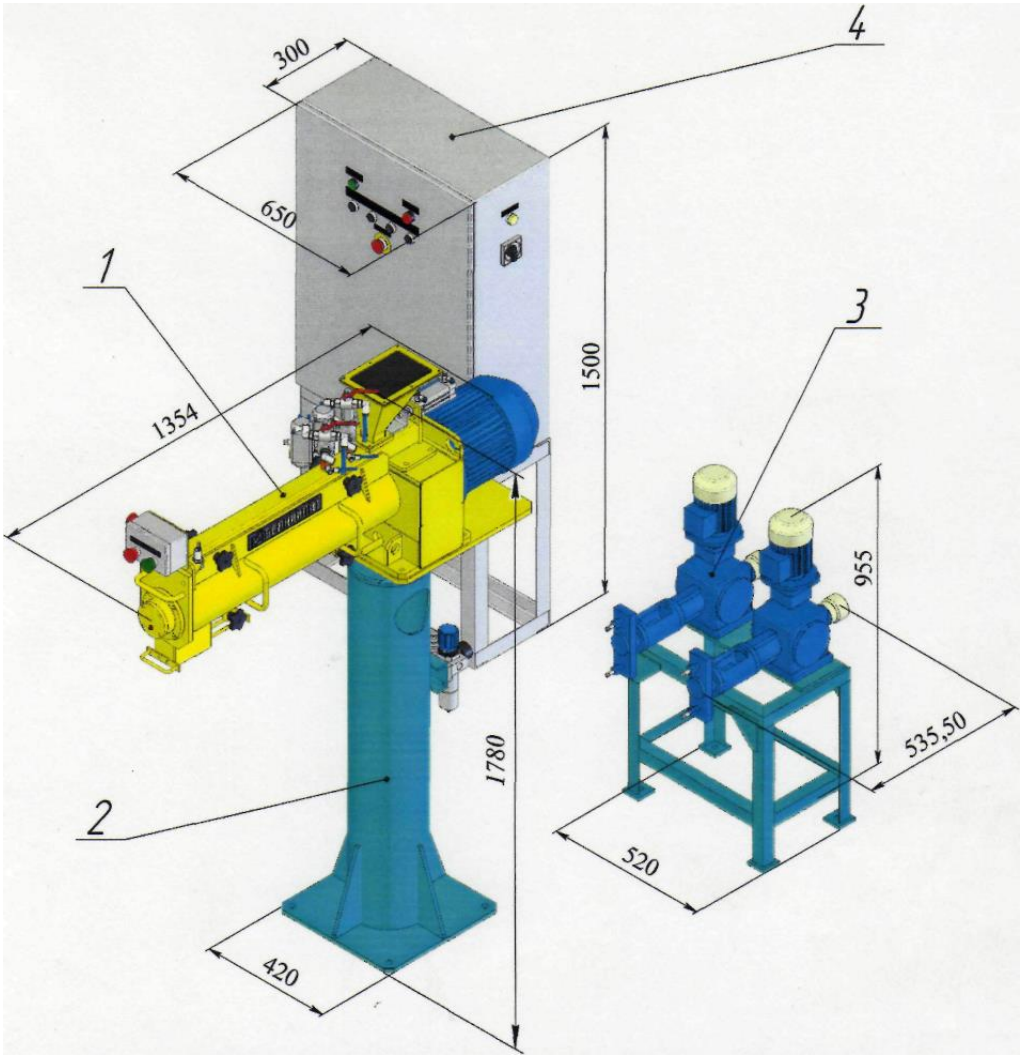

Рисунок 3.1 - Загальний вид змішувача С1Ш-3:

1 - змішуючий агрегат; 2 - опорна колона; 3 - підставка з насосами подачі рідких компонентів того, що пов'язує; 4 - шафа управління

Технологічно, операція приготування стержньової суміші полягає в перемішуванні всіх початкових компонентів суміші, які дозуються в заданій кількості. У змішувачі С1ш-3 перемішування компонентів суміші відбувається в порожнині змішуючого агрегату 1, встановленого для зручності роботи і обслуговування на опорну колону 2. Насоси подачі компонентів 3 служать для дозування і подачі рідких компонентів суміші в той, що змішує агрегат.

Шафа управління 4 містить всю необхідну електроапаратуру управління, яка забезпечує спрацьовування всіх вузлів і деталей змішувача по заданій схемі.

Змішуючий агрегат є найбільш важливим вузлом змішувача. Загальний вид змішуючого агрегату, встановленого на опорну колону, представлений на рис 3.2.

Змішуючий агрегат представляє з себе важливу збірну конструкцією. Несучий каркас змішуючого агрегату складається із збірно-зварної підстави, що включає плиту передньою 9, балку 11, корпус 16 і плиту 19. Дві кришки 7, які встановленні з двох сторін несучої балки 11, з торців щільно прилягають до плити передньою 9 і корпусу 16, утворюючи камеру перемішування. Під час роботи змішувача кришки 7 жорстко зафіксовані в робочому положенні затисками кришки 3. Всі схильні до зносу елементи камери перемішування виготовлені з товстостінного металу. На час очищення і обслуговування змішувача кришки 7 легко знімаються, забезпечуючи зручний доступ до розташованих в порожнині камери змішування елементам змішувача. У місцях зіткнення двох кришок камери перемішування з метою запобігання просипання піску може бути встановлене ущільнення (гумовий шнур). В цілях безпеки положення кришок контролюється блокувальними датчиками [6].

Уздовж подовжньої осі камери перемішування розташований вал змішуючого шнека 5, один кінець якого сполучений з валом електродвигуна 18. При цьому електродвигун 18 своїм фланцем кріпиться до корпусу змішувача, а кінці валу шнека 5 закріплені в підшипниках (один кінець валу спирається на підшипники вузла 17, а другий - на підшипник, розташований в плиті передньої 9). Передній і задні підшипники змішувача конструктивно захищені від механічної дії піску захисними кришками і ущільненнями. При включенні електродвигуна 18 швидкість обертання валу шнека 5 складає 690 оборотів в хвилину. В цілях безпеки і зручності обслуговування, зона контакту валу електродвигуна 18, валу шнека 5, підшипникового вузла 17 закрита знімними кришками 21, закріпленими до корпусу 16 змішувача.

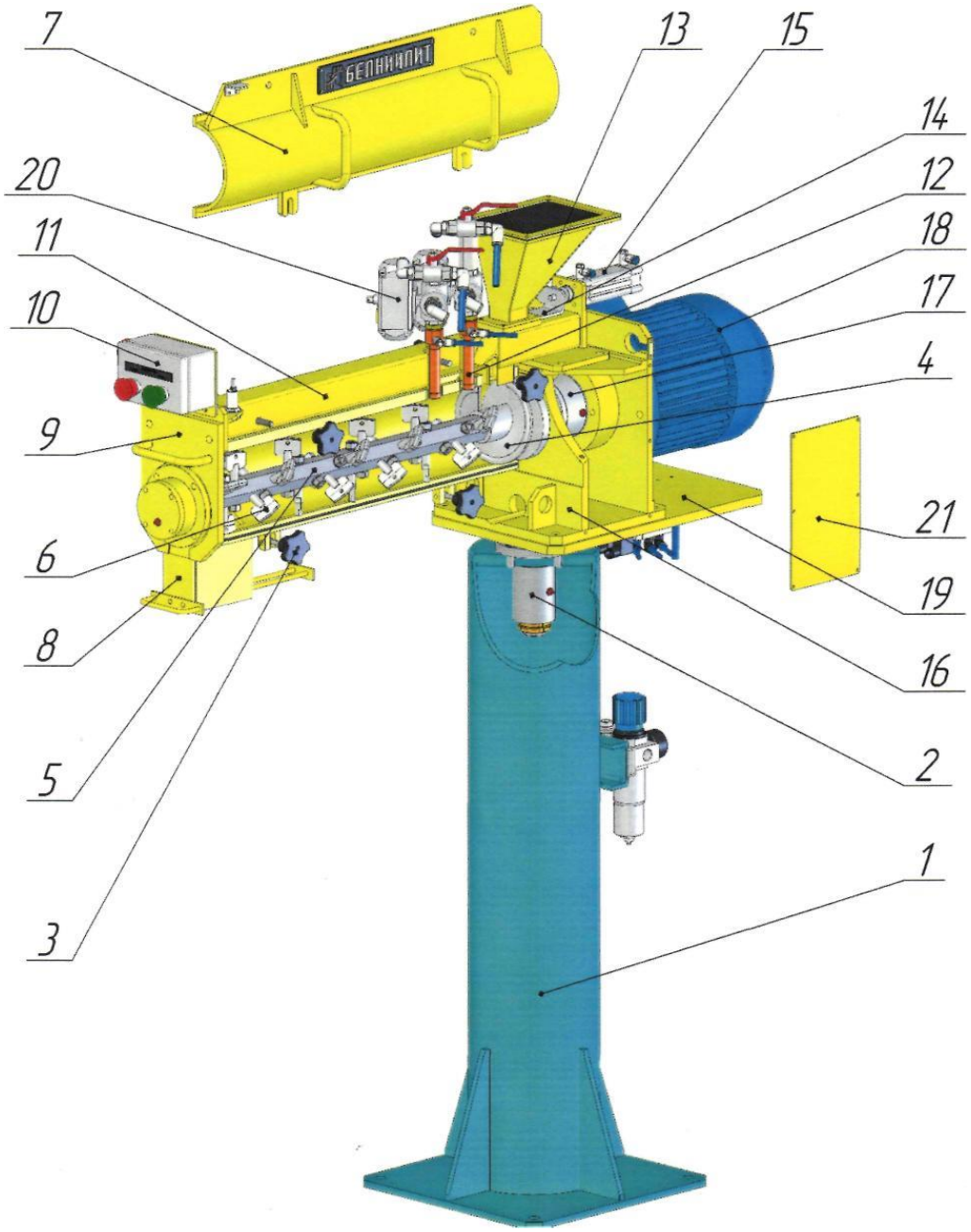

Рисунок 3.2 - Загальний вид змішуючого агрегату, встановленого на опорну колону: 1 - опорна колона; 2 - поворотна опора; 3 - затиск кришки; 4 - гвинтова лопать шнека; 5 - шнек; 6 - змішуючі лопатки; 7 - кришки; 8 - розвантажувальний лоток; 9 - плита передня; 10 - пульт управління; 11 - балка; 12 - трубки введення рідких компонентів (форсунки); 13 - бункер; 14 - шибер; 15 - пневмоциліндр; 16 - корпус; 17 - підшипниковий вузол; 18 - електродвигун; 19 - плита; 20 - блок апаратури системи подачі рідких компонентів; 21 - кришка корпусу.

3.2 Система подачі рідких компонентів того, що пов'язує

Система подачі рідких компонентів (СПРК) призначена для дозування і подачі рідких зв’язуючих компонентів в камеру перемішування змішувача. Змішувач С1Ш-3 має дві незалежні СПРК, призначені для роботи з двома зв’язуючими компонентами (наприклад, смоли і каталізатора). Склад СПРК представлений на рис. 3.3 [7].

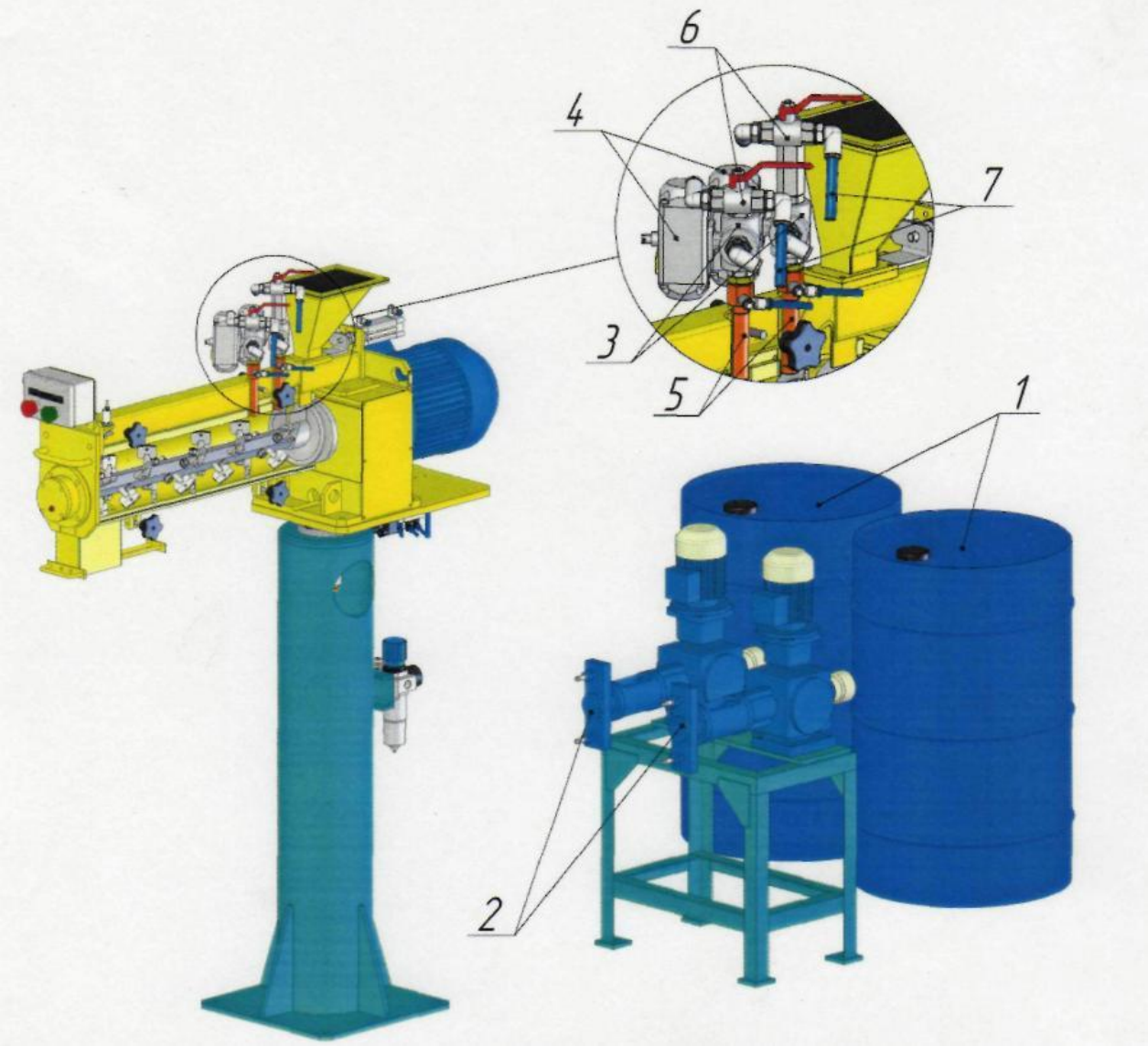

Рисунок 3.3 - Схема монтажу елементів системи подачі рідких компонентів: 1 - витратні ємкості рідких компонентів того, що пов'язує (тара Споживача); 2 - насос-дозатор НД; 3 - кран кульовий трипозиційний; 4 - поворотний привід; 5 -трубка-форсунка; 6 - кран кульовий трипозиційний з ручкою (ручний); 7 - трубка відбору дози рідкого компоненту.

Системи подачі двох зв’язуючих компонентів по складу ідентичні, і можуть відрізнятися лише моделлю використовуваних дозуючих насосів і матеріалом полімерних трубок подачі рідких компонентів.

Робота СПРК здійснюється таким чином. При включенні змішувача рідкий зв’язуючих компонент з транспортної (витратної) ємкості (бочки) 1 через шланг безперервно всмоктується одноплунжерним насосом-дозатором 2 і подається в кран кульовий трипозиційний 3 (мод. VZBA-R38-63-32L-F-F0304-R, «Festo»).

При цьому, на ділянці «насос - кран кульовий трипозиційний» додатково можуть бути розташовані ковпаки повітряні ВК-6-000-02 (опціонального постачання), в яких відбувається вирівнювання пульсації потоку рідких зв’язуючих компонентів.

Трипозиційний кран 3 управляється поворотним приводом 4 (мод. DRD-2-F03, «Festo»). Трипозиційний кран 3 і поворотний привід 4 змонтовані зверху трубок-форсунок 12 (рис. 3.2). Форсунка є вузлом «трубка в трубці»: по внутрішній трубці подається рідкий зв’язуючих, по зовнішній - стиснене повітря. Трубки форсунки сконструйовані так, щоб на виході з форсунки струмінь рідини розпилювався стисненим повітрям. Для подачі у форсунку стисненого повітря, на вході у форсунки 5 (рис. 3.3) встановлені фітинги, які забезпечують приєднання шланга подачі стисненого повітря.

Якщо не натиснута кнопка «ЗМІШУВАЧ ПУСК» на пульті управління, трипозиційний кран 3 відкритий в положенні «на злив». При включенні робочого циклу сумішепригтування трипозиційний кран 3 поворотним приводом 4 відкривається в положення подачі компоненту в трубку-форсунку камери перемішування змішувача. Через шланг подачі стисненого повітря у форсунки 4 впродовж всього циклу сумішепригтування поступає стиснене повітря, що забезпечує інжекторне розпилювання рідкого зв’язуючого і, тим самим, кращий розподіл рідкого компоненту по поверхні піску під час робочого циклу сумішепригтування. При натисненні кнопки «ЗМІШУВАЧ СТОП» кран 3 приводом 4 повертається в положення «на злив», стиснене повітря якийсь час продовжує обдувати форсунки 5, забезпечуючи їх очищення від залишків зв’язуючих матеріалів в інтервалах простою устаткування.

Рекомендації по налаштування часу затримки відключення подачі стисненого повітря у форсунці викладені в розділі «Пуско-наладка» [8].

У холостому циклі роботи змішувача трипозиційний кран 3 відкритий в положенні «на злив», рідина при цьому потрапляє в кран трипозиційний кульовий 6, змонтований зверху трипозиційного крана 3.

Трипозиційний кран 6 керується вручну поворотом ручки і дозволяє регулювати напрям потоку рідини або в трубку відбору дози 7, або через полімерний шланг на поворотний злив в транспортну (витратну) ємність 1. У звичайному режимі експлуатації змішувача трипозиційний кран 6 відкритий в положенні поворотного зливу рідини в ємність 1.

Таким чином, конструкцією системи подачі рідких компонентів передбачена закольцованная система подачі-зливу рідких компонентів, що забезпечує [8]:

- постійне заповнення системи рідиною і дуже швидкий відгук подачі перемішування зв’язуючого в камеру при включенні робочого циклу сумішоприготування;
- безперервну циркуляцію зв’язуючого, сприяючу усереднюванню складу, в'язкості і концентрації рідини, яка перекачується впродовж всієї робочої зміни;
- сприятливі умови для експлуатації насосів-дозаторів (відсутні перевантаження у момент їх частого включення, досягається висока точність дозування).

З метою полегшення монтажу полімерного шланга з елементами СПРК в конструкції змішувача С1ш-3 можуть використовуватися кутові штуцера з цанговыми затисками або з'єднання з «накидною гайкою».

3.3 Електроустаткування. Загальні відомості

Електроустаткування змішувача виконання С1Ш-3 (рис. 3.4) складається з шафи управління 1, пульта управління 2, коробки 3 (яка живить механізми, розташовані на змішуючому агрегаті), зовнішніх електророзвідок 4 і монтажних виробів.

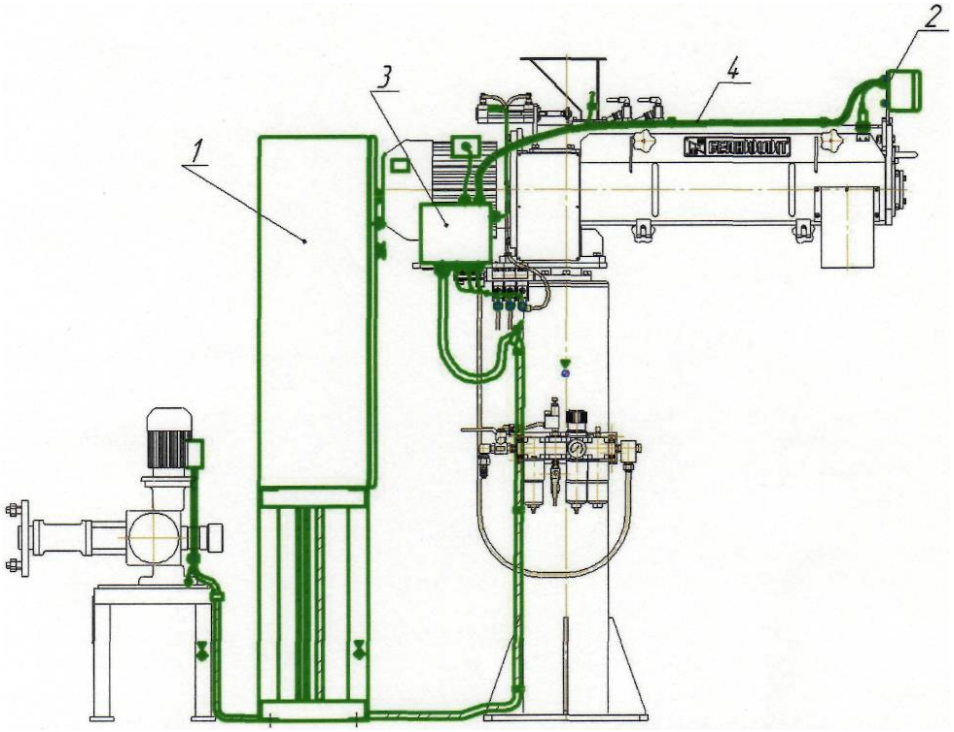

Рисунок 3.4 - Схема розміщення електроустаткування змішувача С1ш-3-00.000:
1 - шафа управління; 2 - пульт управління; 3 - коробка; 4 - зовнішні електророзводки.

Експлуатація електроустаткування змішувача повинна здійснюватися в повній відповідності з вимогами «Правил пристрою електроустановок», «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Режим роботи змішувача - тривалий. У ланцюгах електроустаткування змішувача застосовуються наступні види струмів і напруги [9]:

- силові ланцюги - 220/380В, 50Гц;
- ланцюги управління -110В, 50Гц і 24В постійного струму. Сумарна встановлена потужність складає 3,95 кВт.

Номінальний струм плавких вставок запобіжників живлячого силового ланцюга або установки типу спрацьовування ввідного автоматичного вимикача - 16А.

Відомостей про зміст дорогоцінних металів немає.

3.4 Шафа управління

Шафа управління містить електроапаратуру, необхідну для управління автономного змішувача С1ш-3. На правій бічній стінці шафи управління розташовані: ввідний автоматичний вимикач (Q1), призначений для подачі електроенергії в шафу і

сигнальна арматура (HL1), яка сигналізує про наявність напруги в шафі при включенні ввідного автомата.

На дверях шафи управління розташовані кнопки управління: "ЗАГАЛЬНИЙ СТОП" (SB2), "УПРАВЛІННЯ ПУСК" (SB3), перемикачі: «ШИБЕР - ВІДК/ВКЛ» (SA1), «НАСОС СМОЛИ - ВІДК/ВКЛ» (SA2), «НАСОС КАТАЛІЗАТОРА - ВІДК/ВКЛ» (SA3), «ШНЕК - ВІДК/ВКЛ» (SA4) і сигнальна арматура (HL2) червоного кольору, яка сигналізує про відсутність піску. Кнопка управління "УПРАВЛІННЯ ПУСК" (SB3) обладнана сигнальною арматурою (HL3) зеленого кольору, лампочка якої світиться при натисненні кнопки "УПРАВЛІННЯ ПУСК" (SB3) і гасне при натисненні кнопок «ЗАГАЛЬНИЙ СТОП» або при спрацьовуванні блокувань системи управління змішувача.

На внутрішній панелі шафи управління встановлені захисні автоматичні вимикачі (Q2...Q7), магнітні пускачі (КМ1...КМ3), реле часу (КТ1...КТ3), проміжні реле (К1...К9), блок живлення (А1), трансформатор (Т1) і набір клемних затисків.

3.5 Пульт управління

Пульт управління (рис. 3.5) розташований на передній частині змішуючого агрегату (див. рис. 3.4) і призначений для циклового включення/виключення робочого циклу змішувача (сумішоприготування). На передній кришці пульта управління (з боку оператора) розташовані кнопки управління циклового включення/виключення робочого циклу: "ЗМІШУВАЧ ПУСК" (SB5) і "ЗМІШУВАЧ СТОП" (SB4) відповідно. На бічній поверхні коробки пульта управління розташована кнопка "ЗАГАЛЬНИЙ СТОП" (SB1).

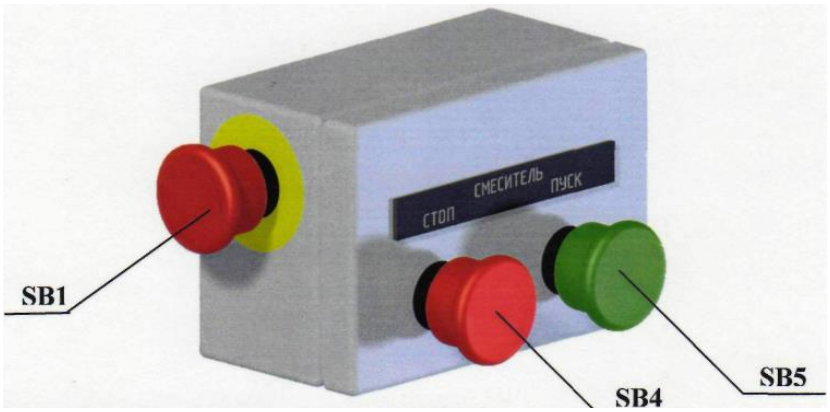

Рисунок 3.5 - Пульт управления смесителя С1Ш-3

3.6. Пневмообладнання. Загальні відомості

Робота пневмообладнання змішувача С1ш-3 забезпечується підключенням до цехової магістралі стисненого повітря Gl/2, Dy 15; необхідний тиск в мережі -0,5...0,63 МПа [9].

Працездатність пневмообладнання залежить від якості вживаного стисненого повітря, тому стиснене повітря, яке подається до установки, повинне бути заздалегідь осушено і очищено в цехових установках осушення повітря і відповідати наступним технічним вимогам:

- вміст твердих частинок - не більше 12 міліграма/м^3;
- вода і компресорне масло в рідкому стані не допускається;
- температура точки роси стисненого повітря повинна бути нижче за мінімальну робочу температуру не менше чим на 10 °С.

Пневмообладнання «автономного» змішувача спільно з електроустаткуванням призначено для управління подачею стисненого повітря у форсунки, управління шибером змішувача і поворотними приводами клапанів подачі смоли і каталізатора. Пневмообладнання змішувача (виконання «змішувач + вібростіл»), додатково до вищезгаданого, забезпечує підведення стисненого повітря до столу вібраційного.

До складу пневмообладнання змішувачів обох виконань входить (див. рис. 3.6): блок підготовки повітря 1, блок пневмоапаратів 2, пневмокомунікації 3.

До складу пневмообладнання змішувача (виконання «змішувач + вібростіл») також додатково входить шланг підведення стисненого повітря, який сполучає блок підготовки повітря змішувача С1ш-3 з пневмообладнанням столу вібраційного. Всі апарати пневмообладнання - виробництва фірми "Festo" (Австрія).

3.7 Блок підготовки повітря

Блок підготовки повітря закріплений на стійці змішувача (див. рис. 3.6) і забезпечує:

- включення і відключення змішувача від пневмосистеми;
- очищення стислого повітря від твердих частинок і води;
- ручне відведення води (конденсату);

- внесення розпорошеного мінерального масла до потоку стислого повітря;
- регулювання тиску повітря в пневмосистеми.

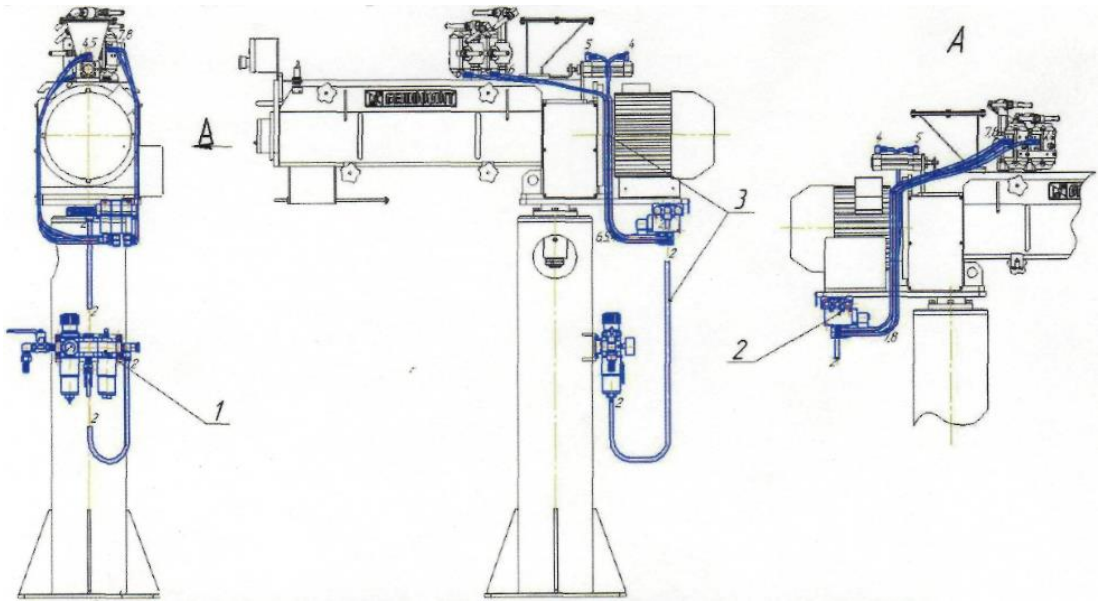

Рисунок 3.6 - Схема розміщення пневмообладнання змішувача С1ш-3:

1 - блок підготовки повітря; 2 - блок пневмоапаратів; 3 - пневмокомунікації

Блок підготовки повітря включає (див. рис. 3.7): регулятор тиску з фільтром 2, розгалуджувач 3, маслораспылитель 4, ручні крани і фитинги.

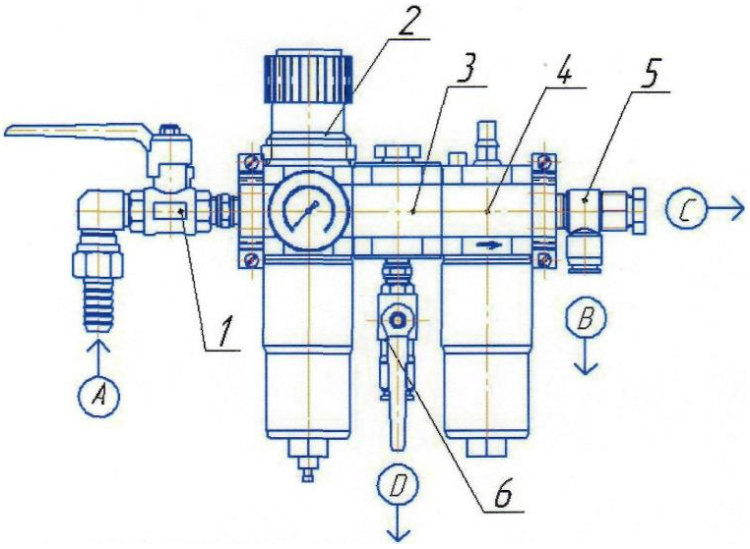

Рисунок 3.7 - Блок підготовки повітря:

1 - кульовий кран з патрубком підведення стисненого повітря; 2 - регулятор тиску з фільтром; 3 - розгалуджувач; 4 - мастилорозпилювач; 5 - розгалуджувач з відведенням повітря до вібростола; 6 - кульовий кран; А - підведення стисненого повітря від мережевої магістралі (Gl/2, Dy 15; P = 0,5...0,63 МПа); В - відведення повітря до блоку пневмоапаратів; С - відведення повітря до вібростола; D - відведення повітря до пістолета обдування.

Регулятор тиску з фільтром 2 забезпечує ручне налаштування тиску повітря на виході (пониження мережевого тиску) і підтримки його на заданому рівні. Контроль тиску здійснюється по манометру, вбудованому в регулятор. Фільтр з вологовідділювачем - очищувачем очищає стиснене повітря від бруду, трубної окалини і конденсату. Тонкість фільтрації 5 мкм.

Мастилорозпилювач 4 призначений для внесення до стисненого повітря розпорошеного мастила для змащування поверхонь пневмоциліндрів і пневмоапаратів, які труться.

Розташований у місці підведення цехової магістралі стисненого повітря ручний кран з патрубком («гребінкою» або з'єднанням під зварку) призначений для підключення блоку підготовки повітря до мережі стисненого повітря.

Для підведення стисненого повітря до обдувочного пістолета, в нижній частині блоку підготовки повітря є відведення з ручним кульовим краном типу 1/4" DN10.

3.8 Блок пневмоапаратів

Блок пневмоапаратів (див. рис. 3.6, поз. 2) є пневморозподілювачі типу MFH-5-1/4-24 конструкції фірми "Festo", встановлені на одній плиті.

Пневморозподілювач керує пневматичними приводами DRD-2-F03 (2 шт., "Festo") триходових вентилів СПРК смоли і каталізатора, пневморозподільник Р2 управляє подачею стисненого повітря на продування форсунок, пневморозподільник Р3 управляє переміщенням циліндра (див. рис. 3.2, поз. 15) шибера змішувача.

Для зменшення шуму при скиданні повітря з пневморозподільників в плиті встановлені пневмоглушителі U-3/8-B фірми "Festo". Пневморозподільники, сполучаючи робочі порожнини пневмоциліндра і пневматичних приводів з магістраллю стисненого повітря, а вихлопні (через глушники) з атмосферою, здійснюють рухи пневмоциліндра шибера і роботу пневмоприводів. Швидкість переміщення пневмоциліндра шибера змішувача регулюється дроселями із зворотними клапанами GRLA-1/8-QS-8. Напруга котушок електромагнітів - 24В [9].

3.9 Пневмокомунікації

Пневмокомунікації служать для зв'язку окремих вузлів, апаратів пневмообладнання між собою і передачі пневматичної енергії. До складу пневмокомунікації входять полімерні шланги і з'єднання з цанговими затискачами, які забезпечують швидке і зручне розведення пневмообв′язки змішувача.

3.10 Заслінка для затримки першої порції стержньової суміші

Дана опція дозволяє отримувати найбільш високу з можливих якість першої порції стержньової суміші на початку кожного циклу сумішоприготування. Заслінка для затримки першої порції суміші вмонтовується на розвантажувальному отворі змішувача.

4 МЕТОДИКА КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА

4.1 Розрахунок геометрії шнека і частоти його обертання

До основних геометричних параметрів шнека відносяться: його зовнішній діаметр *D*, крок *t*, глибина нарізки *h*, кут нахилу гвинтової нарізки, ширина гребеня витка *e*, величина радіального зазору між гребенем нарізки і корпусом матеріального циліндра δ.

Як початковий параметр для розрахунку задається діаметр шнека *D*, якщо діаметр шнека не заданий, то його орієнтовно розраховують по співвідношенню [10]:

$$Q = 0{,}68 \cdot D^{2,5} = 0{,}68 \cdot 144^{2,5} = 169205 \text{ мм} \quad (4.1)$$

Набутого значення діаметру шнека округляють до найближчого більшого значення із стандартного ряду діаметрів шнеків для конкретного виду полімерного матеріалу. Після вибору діаметру шнека і відношення *L/D* приступають до визначення решти параметрів шнека, які виражаються через його діаметр. Крок нарізки *t* і глибина витка шнека *h* істотним чином впливають на продуктивність шнекової машини. Крок

витка в зоні завантаження в основному залежить від коефіцієнта тертя матеріалу по шнеку і стінкам матеріального циліндра і від виду завантажуємого матеріалу. Для ідеального шнека оптимальним кутом нахилу нарізки був би кут 45 °. відповідний кроку *h = D.*

Насправді значення коефіцієнта тертя матеріалу по шнеку знаходяться в межах 0,3...0,6. Значення коефіцієнта тертя 0,5 відповідає куту нахилу нарізки шнека 19 °, тобто кроку 1,1D.

В більшості випадків для зони завантаження рекомендується приймати крок від 0,7D до 1,5D.

Для зони дозування, оптимальним є кут нахилу нарізки 30°, що відповідає кроку нарізки 1,8D, проте це значення є дуже високим, оскільки шнеки з великим кроком і великою глибиною дуже чутливі до зміни тиску, температури і в'язкості матеріалу. На практиці крок гвинтової нарізки шнека рекомендується приймати постійним по довжині шнека н рівним:

$$t = (0{,}8 \dots 1{,}2)D = 1 \cdot 144 = 144 \text{ мм} \quad (4.2)$$

Зазвичай крок приймається рівним діаметру шнека, тобто $t = D$, що відповідає куту підйому гвинтовою каналу 17°42'. В цьому випадку забезпечується не тільки достатньо хороше живлення машини матеріалом, але і істотно спрощується технологія виготовлення шнека [11].

Для забезпечення високих ступенів стиснення матеріалу можуть застосовуватися шнеки із змінним по довжині кроком нарізки.

Рекомендації по вибору глибини гвинтового каната залежно від властивостей перероблюємого матеріалу зводяться у кожному окремому випадку до чутливості матеріалу до перегріву. Глибина гвинтового какала шнеків *h* для переробки приймається рівною:

– у зоні завантаження

$$h = (0{,}12 \dots 0{,}16)D = 0{,}15 \cdot 144 = 21{,}6 \text{ мм} \quad (4.3)$$

– у зоні дозування

$$h_2 = 0{,}5\left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h}{j}(D - h_1)}\right] =$$
$$= 0{,}5\left[144 - \sqrt{144^2 - \frac{4 \cdot 21{,}6}{0{,}7}(144 - 21{,}6)}\right] = 34{,}5 \text{ мм} \quad (4.4)$$

де j - ступінь стиснення матеріалу.

Для шнеків глибина нарізки приймається рівною:

$$h = (0{,}15 \ldots 0{,}30)D = 0{,}2 \cdot 144 = 28{,}8 \text{ мм} \quad (4.5)$$

При виборі товщини витка e (ширина гребеня) необхідно враховувати, що збільшення товщини витка приводить до підвищення витрати потужності, а зменшення її - до утворення значного потоку витоку через зазор між внутрішньою поверхнею матеріального циліндра і зовнішньою поверхнею витка шнека. Ширину гребеня витка шнека рекомендується приймати рівною [11]:

$$e = (0{,}06 \ldots 0{,}1)D = 0{,}06 \cdot 144 = 8{,}64 \text{ мм} \quad (4.6)$$

Менші значення приймаються для діаметрів шнека більше 125 мм, великі - для діаметрів менше 125 мм.

Радіальний зазор між внутрішньою поверхнею матеріального циліндра і зовнішньою поверхнею витка шнека рекомендується приймати:

$$\delta = (0{,}002 \ldots 0{,}005)D = 0{,}002 \cdot 144 = 0{,}29 \text{ мм} \quad (4.7)$$

Частота обертання шнека істотно впливає на продуктивність шнекових машин. Зростання продуктивності відбувається до певного значення частоти обертання шнека (критичне), вище за яке починається несталий рух матеріалу (частинки матеріалу припиняють рухатися в осьовому напрямі, а лише обертаються разом з шнеком). Це приводить до зменшення продуктивності, збільшення споживаної потужності і підвищеного зносу робочих частин машини.

Критична частота обертання шнека в зоні завантаження шнекової машини може бути визначена по наступному співвідношенню:

$$n_{kp} = \frac{42,4}{60\sqrt{D}} = \frac{42,4}{60\sqrt{144}} = 0,06, c^{-1} \cdot \quad (4.8)$$

де *D* - діаметр шнека, м.

У зонах стиснення і дозування допускаєму частоту обертання шнеків, значно зменшують для дотримання оптимальної температури нагріву матеріалів, яка не допускає їх термомеханічної деструкції.

Робоча частота обертання шнека рівна:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7) n_{kp} = 0,5 \cdot 0,06 = 0,03, c^{-1} \quad (4.9)$$

де нижні значення числових коефіцієнтів приймають для малих діаметрів шнеків, верхні - для великих значень.

4.2 Розрахунок сумарного об'єму робочої порожнини змішення

Оскільки робочий шнек має збірну конструкцію, що складається з робочих насадок тих, що мають різний крок нарізки і робочих елементів змішувачів, то об'єм робочої порожнини змішення одного шнека розраховується окремо для груп насадок з однаковим кроком нарізки і окремо для дисків змішувачів (кулачків) [12]. Потім результат підсумовується і подвоюється, тобто:

$$V_c = 2c\left(\sum_{i=1}^{n} V'_{\text{с.н}} + V_{\text{с.д}}\right) = 2 \cdot 0,87(3085099,85 + 3432960) = 11341424 \text{мм}^3 \quad (4.10)$$

де $\sum_{i=1}^{n} V'_{\text{с.н}}$ - сумарний об'єм робочої порожнини змішення нарізної частини одного шнека;

$V'_{\text{с.н}}$ - об'єм робочої порожнини змішення для насадок з однаковим кроком нарізки (сюди можуть входити як прямі, так і зворотні насадки);

n - число насадок (груп) з однаковим кроком нарізки на робочій довжині одного шнека;

$V_{с.д}$ - об'єм робочої порожнини змішення дискової зони одного шнека;

c - коефіцієнт зменшення об'єму порожнини змішення за рахунок сполучення шнеків, приймається рівним 0,87 [12].

Для дисків змішувачів, які мають ексцентричну форму:.

$$V_{с.д} = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d_д^2\right)l_д = \frac{3{,}14}{4}(144^2 - 48^2)\cdot 745 = 3432960 \text{ мм}^3 \qquad (4.11)$$

де *D* - діаметр шнека зовнішній;

$d_д$ - діаметр диска змішувача зовнішній;

$l_д$ - довжина ділянки шнека зайнята дисками змішувачів.

Для дисків (кулачків)змішувачів, які мають тригранну форму:

$$V'_{сз} = V'_{Sд}\cdot z_i = 281224 \cdot 8 = 2249792 \text{ мм}^3 \qquad (4.12)$$

де $z_i = 8$ - число витків нарізки шнекової насадки (групи насадок) окремо узятого кроку;

$V'_{Sд}$ - повний об'єм одного діючого витка з урахуванням всіх зазорів для окремо взятого кроку нарізки:

$$V'_{Sд} = \frac{V'_з}{2} + V'_{Sз} = \frac{39688{,}7}{2} + 261379{,}65 = 281224 \text{ мм}^3 \qquad (4.13)$$

де $V'_з$ - об'єм зазору на довжині окремо узятого кроку між шнеком і корпусом; $V'_{Sз}$ - об'єм порожнини одного витка нарізки окремо узятого кроку з урахуванням зазорів між шнеками в зачеплені:

$$V'_з = 0{,}01\pi D^2 \cdot S_i = 0{,}01 \cdot 3{,}14 \cdot 144^2 \cdot 220 = 39688{,}7 \text{ мм}^3 \qquad (4.14)$$

де $S_i = 220$ мм - окремо взятий крок нарізки шнекової насадки (групи насадок) [13].

$$V'_{S3} = \frac{a_i V'_S}{a_i - 0{,}01D} = \frac{45 \cdot 253015{,}5}{45 - 0{,}01 \cdot 144} = 261379{,}65 \text{ мм}^3 \quad (4.15)$$

де V'_S - об'єм порожнини одного витка нарізки окремо узятого кроку; $a_i = 45$ мм - ширина гребеня нарізки окремо узятого кроку:

$$V'_S = \frac{S_i}{2}(D - h) \cdot h \cdot \text{p} \quad (4.16)$$

де h - глибина нарізки шнекової насадки.

Остання формула дана для шнека з постійною глибиною нарізки всіх робочих шнекових насадок. Якщо ж глибина нарізки насадок різна, то це враховується у формулі для розрахунку V'_S.

4.3 Розрахунки шнека на міцність, жорсткість і стійкість

Процеси приготування стержневих сумішей в шнекових машинах ведуться при значному тиску, який досягає 50 МПа, вимагає підвищені вимоги до розрахунків на міцність деталей і вузлів машин (рис. 4.1 і 4.2).

Основна вимога, що пред'являється до шнеків - забезпечення найбільшої продуктивності при необхідній якості і найменшої споживаної потужності, які залежать не тільки від властивостей реологій суміші, але і конструктивних параметрів шнека.

В даний час наявні в літературі рекомендації для проектування шнеків недостатні, оскільки не враховують їх характеристик на міцність. Наприклад, вибрана по рекомендаціях довжина l, відношення D/D_1 можуть задовольняти вимогам по продуктивності, проте за рахунок продольно-поперечного вигину шнека спостерігатимуться передчасний знос його і матеріального циліндра і додаткові витрати потужності.

Застосовується методика розрахунку шнеків на міцність, жорсткість і стійкість з постійним кроком гвинтової лінії, змінним поперечним перетином в широкому інтервалі зміни робочої довжини шнека l = (10...35) D при дії гармонійних поперечних навантажень [13].

4.3.1. Розрахунок консольного шнека. Завданням розрахунку на міцність є перевірка спроектованих на підставі попередніх розрахунків розмірів шнека і визначення максимально допустимого прогину з метою недопущення контакту витків шнека з внутрішньою поверхнею циліндра. Розрахункова схема шнека представлена на рис. 4.1.

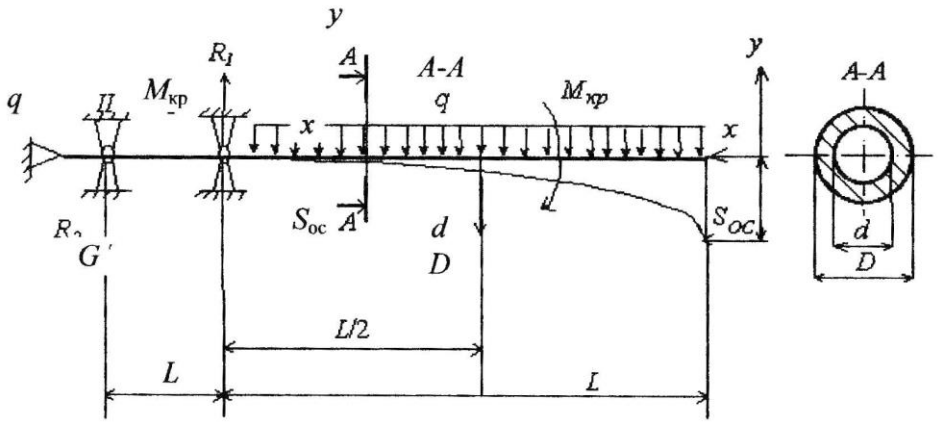

Рисунок 4.1 - Розрахункова схема вантаження шнека і його опор:

$S_{ос}$ - осьове зусилля від тиску перед формівним інструментом; G - вага матеріалу шнека; R_1, - відповідно реакції в опорах I і II.

Розрахунок шнека на міцність проводиться, виходячи з максимально можливих значень обертового моменту $M_{кр}$, осьового зусилля $S_{ос}$. Розрахунок шнеків можливий в двох варіантах залежно від його жорсткості (гнучкості):

– розглядається дія максимального осьового зусилля $S_{ос}$ і обертового моменту $M_{кр}$ з урахуванням власної ваги шнека;

– розрахунок на подовжньо-поперечний вигин з урахуванням максимального осьового зусилля $S_{ос}$ і власної ваги шнека [14].

Для визначення варіанту розрахунку перевіряємо шнек на гнучкість по формулі:

$$\lambda_в = \frac{\mu \cdot L}{i} = \frac{2 \cdot 745}{37{,}8} = 39{,}2 \qquad (4.17)$$

де $\lambda_в$ - гнучкість валу шнека;

μ - коефіцієнт, який залежить від способу закріплення кінців валу, в даному приватному випадку μ = 2;

L - довжина шнека, м;

i - радіус інерції перетину, знаходиться по формулі

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} \tag{4.18}$$

де $J = \frac{\pi D^4}{64}(1 - \alpha^4) = 20842825{,}2$ м^4 - момент інерції поперечного перетину *А-А* (див. рис. 4.1);

$F = \frac{\pi D^4}{64}(1 - \alpha^2) = 18775419{,}49$ мм^2 - площа поперечного перетину шнека в перетині *А-А,*; $\alpha = \frac{d}{D}$.

Після підстановки значень *J* і *F* отримаємо:

$$i = \frac{D}{4}\sqrt{1 + \alpha^2} = \frac{144}{4}\sqrt{1 + 0{,}33^2} = 37{,}8 \text{ мм} \tag{4.19}$$

і по формулі (4.20) знаходимо значення ב. Якщо ב < 50, то розрахунок шнека проводимо по першому варіанту, якщо ב. > 50, то по другому. Максимальна дотична напруга на поверхні шнека:

$$\tau_{max} = \frac{M_{kp}}{W_p} = \frac{3323{,}4}{578967{,}4} = 0{,}006 \ H/\text{мм}^2 \tag{4.20}$$

де W_p - полярний момент опору, м^3:

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16}(1 - \alpha^4) = \frac{3{,}14144^3}{16}(1 - 0{,}33^4) = 578967{,}4 \text{ мм}^3$$

M_{kp} - обертовий момент, що діє на шнек, Hм^3:

$$M_{kp} = 573\frac{N}{n} = 573\frac{4000}{690} = 3323{,}4 \ H\text{мм}^3$$

де N - потужність, Вт;

n - частота обертів шнека, c^{-1}.

Нормальна напруга викликається осьовою силою S_{oc} і розподіленим навантаженням q. Максимальна напруга виникатиме в місці закріплення шнека (у першого підшипника):

$$\sigma_{max} = \frac{S_{oc}}{F} + \frac{M_{и\,max}}{W_{н.о}} = \frac{11828514{,}28 \cdot 10^6}{18775419{,}49} + \frac{408913259423{,}6 \cdot 10^6}{287139{,}7} = 1424091{,}69 \cdot 10^6 \text{ мм} \quad (4.21)$$

де $M_{и\,max}$ - максимальний вигинаючий момент від розподіленого навантаження шнека. Нм;

$W_{н.о}$ - осьовий момент опору щодо нейтральної осі м^3:

$$M_{и\,max} = \frac{\gamma F L^2}{2} = \frac{78480 \cdot 18775419{,}49 \cdot 745^2}{2} = 408913259423{,}6 \cdot 10^6 \text{ Нмм}$$

де $\gamma = \rho g = 78480$ Н/м^3;

ρ - щільність матеріалу шнека, кг/м^3;

g = 9,81 - прискорення вільного падіння, м/с;

F - площа поперечного перетину шнека, м^2.

$$S_{oc} = P_{max} F = 0{,}63 \cdot 10^6 \cdot 18775419{,}49 = 11828514{,}28 \text{ МПа} \cdot \text{мм}$$

де $P_{max} = 0{,}63$ МПа.

Осьовий момент опору щодо нейтральної осі:

$$W_{н.о} = \frac{\pi D^3}{32}(1 - \alpha^4) = \frac{3{,}14 \cdot 144^3}{32}(1 - 0{,}33^4) = 287139{,}7 \text{ мм}^3$$

4.3.2. Навантаження, які діють на шнек. В процесі інтрузії на витки шнека з боку матеріала діє нормальний тиск, який по довжині змінюється по лінійному закону (рис. 4.1):

$$P = P_{max} \frac{x}{l} = 0{,}63 \cdot 10^6 \cdot \frac{54}{71} 0{,}48 \text{ МПа} \quad (4.22)$$

де x - поточна координата;

P_{max} - максимальний тиск в матеріалі МПа.

Надалі в розрахунках виходитимемо з припущення, що тиск P_{max} діє тільки з боку напірної частини гребеня витка. Насправді з протилежного боку витка шнека діє протитиск, але, як показали експериментальні дослідження, він набагато менше основного напірного тиску.

Таке допущення хоча і приводить до деякого завищення зовнішніх навантажень, але значно спрощує розрахунки на міцність і забезпечує більший запас міцності [14]. На рис. 4.2 дана схема навантажень, які діють на витки шнека.

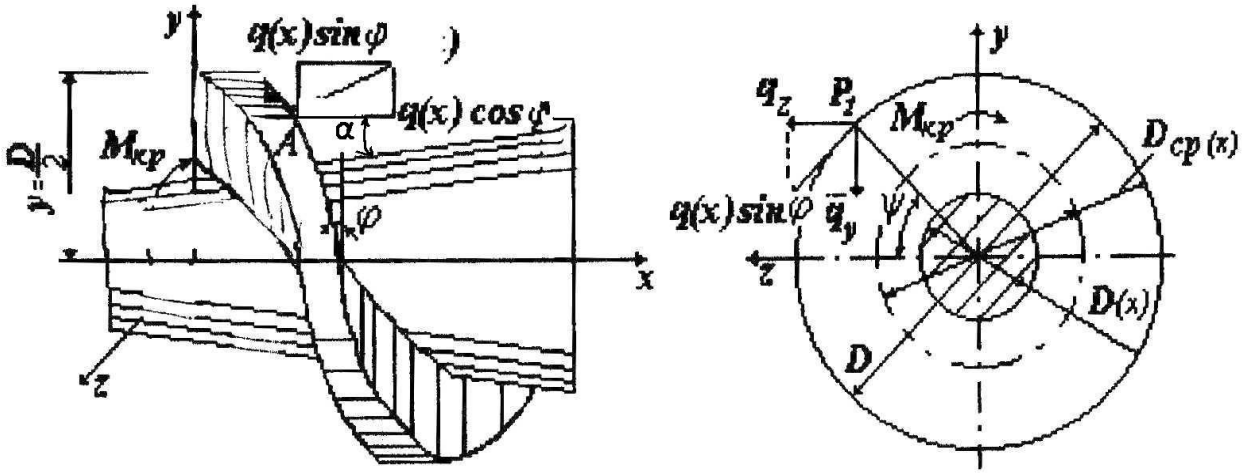

Рисунок 4.2 - Схема дії навантажень на виток шнека

Вираз для розподіленого навантаження $q(x)$, що діє на витки шнека, має вигляд:

$$q(x) = \delta P_{max}\left(\frac{D - D_1}{2} - \frac{D_2 - D_1}{2}\cdot\frac{x}{l}\right)\frac{x}{l} =$$

$$= 4{,}57 \cdot 063 \cdot 10^6\left(\frac{144-54}{2} - \frac{56-54}{2}\cdot\frac{35}{71}\right)\frac{35}{71} = 61{,}83 \text{ МПа} \qquad (4.23)$$

де $\delta = \sqrt{\left(\frac{D_2-D_1}{4l}\right)^2 + \left(\frac{D_{cp}(x)}{l}\pi\right)^2 + 1} = \sqrt{\left(\frac{56-54}{4\cdot 71}\right)^2 + \left(\frac{99{,}98}{71}\cdot 3{,}14\right)^2 + 1} = 4{,}54$ мм - элемент довжини дуги среднього діаметра витка;

$D_{cp}(x) = \frac{D+D_1}{2} + \frac{D_2-D_1}{2}\cdot\frac{x}{l} = \quad = \frac{144+54}{2} + \frac{56-54}{2}\cdot\frac{35}{71} = 99{,}98$ мм - поточний діаметр витка шнека;

$D(x) = D_1 + (D_2 - D_1) \cdot \frac{x}{l} = 54 + (56 - 54) \cdot \frac{35}{71} = 54{,}98$ мм - поточний діаметр перерізу осердя шнека.

Розподілене навантаження *q(x)* приводить до складових навантажень q_x, q_y, q_z і розподілених моментів m_x, m_y, m_z щодо осей *x*,*y*, *z*.

$$\left.\begin{aligned} q_x &= -q(x)cosx \\ q_y &= -q(x)sinx\ cosax \\ q_z &= q(x)sinx\ sinax \\ m_x &= q(x)sin\varphi\ \frac{D_{cp}(x)}{2} \\ m_y &= q(x)cosx\ cosax \frac{D_{cp}(x)}{2} \\ m_z &= q(x)cosx\ sinax \frac{D_{cp}(x)}{2} \end{aligned}\right\} \qquad (4.24)$$

На торець шнека крім розподілених навантажень діє з боку напірної частини зосереджена подовжня сила (максимальне осьове зусилля):

$$S = P_{max} \frac{\pi D^2}{4} = 0{,}63 \cdot 10^6 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 144^2}{4} = 0{,}01 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

В результаті дії всіх вказаних вище навантажень осереддя шнека випробовує подовжньо-поперечний вигин і кручення.

4.3.3. Розрахунок внутрішніх зусиль в поперечних перетинах шнека. При розрахунку шнека на міцність, жорсткість і стійкість введемо наступні допущення [15]:

– впливом витків на загальний напружено-деформований стан шнека нехтуємо, оскільки розміри поперечного перетину витка малі в порівнянні з діаметром осердя, а крок нарізки досить великий по відношенню до загальної довжини шнека;

– кінцеві перетини шнека мають вільне опирання.

В рамках прийнятих допущень розрахункова схема шнека прийнята, як змінний по довжині стержень круглого перетину який що шарнірно опирається по кінцях.

Вирази для внутрішніх зусиль N_x, M_x, M_y, M_z визначаються з умови рівноваги виділеного елементу довжиною *dx* (рис. 4.3)

$$\begin{cases} \sum x = 0;\ dN_x + q_x dx = 0 \\ \sum y = 0;\ -dQ_x + q_z dx = 0 \\ \sum x = 0;\ q_z dx - dQ_z = 0 \\ \sum m_x = 0;\ M_x - m_x dx = 0 \\ \sum m_y = 0;\ -m_y dx + Q_z dx - dM_y = 0 \\ \sum m_y = 0;\ -m_z dx + dM_z - Q_y dx = 0 \end{cases} \quad (4.25)$$

Підставляючи в ці рівняння вирази (4.21). (4.22) і граничні умови, отримуємо для шнека:

$$x = l;\ N_x = S = -P_{max}\frac{\pi D^2}{4};\ M_x = M_y = M_z = 0$$
$$x = 0;\ M_y = M_z = 0$$

Остаточна формула для визначення внутрішніх силових чинників [16]:

$$N_x(x) = \delta P_{max} cos\varphi l\left[\frac{D - D_1}{4}\left(\frac{x^2}{l^2} - 1\right) - \frac{D_2 - D_1}{6}\left(\frac{x^3}{l^3} - 1\right)\right] - P_{max}\frac{\pi D^2}{4} =$$
$$= 4{,}54 \cdot 0{,}63 \cdot 10^6 \cdot 0{,}98 \cdot 71 \cdot \left[\frac{144 - 54}{4}\left(\frac{35^2}{71^2} - 1\right) - \frac{56 - 54}{6}\left(\frac{35^3}{71^3} - 1\right)\right] -$$
$$-0{,}63 \cdot 10^6 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 144^2}{4} = -15664\ \text{Н/мм}^2 \quad (4.26)$$

$$M_x(x) = -\delta P_{max}\frac{sin\varphi}{8} l\left[\frac{D^2}{2}\left(\frac{x^2}{l^2} - 1\right) - D_1^2\left(\left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\cdot\frac{x}{l} + \frac{1}{4}\cdot\frac{x^2}{l^2}\right)\frac{x^2}{l^2} - \frac{1}{12}\right)\right.$$
$$\left. - 2D_2D_1\left(\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\cdot\frac{x}{l}\right)\frac{x^3}{l^3} - \frac{1}{12}\right) - D_2^2\frac{1}{4}\left(\frac{x^4}{l^4} - 1\right)\right] =$$
$$= -4{,}54 \cdot 0{,}63 \cdot 10^6 \cdot \frac{0{,}2}{8} \cdot 71 \cdot \left[\frac{144^2}{2}\left(\frac{35^2}{71^2} - 1\right) - 54^2\left(\left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\cdot\frac{35}{71} + \frac{1}{4}\cdot\frac{35^2}{71^2}\right)\frac{35^2}{71^2} - -\frac{1}{12}\right) -\right.$$
$$\left. 2 \cdot 56 \cdot 54 \cdot \left(\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\cdot\frac{35}{71}\right)\frac{35^3}{71^3} - \frac{1}{12}\right) - 56^2\,\frac{1}{4}\left(\frac{35^4}{71^4} - 1\right)\right] = 27673957{,}05\ \text{Н/мм} \quad (4.27)$$

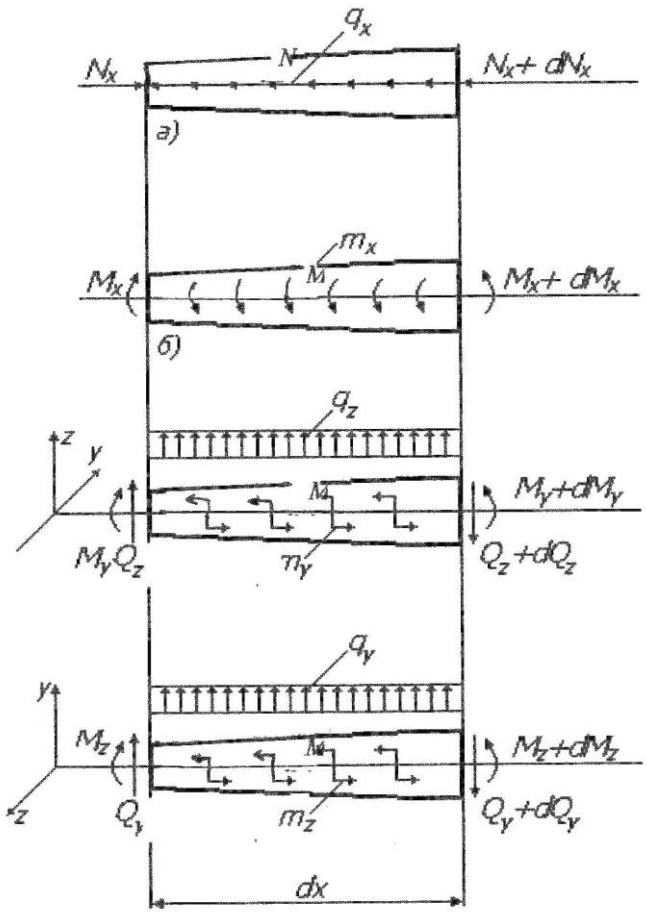

Рисунок 4.3 - Схема дії внутрішніх зусиль для елементу

$$M_y(x) = \frac{\delta P_{max} sin\varphi}{2l}\left[(D-D_1)\left(-\frac{2cosax}{a^3}-\frac{xsinax}{a^2}+\frac{2}{a^3}\right)\right.$$
$$\left.-\frac{D_2-D_1}{l}\left(\frac{6}{a^4}sinax-\frac{4x}{a^3}cosax-\frac{x^2}{a^2}sinax-\frac{4x}{a^3}\right)\right]$$
$$-\frac{\delta P_{max} cos\varphi}{8}\left[(D^2-D_1^2)\frac{1}{l}\left(\frac{cosax}{a^2}+\frac{xsinax}{a}+\frac{1}{a^2}\right)\right.$$
$$+2D_1(D_1-D_2)\frac{1}{l^2}\left(\frac{2xcosax}{a^2}+\left(\frac{x^2}{a}-\frac{2}{x^3}\right)sinax-\frac{2x}{a^2}\right)-(D_1-D_2)^2$$
$$\left.\cdot\frac{1}{l^3}\left(\left(\frac{3x^2}{a^2}-\frac{6}{a^4}\right)cosax+\left(\frac{x^3}{a}-\frac{6x}{a^3}\right)sinax+\frac{6}{a^4}-\frac{3lx}{a^2}\right)\right]=$$

$$=\frac{4{,}54\cdot0{,}63\cdot10^6\cdot0{,}2}{2\cdot71}\left[(144-54)\left(-\frac{2\cdot0{,}035\cdot35}{0{,}09^3}-\frac{35\cdot0{,}2\cdot35}{0{,}09^2}+\frac{2}{0{,}09^3}\right)-\frac{56-54}{71}\left(\frac{6}{0{,}09^4}0{,}035\times35-\right.\right.$$
$$\left.\frac{4\cdot35}{0{,}09^3}0{,}999\cdot35-\frac{35^2}{0{,}09^2}0{,}035\cdot35-\frac{4\cdot35}{0{,}09^3}\right)\Big]-\frac{4{,}54\cdot0{,}63\cdot10^6\cdot0{,}98}{8}\cdot\left[(144^2-44^2)\frac{1}{71}\left(\frac{0{,}999\cdot35}{0{,}09^2}+\right.\right.$$
$$\left.\frac{35\cdot0{,}035\cdot35}{0{,}09}+\frac{1}{0{,}09^2}\right)+2\cdot54\cdot(54-56)\frac{1}{71^2}\left(\frac{2\cdot35\cdot0{,}999\cdot35}{0{,}09^2}+\left(\frac{35^2}{0{,}09}-\frac{2}{35^3}\right)0{,}035\cdot35-\right.$$
$$\left.\left.\frac{2\cdot35}{0{,}09^2}\right)-(54-56)^2\cdot\frac{1}{71^3}\left(\left(\frac{3\cdot35^2}{0{,}09^2}-\frac{6}{0{,}09^4}\right)\cdot0{,}999\cdot35+\left(\frac{35^3}{0{,}09}-\frac{6\cdot35}{0{,}09^3}\right)\cdot0{,}035\cdot35+\right.\right.$$
$$\left.\left.\frac{6}{0{,}09^4}-\frac{3\cdot71\cdot35}{0{,}09^2}\right)\right]=382{,}63\cdot10^6\ \text{Н/мм}$$

(4.28)

$$M_z(x) = -\frac{\delta P_{max} sin\varphi}{2l}\left[(D-D_1)\left(-\frac{2cosax}{a^3}-\frac{xsinax}{a^2}+\frac{x}{a^3}\right)-\frac{D_2-D_1}{l}\left(\frac{6}{a^4}sinax+\frac{4x}{a^3}cosax-\frac{x^2}{a^2}cosa\right.\right.$$
$$\left.\left.\frac{6}{a^4}+\frac{lx}{a^2}\right)\right]-\frac{\delta P_{max} cos\varphi}{8}\left[(D^2-D_1^2)\frac{1}{l}\left(\frac{sinax}{a^2}+\frac{xcosax}{a}+\frac{x}{a}\right)+2D_1(D_1-D_2)\frac{1}{l^2}\left(\frac{2xsinax}{a^2}-\left(\frac{x^2}{a}-\right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left.\frac{2}{a^3}\right)cosax-\frac{2}{a^3}+\frac{lx}{a}\right)-(D_1-D_2)^2\cdot\frac{1}{l^3}\cdot\left(\left(\frac{3x^2}{a^2}-\frac{6}{a^4}\right)sinax+\left(\frac{x^3}{a}-\frac{6x}{a^3}\right)cosax+\frac{6x}{a^3}-\frac{l^2x}{a}\right)\right]$$
$$=\frac{4{,}54\cdot0{,}63\cdot10^6\cdot0{,}2}{2\cdot71}\left[(144-54)\left(-\frac{2\cdot0{,}035\cdot35}{0{,}09^3}-\frac{35\cdot0{,}2\cdot35}{0{,}09^2}+\frac{35}{0{,}09^3}\right)-\frac{56-54}{71}\left(\frac{6}{0{,}09^4}0{,}035\times35-\right.\right.$$
$$\left.\left.\frac{4\cdot35}{0{,}09^3}0{,}999\cdot35-\frac{35^2}{0{,}09^2}0{,}035\cdot35-\frac{71\cdot35}{0{,}09^2}\right)\right]-\frac{4{,}54\cdot0{,}63\cdot10^6\cdot0{,}98}{8}\cdot\left[(144^2-44^2)\frac{1}{71}\left(\frac{0{,}999\cdot35}{0{,}09^2}+\right.\right.$$
$$\left.\left.\frac{35\cdot0{,}035\cdot35}{0{,}09}+\frac{35}{0{,}09}\right)+2\cdot54\cdot(54-56)\frac{1}{71^2}\left(\frac{2\cdot35\cdot0{,}999\cdot35}{0{,}09^2}+\left(\frac{35^2}{0{,}09}-\frac{2}{35^3}\right)0{,}035\cdot35-\frac{71\cdot35}{0{,}09}\right)-\right.$$
$$\left.(54-56)^2\cdot\frac{1}{71^3}\left(\left(\frac{3\cdot35^2}{0{,}09^2}-\frac{6}{0{,}09^4}\right)\cdot0{,}999\cdot35+\left(\frac{35^3}{0{,}09}-\frac{6\cdot35}{0{,}09^3}\right)\cdot0{,}035\cdot35+\frac{6}{0{,}09^3}-\frac{71^2\cdot35}{0{,}09}\right)\right]=$$
$$-295{,}15\cdot10^6\,\frac{\text{Н}}{\text{мм}} \qquad (4.29)$$

В рівнянні (4.29) $a=\frac{2\pi}{l}=\frac{2\cdot3{,}14}{71}$

Примітка: при виведенні формул (4.26) — (4.27) прийнято $\delta \approx$ const, оскільки в реальних шнеках $\frac{D+D_1}{2} \gg \frac{D_2-D_1}{2}$

5 ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ

Основними вимогами безпеки, які висуваються до конструкцій машин та механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність експлуатації.

Безпека виробничого обладнання забезпечується:

– вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції;

– використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування;

– застосуванням в конструкції засобів захисту;

– дотриманням ергономічних вимог;

– включенням вимог безпеки в технічну документацію монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;

– застосуванням в конструкції відповідних матеріалів.

Дотримання цих вимог в повному обсязі можливе лише на стадії проектування. Тому у всіх видах проектної документації передбачаються вимоги безпеки. При виборі принципу дії машини необхідно враховувати всі потенційно можливі небезпечні та шкідливі виробничі чинники. Загальні вимоги до виробничих процесів регламентуються ГОСТ 12.3.002-75. Вони передбачають [15]:

– усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, котрі справляють небезпечну дію;

– заміну технологічних процесів та операцій, пов'язаній з виникненням небезпечних та шкідливих виробничих факторів процесами та операціями, при виконанні котрих ці фактори відсутні або мають меншу інтенсивність;

– комплексну механізацію та автоматизацію виробництва;

– застосування дистанційного керування технологічними процесами та операціями за наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів;

– герметизацію обладнання;

– застосування засобів колективного захисту працівників;

– раціональну організацію праці та відпочинку з метою профілактики монотонності та гіподинамії, а також зниження важкості праці;

– своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на окремих технологічних операціях;

– запровадження систем керування технологічними процесами, котрі забезпечують захист працівників та аварійне вимкнення виробничого обладнання;

– своєчасне видалення та знешкодження відходів виробництва, котрі є джерелами небезпечних і шкідливих виробничих факторів;

– забезпечення пожежо- та вибухобезпеки.

Значною мірою безпека виробничих процесів залежить від організації та раціональності планування цехів, дільниць, від рівня облаштованості робочих місць, виконання вимог безпеки до виробничих приміщень, зберігання, транспортування, складання вихідних матеріалів, заготовок та готової продукції, а також від видалення відходів, їхньої утилізації, від дотримання вимог безпека, що ставляться до виробничого персоналу.

Повинні строго дотримуватися на всіх стадіях переміщення, монтажу, пуско-наладки, експлуатації, обслуговування і ремонту. Роботи по виготовленню стрижнів по ХТС-процессу повинні виконуватися відповідно до вимог ГОСТ 12.3.027-92 і «Правилами безпеки при виготовленні литва з використанням хімічно тверднучих піщано-глинистих сумішей».

З метою попередження нещасних випадків категорично забороняється:

– самовільно включати змішувач (при монтажі змішувача - самовільно підключати змішувач пневмо- і електромережі);

– починати експлуатацію (експлуатувати) змішувач без надійного заземлення всіх його вузлів, що окремо стоять, а також за наявності несправностей в механізмах і блокуваннях;

– працювати на змішувачі при тиску повітря в цеховій мережі менше 0,5 Мпа;

– залишати працююче устаткування без нагляду;

– працювати на змішувачі з відключеною вентиляцією.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі виконано аналіз існуючих типів обладнання для приготування стержневих швидкотвердіючих сумішей в ливарних цехах масового і великосерійного виробництва, описано існуючі конструкції і обґрунтовано вибір одношнекового змішувача, розраховано основні технологічні параметри машини та потужність її приводів, виконано перевірочний розрахунок на міцність консольного шнека, розрахунок навантаження, які діють на шнек, внутрішніх зусиль в поперечних перетинах, описано правила безпеки роботи.

Використання одношнекового змішувача 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 шнеку змішувача, що дозволяє не лише краще розуміти принцип його роботи, а й надає можливість візуально оцінити конструкцію та потенційні особливості його експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1 Гнатуш В. А. Тренди ливарного ринку України в першій чверті XXI століття / В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко, С. І. Клименко // Спеціальні методи лиття – Київ: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України 2023. No 2 (333) – С. 83 - 90.

2 Школяренко В. П. Перспективи розвитку ливарного виробництва із застосуванням штучного інтелекту / В. П. Школяренко // Литво. Металургія. 2023 [Електронний ресурс]: матеріали 19-ї, 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 10-12 жовтня 2023 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]; заг. ред. О. І. Пономаренко. – Електрон. текст. дані. – Харків; Київ, 2023. – С. 245 - 249.

3 Майзліш В.Є. Матеріали, конструктивні вузли типової реакційної апаратури та допоміжне обладнання: навчальний посібник / В.Є. Майзліш, А.В. Борисов, Г.П. Шапошников, Іван. держ. хім.-технол. ун-т. - Іваново, 2007. – 104 с.

4 Хуснутдінов В. А., Сайфуллін Р. С., Хабібуллін І. Г. Устаткування виробництв неорганічних речовин; Навч. посібник для вузів. - Л.: Хімія, 1987. – 248 с.

5 Макаров Ю. І. Апарати для змішування сипучих матеріалів. М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.

6 Кім В. С., Скачков В. В. Обладнання підготовчого виробництва заводів пластмас. М.: Машиностроение, 1977. – 163 с.

7 Варсанофьев В. Д., Кольман-Іванов Е. Е. Вібраційна техніка в хімічній промисловості. - М.: Хімія, 1985. – 240 с.

8 Обладнання для переробки пластмас. Довідковий посібник. Під ред. В. К. Завгороднього. М.: Машиностроение, 1976 – 407 с.

9 Шенкель Г. Шнекові преси для пластмас. - Л.: Гос. науч. изд-во хим. лит., 1962. – 467 с.

10 Геррман Х. Шнекові машини в технології. Пер. с нім. - М.: Хімія, 1975. – 232 с.

11 Петренко, С.С. Шнековий змішувач сипких матеріалів [Текст]: // С.С. Петренко, К.А. Адігамов - Вив. вузів Північно-Кавк. регіон. Техн. науки. 2012. №5, с. 52 - 53

12 Григор'єв, А.М. Гвинтові конвеєри [Текст]: // А.М. Григор'єв - М.: Машинобудування, 1972. – 184 с.

13 В. П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.

14 Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М. Теоретичні основи ливарного виробництва. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.

15 Рябінін Д. Д., Лукач Ю. Е. Змішувальні машини для пластмас і гумових матеріалів. - М.: Машинобудування, 1972. – 268 с.

16 Process modeling simulation and control for chemical engineers / William L. Luyben. 2 ed. New York etc., McGraw–Hill, Cop. 1990. – 725 p.

ДОДАТКИ