

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра машин і обладнання технологічних процесів
(назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ д.т.н., проф. Назаренко І.І.

“ _____ ” _____ 2023 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**"Логістична система змішування сипких сумішей у
спірально-лопатевому змішувачі"**

(назва)

Виконав: студент групи ІЛС-2маг

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(спеціальність)

Ургапов Едуард Миколайович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник: **Клименко М. О.**
(прізвище та ініціали)

к.т.н., доцент
(вчене звання, науковий ступінь)

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій

(факультет)

Кафедра машин і обладнання технологічних процесів

(назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**"Логістична система змішування сипких сумішей у спіральньо-лопатевому
змішувачі"**

(назва)

Ургапова Едуарда Миколайовича

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Київ 2023 р.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| АНОТАЦІЯ..... | 6 |
| УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЯХ | 8 |
| ВСТУП..... | 9 |
| 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУХИХ СУМІШЕЙ..... | 11 |
| 1.1 Класифікація устаткування для змішування сухих сумішей | 11 |
| 1.2 Конструкції устаткування для змішування сухих сумішей | 13 |
| 2 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗМІШУВАННЯ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ | 29 |
| 2.1 Аналіз сучасних математичних моделей процесу змішування сипких матеріалів | 29 |
| 2.2 Методика імітаційного моделювання процесу змішування компонентів суміші..... | 32 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СПІРАЛЬНО- ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА | 52 |
| 3.1 Опис конструктивної схеми запропонованого спірально-лопатевого змішувача..... | 52 |
| 3.2 Обґрунтування параметрів спірально-лопатевого змішувача | 53 |
| 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 68 |
| 4.1 Методика визначення питомого опору переміщенню лопатки та лопаті..... | 68 |
| 4.2 Результати експериментальних досліджень | 70 |
| 5 ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА..... | 75 |
| 5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів..... | 75 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|------|-----|-----|-------|---------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | Атест.№ | Арк. 4 |
| | | | Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| | |
|--|----|
| 5.2 Загальні рекомендації зі зниження шумів при роботі машини..... | 76 |
| 5.3 Розрахунок заземлення | 78 |
| ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ | 81 |
| ДОДАТКИ | 83 |

| | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|----------------------|------|
| Інв.№ ор. | Піппис і лата | Зам.інв.№ | | | | | Арк. |
| | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк. | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | |
| | | | | | | | |

АНОТАЦІЯ

Ургапов Е.М. Логістична система змішування сипких сумішей у спіральньо-лопатевому змішувачі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Атестаційна випускова робота магістра за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» – Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2023.

Випускова робота магістра присвячена дослідженню конструктивних параметрів та основних режимів роботи логістичної системи для змішування сипких сумішей у спіральньо-лопатевому змішувачі.

В магістерській роботі подано результати дослідження процесу змішування сипких матеріалів у спіральньо-лопатевому змішувачі. Запропоновано модель процесу змішування сипких матеріалів з урахуванням форми області обвалення та сегрегації частинок. Розроблено інженерні методи розрахунку змішувача нового типу, що забезпечує отримання якісних сумішей, у тому числі схильних до сегрегації.

На основі здійснених теоретичних досліджень розроблена математична модель та зроблений висновок про домінування у робочому об'ємі змішувача дифузійних механізмів змішування. Конвективні механізми присутні протягом перших кількох обертів барабана і при застосуванні додаткових лопатей, значення висот яких менше розміру поперечного перерізу зони сегрегації. Таким чином, при описі процесу в даному апараті можливе застосування дифузійної моделі.

Розроблено конструкцію спіральньо-лопатевого змішувача для змішування сухих будівельних сумішей. Встановлено, що при переробці сумішей, схильних до сегрегації, можуть бути ефективні пристрої відкритого типу з нескінченною гнучкою стрічкою, що забезпечують можливість змішування з попереднім накладенням компонентів, у тому числі методом

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
6

розподілення, а також безконтактного контролю якості суміші в ході її приготування.

Ключові слова: змішувач для перемішування сухих будівельних сумішей, суха будівельна суміш, спіраль-но-лопате-вий змішувач, перемішування, сегрегація, траєкторія руху, показники ефективності перемішування, кутова швидкість, витрати енергії.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|------|-----|-----|-------|------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 7 |
| | | | Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЯХ

1. Урґапов Едуард. Особливості змішування сипких сумішей у спірально-лопатевому змішувачі // ВМС-2023 – International Scientific-Practical Conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2023», Київ, КНУБА, 30.11-1.12.2023

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|----------------------|--|--|------|
| Інв.№ ор. | Піппис і лата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | |

ВСТУП

Змішування сипких матеріалів - найпоширеніший механічний процес, застосований у будівельній та хімічній промисловості. Тим не менш, розв'язання задачі приготування однорідних сумішей пов'язане з цілим рядом труднощів. Ці труднощі викликані широким спектром зміни фізико-механічних властивостей матеріалів, що переробляються, вимогами, що висуваються до якості та складу продукту.

Незважаючи на велику різноманітність пропонованих у літературі моделей, проблема математичного опису процесу змішування у пристрої спіраль-но-лопатевого змішування в умовах сегрегації досліджена недостатньо. У зв'язку з підвищенням вимог до якості опису технологічних процесів виникає необхідність створення моделей процесу, що прогнозують зміну поля концентрацій ключового компонента в робочому об'ємі змішувача.

Широко поширені в промисловості барабанні змішувачі, бетонозмішувачі та інші пристрої. Вони низьковитратні у споживанні енергії та здатні отримати за короткий термін можливу рівномірність суміші. Надалі якість суміші практично не покращується. Метою досліджень є моделювання процесів, що відбуваються всередині похилого барабана, що обертається, для визначення чисельних значень конструктивних і кінематичних параметрів, що забезпечують технологічний процес перемішування.

Змішування сипких матеріалів - найпоширеніший гідромеханічний процес, застосований у будівельній, хімічній та у інших галузях промисловості. Тим не менш, розв'язання задачі приготування однорідних сумішей пов'язане з цілим рядом труднощів. Ці труднощі пов'язані з широким спектром зміни фізико-механічних властивостей матеріалів, що переробляються, з вимогами, що пред'являються до якості і складу продукту, продуктивності, енерго- і металомісткості обладнання.

Одним із важливих факторів, що стримують вирішення завдань підвищення ефективності змішувачів, є сегрегація компонентів сипучих

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

9

Інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

Зм. Кіль Арк. №до Підп. Дата

сумішей за їх фізико-механічними властивостями. Це призводить до погіршення якості кінцевого продукту через коливання його властивостей за обсягом складу, що може проявитися зниженням ефективності хімічних реакцій, якості одержуваних матеріалів у металургії, хімічній промисловості, будівництві та інших галузях.

Судячи з літературних даних, останнім часом спостерігається зростання нових конструкцій змішувачів різних типів, у тому числі, пристроїв гравітаційної дії. Найбільш поширеними є барабанні апарати, що мають просту конструкцію та низьку енергоємність. Основне їх завдання - підвищення якості продукту. Як зазначено вище, у більшості випадків вирішення цього завдання ускладнюється схильністю перероблюваної суміші до сегрегації її компонентів за фізико-механічними властивостями. Тому створення змішувальних пристроїв, що забезпечують придушення сегрегації, залишається основним і, безумовно, актуальним.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----------------------------|-------|------|--|--|--|------------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 10 |
| | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк. | №до | Підп. | Дата | | | | |

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУХИХ СУМІШЕЙ

1.1 Класифікація устаткування для змішування сухих сумішей

Найбільш простим і поширеним типом пристроїв для змішування сипких компонентів є апарати гравітаційної дії. При роботі змішувачів цього типу, сипучі компоненти, що знаходяться всередині корпусу, що обертається, піднімаються за рахунок сил тертя на деяку висоту, після чого, відбувається обвалення частини матеріалу, що знаходиться у верхній його області. При розгляді деяких змішувачів такого типу класифікуватимемо їх за конструктивною ознакою відповідно до схеми, показаної на рисунку 1.1.

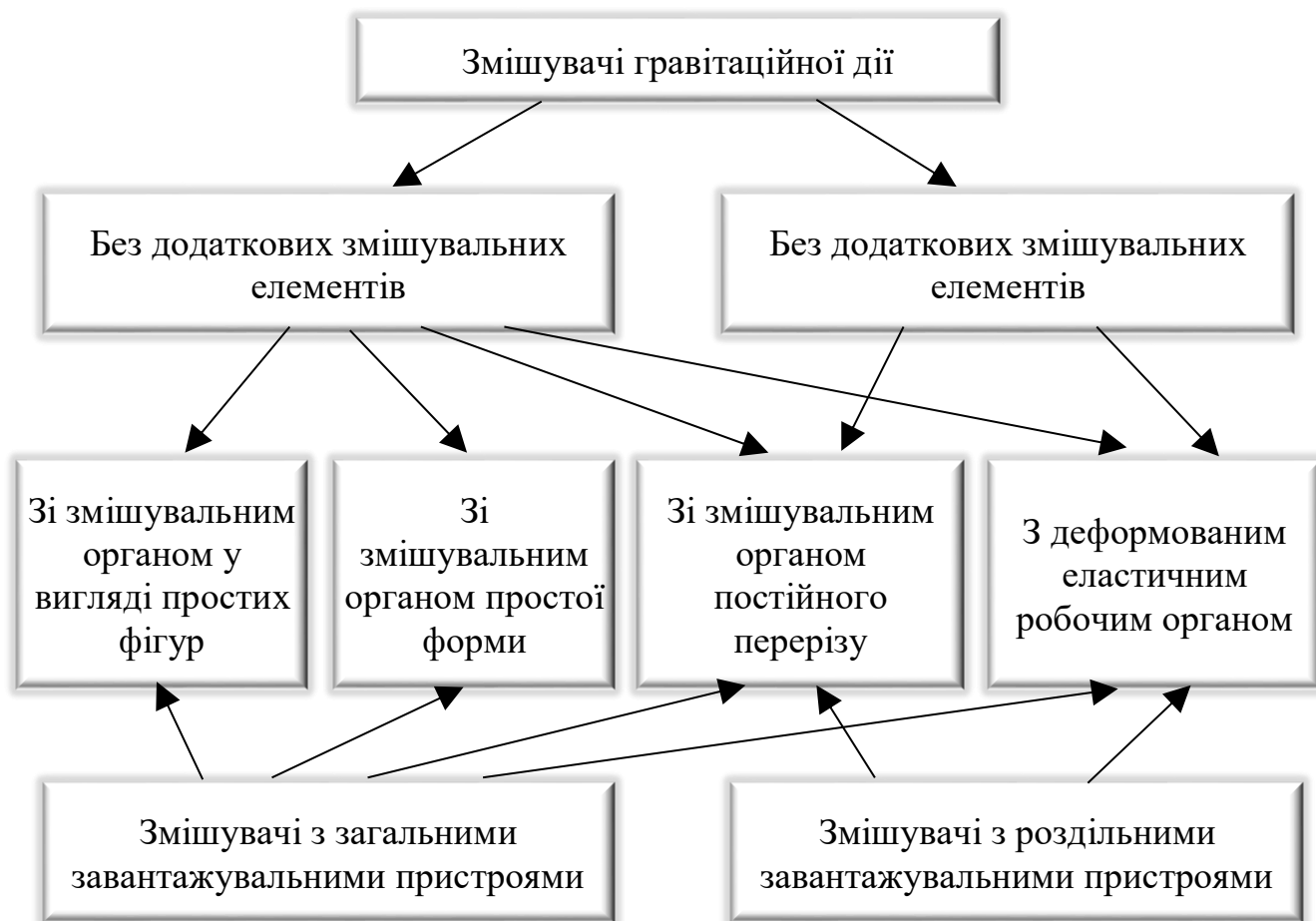


Рисунок 1.1 – Класифікація змішувачів гравітаційної дії

Лнв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
11

Класифікація змішувачів здійснюється залежно від організації процесу, типу робочих органів та їх орієнтації у просторі за такими основними ознаками:

- за способом виконання технологічного процесу: періодичної, порційної та безперервної дії;
- за способом розташування робочих органів технологічної ємності: горизонтальні та вертикальні;
- за типом робочих органів: шнекові (гвинтові), стрічкові, спіральні, лопатеві, барабанні, пропелерні, турбінні;
- по виду змішуваних компонентів: сухих сипких; розсипчастих вологих; та напіврідких тістоподібних; рідких;
- по організації процесу змішування: з камерою (барабаном), що обертається, нерухомою камерою періодичної дії (одно, двох і більш вальні, що транспортують).
- за кінематичним режимом роботи: тихохідні та швидкохідні.

До тихохідних відносяться змішувачі, в яких його величина дорівнює:

$$k_T = \frac{\omega^2 R}{g} < 30;$$

до швидкохідних, у яких цей показник дорівнює:

$$k_T = \frac{\omega^2 R}{g} > 30,$$

де R - радіус робочих елементів пристрою;

ω – кутова швидкість робочих елементів.

Робочі органи змішувачів (рисунок 1.2), відповідно до викладених класифікаційних ознак, прийнято називати барабанними.

Барабанні змішувачі працюють у тихохідному режимі, мають завантажувально-розвантажувальні пристрої. Робочий цикл включає: завантаження, змішування та розвантаження. Продуктивність барабанних змішувачів залежить від тривалості складових циклу, об'єму барабана та

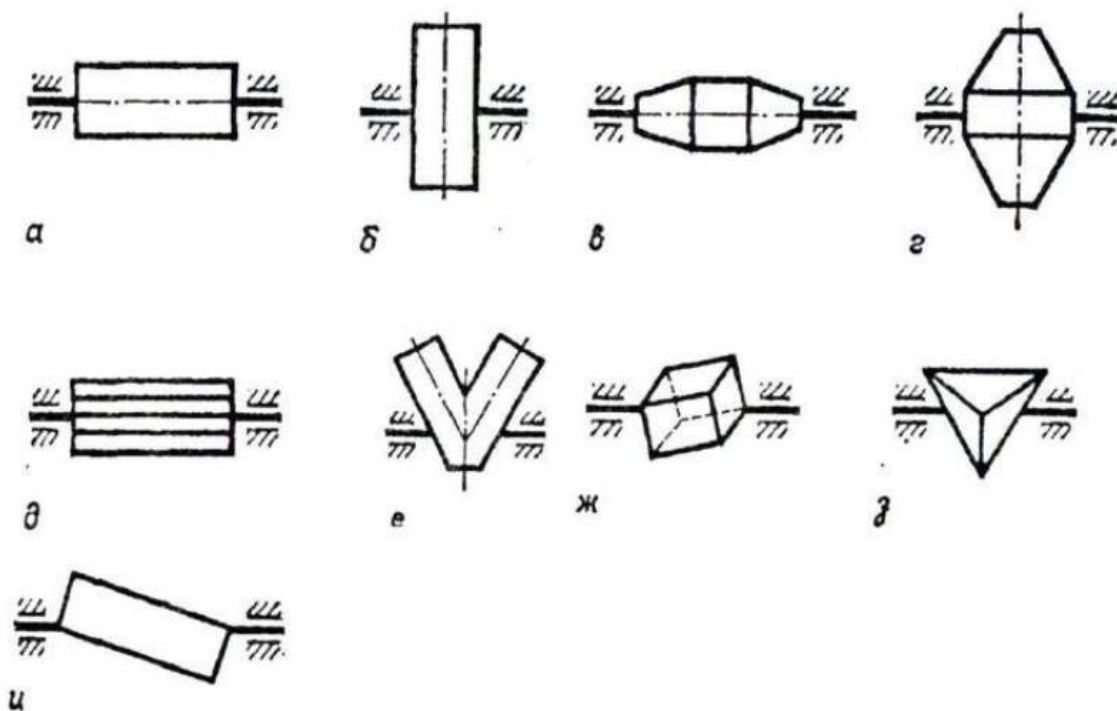
| | | |
|---------|---------------|-----------|
| Л.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|---------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 12 |

ступеня його заповнення (використання об'єму). Усередині барабанів, як правило, відсутні робочі органи (рисунок 1.2).



а – горизонтальний циліндричний; б - вертикальний циліндричний; в, г - циліндро-біконічний;

д - гранований; е – V-подібний; ж – кубічний; з - октаедричний;

и – похилий циліндр або паралелепіпед, діагональний паралелепіпед

Рисунок 1.2 – Деякі типи барабаних змішувачів порційної (періодичної) дії

1.2 Конструкції устаткування для змішування сухих сумішей

Найпростішим апаратом гравітаційної дії є барабаний змішувач із гладким циліндричним корпусом. Один із варіантів його виконання показаний на рисунок 1.3.

| | | |
|-------------|---------------|-------------|
| Лист. № ор. | Підпис і дата | Зам. інв. № |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|------|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | № до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 13 |

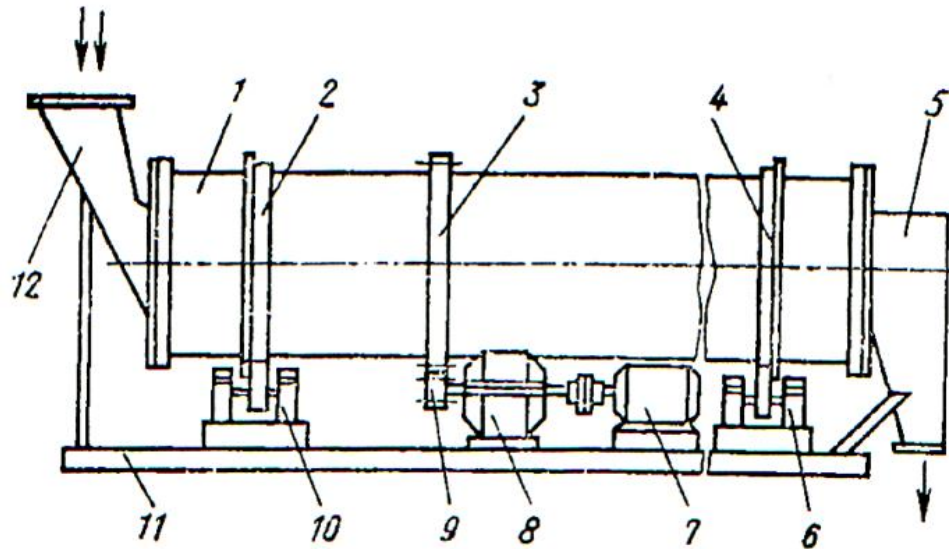


Рисунок 1.3 – Змішувач із циліндричним корпусом

При змішуванні компонентів у потоці циркулюючого матеріалу в його поперечному перерізі можна виділити дві області характерного руху частинок: верхню, в якій вони рухаються хаотично, і нижню, де траєкторії частинок подібні до днища корпусу, а швидкості їх руху порівняно невеликі. У верхній області, поряд зі змішуванням, відбувається поділ частинок, що мають різні фізико-механічні властивості – цей процес називається сегрегацією. Причина сегрегації полягає в тому, що більш щільні частинки (В, С) "тонуть" у розрідженому поверхневому потоці, а дрібні просочуються через більший шар, як крізь сито. Таким чином, більш щільні та (або) дрібні частинки (В, С) локалізуються в центрі циркуляції матеріалу, а інші - у поверхневому шарі та шарі, що прилягає до стінки корпусу. Такий поділ частинок призводить до зниження якості суміші, що одержується. Це положення зумовило створення цілого ряду апаратів, конструкція яких тією чи іншою мірою передбачає придушення сегрегації компонентів.

Одним із способів придушення сегрегації полягає в способі поступового та рівномірного завантаження одного з компонентів. При використанні такого підходу основний компонент потрапляє безпосередньо в обвалення, що забезпечує швидке досягнення однорідності суміші. На рисунку 1.4 представлена схема пристрою для реалізації способу змішування сипких

Л.нв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
14

матеріалів [2] та його поперечний розріз А-А. Пристрій містить барабан 1, вузли завантаження 2-4, вузол вивантаження готової суміші 5, дозатори 6-8 безперервної подачі компонентів А, і С, перфоровані труби 9 і 10 з приводами обертання 11 і 12. Основний компонент А через вузол завантаження 2 вводиться в змішувач, а ключові компоненти через вузли 3 та 4 вводяться в перфоровані труби. Через отвори перфорації в трубах в результаті їх обертання приводами 11 і 12 подається на поверхню обвалення суміші компонент А. Перфорація в трубі 9 подачі найбільш схильного до сегрегації компонента починається на деякій відстані від місця вивантаження. Компонент 3 завантажується в барабан, коли перебування двох основних складових суміші відповідає розрахунковому. Діаметр отворів у трубі 9 визначається вимогами до складу готової суміші.

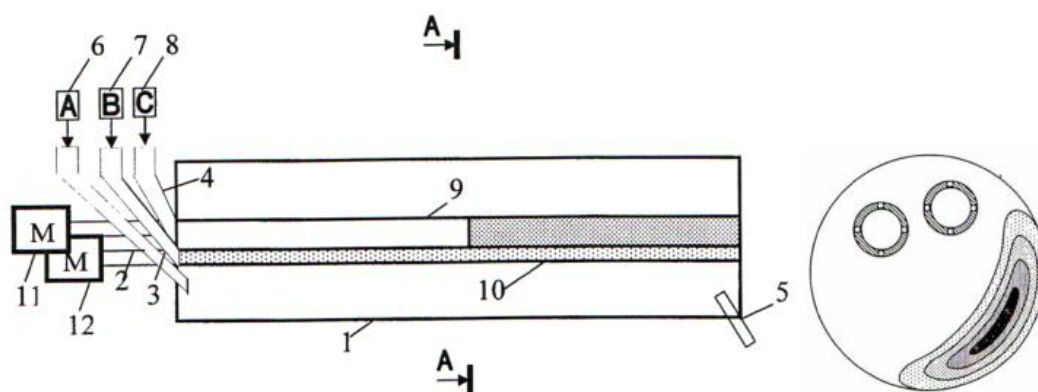


Рисунок 1.4 – Циліндричний барабан із завантаженням через перфоровані труби

Незважаючи на простоту такої конструкції, виробництво перфорованої труби буде досить трудомістким, необхідність використання додаткових приводів, зростання металомісткості - все це ускладнює даний пристрій. Щоб виключити утворення застійних зон у робочому об'ємі суміші використовують барабани у вигляді деяких стандартних фігур – тетраєдрів, шестигранника, неспіввісного циліндра, спіралі для створення складного хаотичного руху матеріалу. Прикладом такого пристрою може бути змішувач, зображений на рисунку 1.5. Він складається з бункера 1 з кришкою 2 і патрубками 3 для завантаження компонентів суміші і патрубка 4 для вивантаження компонентів,

| | | |
|-------------|---------------|-----------|
| Л.інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |
| Зм. | Кіль | Арк |

| | | | | | |
|-----|-------|------|--|--|--|
| | | | | | |
| №до | Підп. | Дата | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
15

що дозуються, шнекового живильника 5 з приводом, що містить електродвигун 6 і редуктор 7, корпусу 8 барабанного змішувача, виконаного з циліндричних обечайок 9, розташованих під один до одного, кришок 10 і 11. Корпус 8 встановлений на опорах 12 і 13 у стійках 14 і 15, відповідно. Опора (вал) 12 виконана порожнистою центральним наскрізним отвором. Привід містить 8 редуктор 16 і електродвигун 17 встановлений на стійці 15, на якій також укріплений бункер 18 зі шлюзовим живильником 19 для збору отриманої суміші. Усередині корпусу 8 у місцях з'єднання обічаків 9 встановлені перфоровані перегородки 20, розташовані в шаховому порядку. У кришці 11 виконано отвір 21, із заслінної 22 з гнучкого матеріалу.

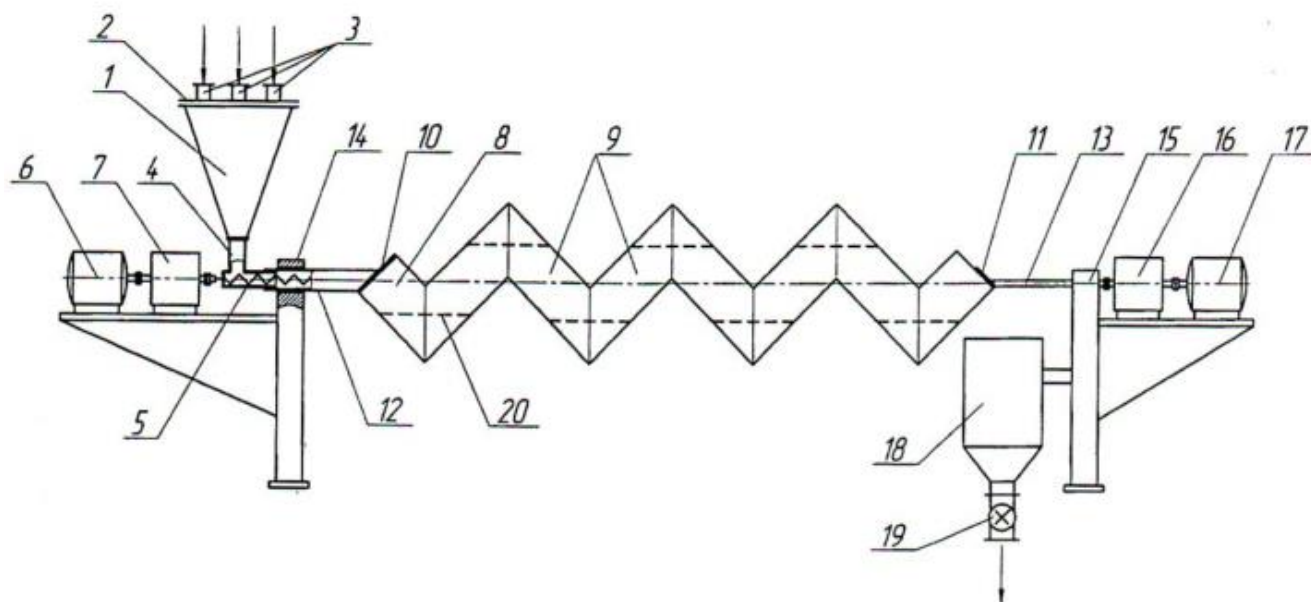


Рисунок 1.5 – Змішувач із робочою камерою, складеною з циліндричних обечайок

У бункер через 1 патрубки 3 завантажуються вихідні компоненти. Через патрубок 4 компоненти надходять в живильник 5 і шнеком через порожнистий вал 12 транспортуються в корпус 8. При обертанні корпусу 8 компоненти суміші змішуються, проходячи через отвори в перегородках 20. За рахунок різниці рівнів матеріалу в сусідніх секціях суміш рухається в напрямку опори 13 через отвір 21 у кришці 11 при повороті корпусу 8 отвором 21 вниз, при

| | | |
|-------------|---------------|-----------|
| Л.інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 16 |

цьому заслінка 22 приймає вертикальне положення. Вивантаження суміші бункер 18 відбувається під дією власної ваги.

У змішувачах з корпусом, виконаним у вигляді складних геометричних тіл, частинки, що знаходяться всередині, здійснюють хаотичний рух. Існує ціла низка пристроїв такого типу, один з яких - пристрій для приготування лакофарбової продукції, показано на рисунку 1.6. Воно включає в себе корпус 1, засіб 2 завантаження, засіб розвантаження 3 і привід (не показаний). Корпус 1 забезпечений втулками 4 і 5 з можливістю обертання в підшипникових опорах 6 і 7. Завантажувальний пристрій 2, підшипникові опори 6 і 7 встановлені на рамі 9, яка розміщена на чотирьох пневмобалонах 10, закріплених на станині 11. сировини на відстань L від вхідного отвору змішувача 1.

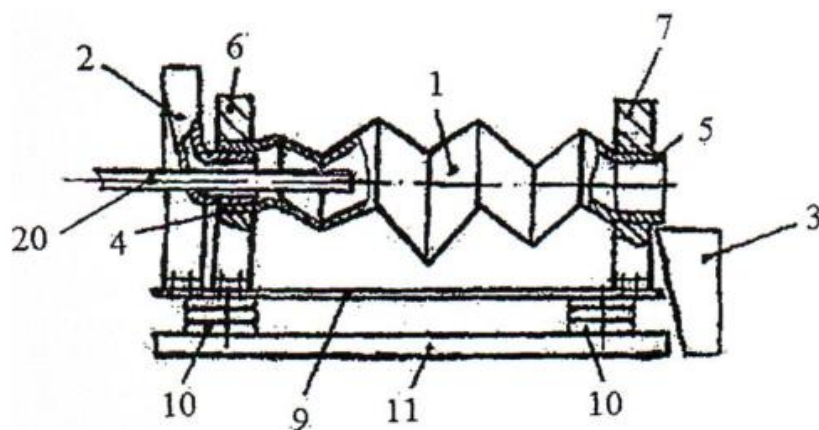


Рисунок 1.6 – Змішувач зі складеним барабаном складної форми

Компоненти суміші в сухому стані надходять через завантажувальний пристрій 2 всередину корпусу 1, де змішуються в сухому стані і переміщуються всередині корпусу 1 у бік вивантаження. Потім суху суміш компонентів за допомогою трубопроводу 20 подаються компоненти лакофарбової продукції в рідкому стані. Взаємоспрямовані потоки виникають в результаті впливу, розташованих по периметру змішувача, граней різного розміру, форми і різноспрямовані один до одного і до осі обертання. Таким чином, відбувається змішування, диспергування та приготування фарби, яка

Л.інв.№ ор. Підпис і дата. Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк. 17

розвантажуються через пристосування 3. При обертанні корпусу 1 частинкам сировини повідомляється складний просторовий рух з накладенням коливань у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Воно виникає завдяки дії робочої поверхні 1 камери, що має складну геометрію. Готова лакофарбова продукція через втулку 5 вивантажується в розвантажувальний пристрій 3.

Дані змішувачі дуже складні у виготовленні через складну складову конструкцію барабана, мають високу металоємність, енергоємність, вимагають додаткового балансування, шумоізоляції та віброізоляції.

Уникнути перерахованих недоліків дозволяють змішувачі з еластичною камерою, наприклад, з конусною вертикальною камерою змішування, що здійснює зворотно-поступальний рух вгору і вниз.

Ще одним представником цього виду апаратів гравітаційної дії є змішувач з еластичним корпусом, зображений на рисунок 1.7, що містить еластичний корпус 1 з вмонтованими в нього підшипниками 2, що спираються на ексцентричні кільця 3, закріплені 14 у валу-трубі 4 за допомогою рухомого шпонкового, шліцьового або евольвентного з'єднання. Вал-труба 4 спирається на підшипники кочення 5, встановлені на рухомій рамі 6. До внутрішніх шпалер підшипників конусними кільцями 7 приєднуються кромки еластичного корпусу. Для завантаження і вивантаження компонентів у конусне кільце через пружні кільця 8 запресовані розтруби 9. Привід змішувача здійснюється електродвигуном 10, а швидкість обертання регулюється через відцентрову фрикційну муфту 11 варіатором 12. З веденого валу обертальний момент передається на вал. рама 14 з'єднується з основою шарніром 15 і парою гвинт-гайка 16.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | Арк. |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | | 18 |

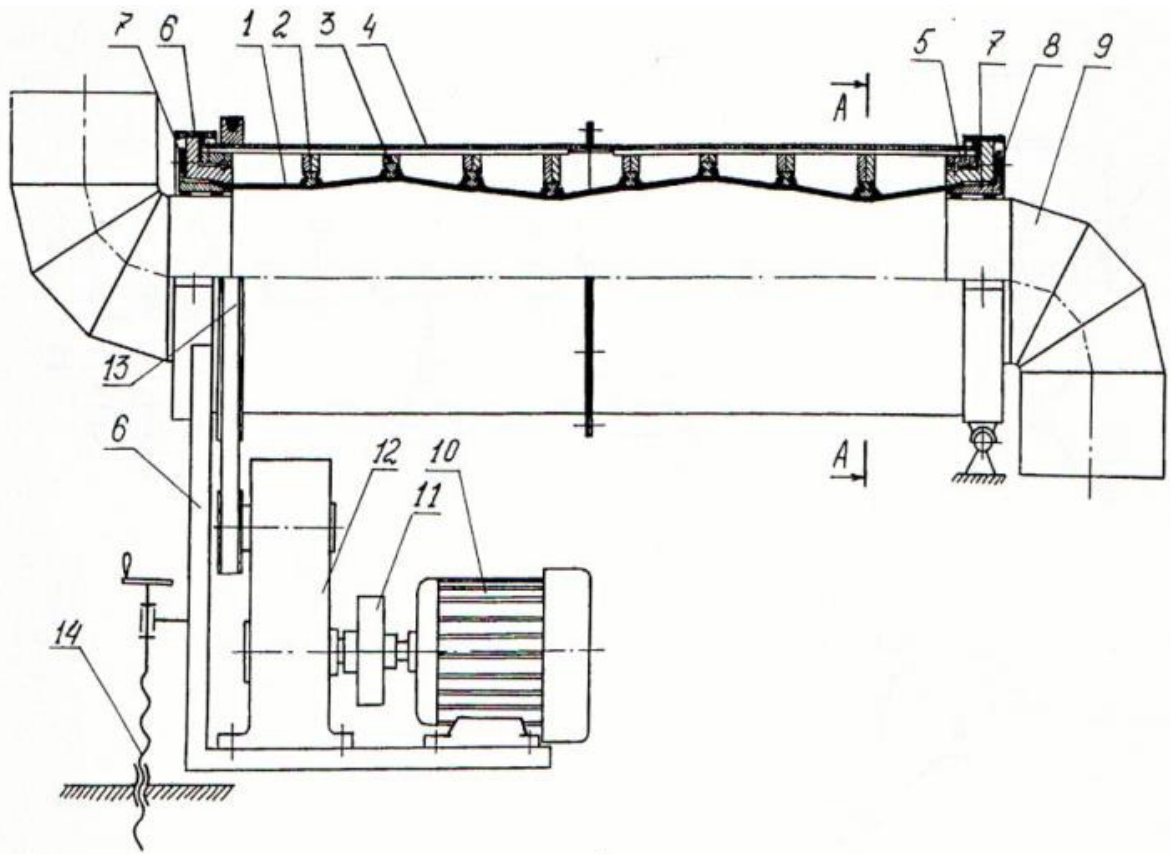


Рисунок 1.7 – Змішувач з еластичним корпусом

Через розтруб 9 безперервно завантажуються інгредієнти, що віддозуються. Електродвигун 10 через муфту 11, варіатор 12 приводить у обертання пасовою передачею 13 вал-трубу 4. При обертанні ексцентрикових кілець 3 підшипники 2 здійснюють коливально-кругові рухи з амплітудою $2e$ і відрегульованою частотою. Нерухоме закріплення еластичного корпусу 1 на підшипниках 2 дозволяє отримати всередині корпусу 1 при обертанні вала-труби 4 ефект біжучої хвилі. При коливаннях корпусу частинки інгредієнтів набувають хаотичних напрямків рухів, внаслідок чого відбувається активна диспергація частинок та їхнє інтенсивне змішування.

Горизонтальне переміщення та регулювання швидкості частинок забезпечується нахилом осі змішувача парою гвинт-гайка 16. Горизонтальна складова швидкості змушує переміщатися масу, що змішується, до вивантажувального розтруба 9. До недоліків такого апарату можна віднести швидкий знос еластичної робочої камери.

Пристрій, зображений на рисунок 1.8, принципово схоже на змішувач, що розглянутий вище, відрізняється відсутністю механізмів рівномірної подачі матеріалів [9]. Пристрій для приготування суміші сипких матеріалів містить раму 1, на якій встановлений привід, що включає електродвигун 2 і редуктор 3. Він з'єднаний з колінчастим валом 4, на якому кріпляться шатуни 5.

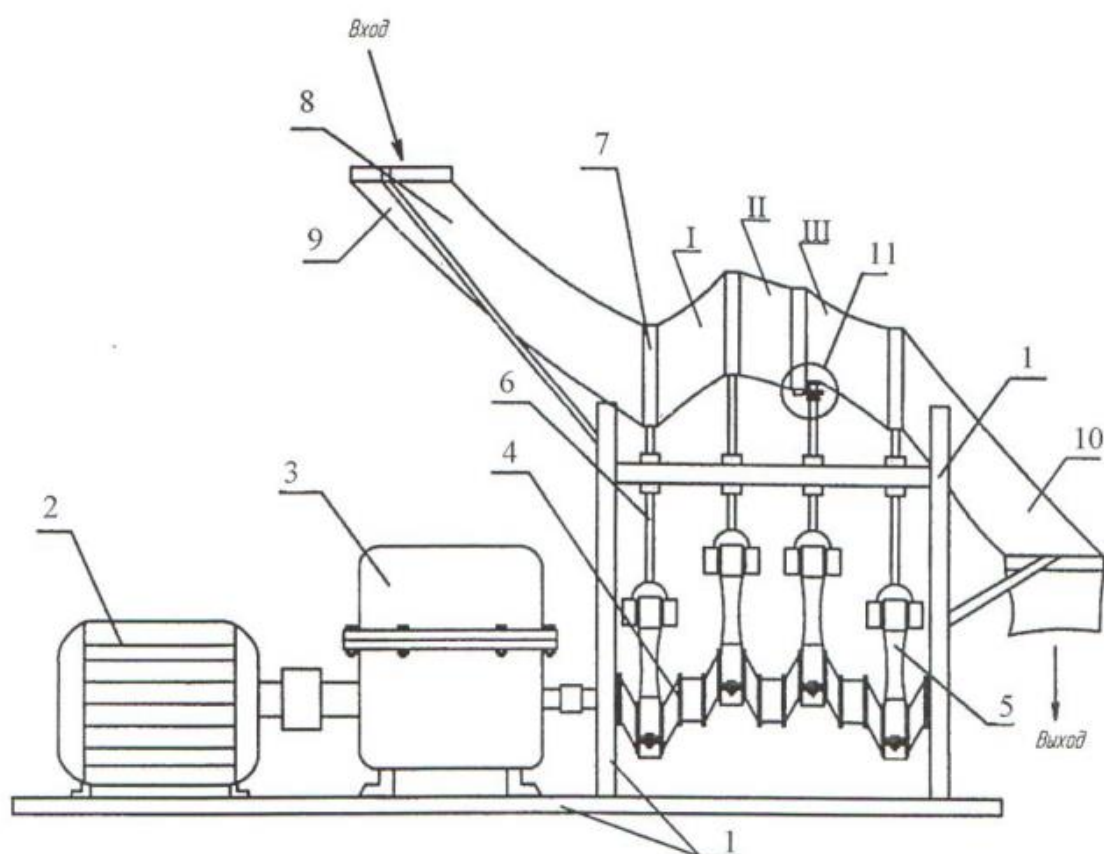


Рисунок 1.8 – Змішувач з еластичною камерою та приводним колінчастим валом

На вертикальних штоках 6 є хомути 7 з прокладками, в яких встановлена циліндрична еластична змішувальна камера 8 з завантажувальним 9 і вивантажувальним 10 патрубками. Хомути 7 ділять циліндричну камеру змішувача 8 на три робочих ділянки I, II, III. Штоки 6 мають гвинтовий пристрій 11 регулювання висоти підйому.

Л.нв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
20

Через завантажувальний патрубков 9 еластичну циліндричну змішувальну камеру 8, засипають компоненти суміші, включають електродвигун 1 і редуктор 2. У нерухомому стані ліва частина першої ділянки I камери опущена, а права частина піднята, ліва частина другої ділянки II піднята, а права частина опущена, ліву частину третьої ділянки III піднято, а праву опущено. Вал редуктора 3 обертає колінчастий вал 4, який піднімає і опускає шатуни 5 з вертикальними штоками 6 з хомутами 7. Ліва частина першої ділянки камери I піднімається, а права частина опускається, ліва частина другої ділянки II опускається, а права частина піднімається, ліва частина третього ділянки III опускається, а права частина ділянки піднімається. При русі хомутів 7 ділянки циліндричної змішувальної камери 8 здійснюють поперемінний складний рух: хвильовий у вертикальній площині і коливальний рух ділянок камери 8 горизонтальній площині при відхиленні шатунів 5 на кут до 10° в поперечному перерізі за рахунок відхилення осей обертання шатунних осей обертання корінних шийок колінчастого валу 3. Висота підйому та опускання ділянок змішувальної камери 8 залежить від ходу штоків 6, який регулюється гвинтовим пристроєм 11.

До недоліків змішувача можна віднести низьку надійність внаслідок знакозмінних навантажень, високу металоємність та складність приводу.

Барабанні змішувачі з внутрішніми робочими органами є, на наш погляд, найпоширенішими у промисловості. Багато авторів пропонували різні варіанти конструктивного виконання даного виду змішувачів гравітаційної дії. Усі ці апарати мають, як правило, горизонтальний барабан. У середині нерухомого сталевого циліндричного барабана може бути розташована стрічкова мішалка, що забезпечує осьовий та радіальний рух матеріалу всередині барабана. До запропонованого апарату автори запропонували додатково використовувати шнек, що направляє потоки матеріалу один на одного. У пристрої для змішування сипких компонентів у розрідженому стані всередині робочого об'єму використаний барабан з еластичною пальцями. Для

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
21

збільшення відносної швидкості зсуву шарів один щодо одного лопатки всередині барабана рухаються в протилежних напрямках. У пристрої лопатки розташовані на різній відстані від осі обертання та повернені на кут 45 градусів. Це забезпечує перемішування в осьовому та радіальному напрямках.

Прикладом змішувача цього типу є апарат, зображений на рисунку 1.9. Він складається з барабана 1, в якому за допомогою центруючих опор 2 встановлений центральний вал 3, на якому розміщені Г-подібні лопаті 4. На рамі 5 встановлені 6 завантажувальний і розвантажувальний 7 патрубкі.

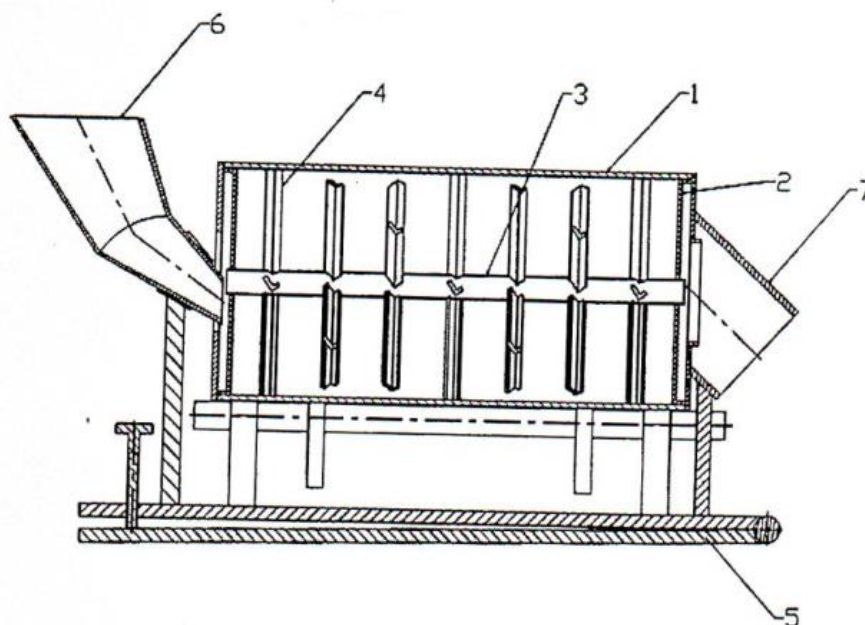


Рисунок 1.9 – Змішувач з Г-подібними лопатями

Порошкоподібні матеріали подаються в змішувач через завантажувальний патрубок 6. При обертанні барабана 1 матеріали зсипаються з робочих поверхонь Г-подібних лопатей вниз, переміщуючись одночасно по двох утворюючих барабана 1. При цьому, крім поділу об'єму матеріалу на два нерівні потоки на кожній лопаті, відбувається його циркуляція по довжині барабана змішувача. Основний потік суміші переміщається в осьовому напрямку у бік вивантаження. За рахунок можливості повороту Г-подібних лопатей щодо один одного на 360° їх можна встановити в шаховому або спіралеподібному порядку. В результаті установки Г-подібних лопатей у

Л.інв.№ ор. Підпис і дата. Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
22

шаховому порядку обсяг матеріалу ділиться на 2 потоки, і один з них зсипається на попередню лопату і накладається на другий потік. В результаті відбувається багаторазове накладення потоків, що розділяються, сприяючи усередненню якості суміші. При розташуванні лопатей в спіралеподібному порядку частина матеріалу поступово повертається до початкової точки його руху, забезпечуючи об'ємну внутрішню циркуляцію, при цьому згладжуючи вхідні пульсації вихідних компонентів. Готова суміш вивантажується через розвантажувальний патрубок 7.

Пристрій реалізації способу змішування сипких матеріалів показано на рисунок 1.10 – розріз А-А.

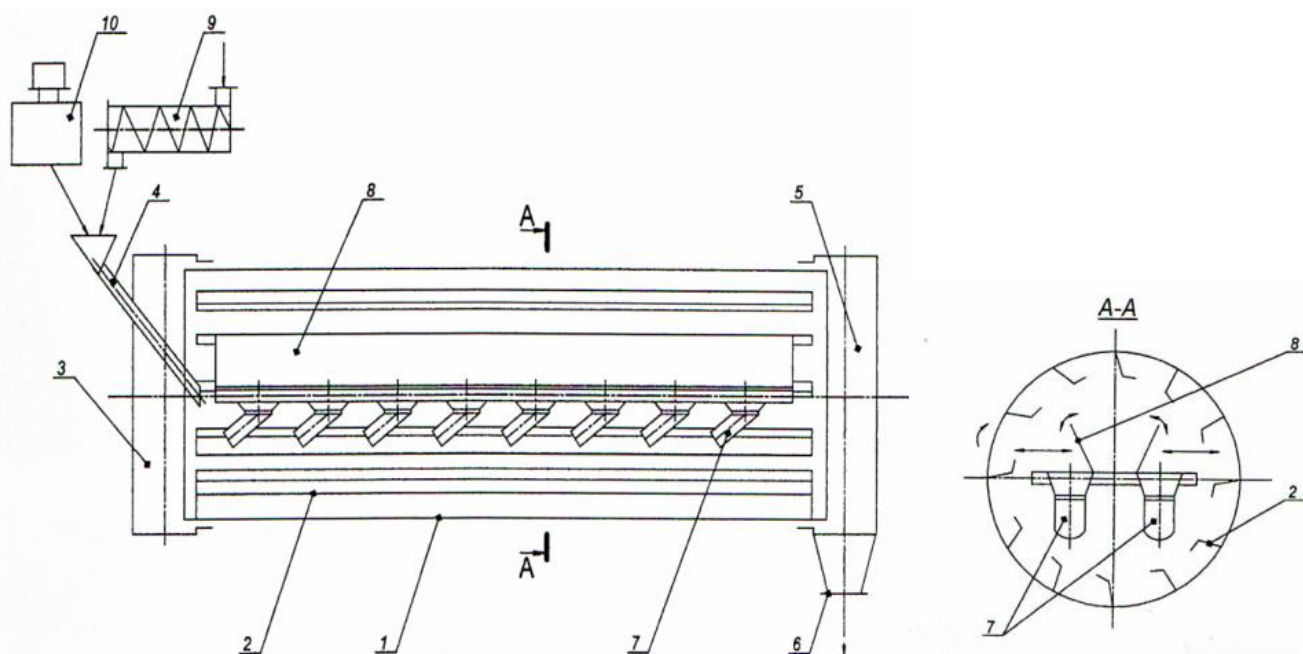


Рисунок 1.10 – Змішувач з внутрішніми робочими органами та розподіленим завантаженням

Він містить барабан, що обертається 1 з периферійною Г-подібною насадкою 2, завантажувальну камеру 3 з патрубком 4 введення компонентів суміші, розвантажувальну камеру 5 з патрубком 6 виведення суміші. У барабані, в приосьовій зоні, нерухомо встановлені горизонтальними поздовжніми рядами відхиляючі елементи, виконані у вигляді воронок 7 з течками, що мають нахил у бік завантажувального торця барабана. На одній з

Л.інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
23

поздовжніх кромок воронки кожного ряду елементів закріплені поворотні пластини 8 для регулювання величини потоків частинок, що потрапляють на елементи, що відхиляють. Недоліком даного змішувача є складність виготовлення вирів і висока металомісткість.

Серед пристроїв гравітаційної дії відомі також пристрої відкритого типу.

У цих пристроях досить просто конструктивно і технологічно може бути забезпечено попередній розподіл і наступне накладання компонентів, що змішуються. Це забезпечує вирівнювання концентрації ключового компонента в суміші в осьовому напрямку.

До пристроїв такого типу відноситься змішувач з перемішують лопатями, показаний на рисунок 1.11.

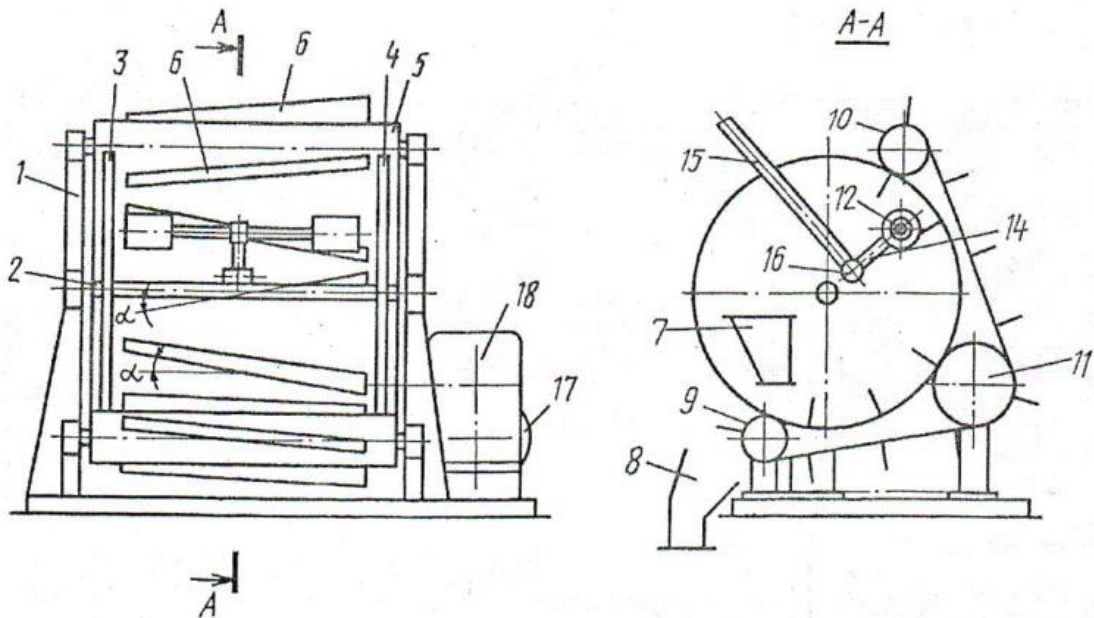


Рисунок 1.11 – Змішувач відкритого типу з лопатями, що перемішують

Він містить раму 1, встановлену на ній горизонтальну ємність, утворену укріпленими на горизонтальному валу 2 дисками 3, 4 нескінченною стрічкою 5, що охоплює їх, встановлені на стрічці лопаті 6, привід, патрубки завантаження компонентів і вивантаження суміші 7 і 8, натяжні і приводні ролики 9 - 11, ролики для скидання матеріалу 12. До недоліків змішувача можна віднести трудомісткість виготовлення стрічки з лопатями, їхню

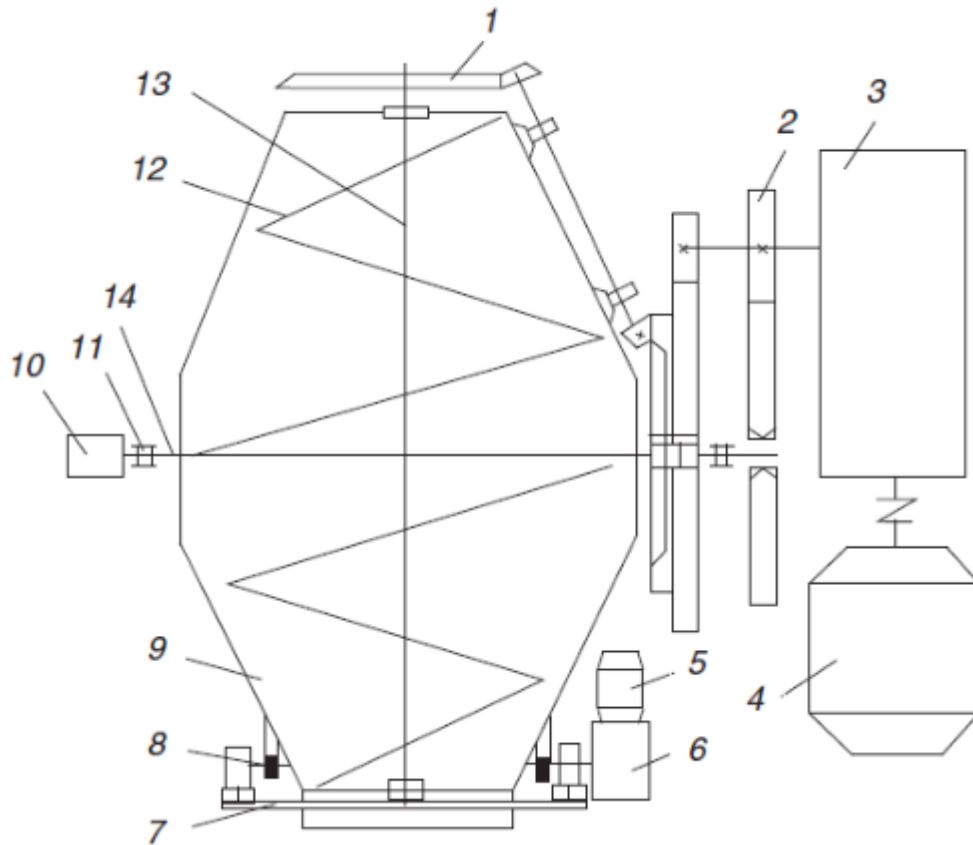
невисоку довговічність при знакозмінних навантаженнях. Також не дуже висока тут ефективність змішування, оскільки результатом впливу лопатей є перетасовування суміші після її падіння з лопаті в ємність. Однак відсутня дія лопатей на застійну зону в центрі циркуляції суміші, оскільки лопаті розташовані в пристінній області робочої ємності і переміщуються разом з матеріалом.

Бетонозмішувач гравітаційно-примусової дії може працювати як самостійна машина, так і у складі технологічних комплектів обладнання різної продуктивності та призначення.

На рисунку 1.12 показано конструктивну схему комбінованого змішувача, який був розроблений в КНУБА колективом авторів на чолі з Манукяном Г.М.

Недоліками такої машини є: складність конструкції, обумовлена використанням струмоприймача, струмознімач; трудомісткість та складність завантаження компонентів та вивантаження готової суміші. Крім того, не виключена можливість осідання великого заповнювача, а, отже, і розшарування суміші. Використання такого змішувача відоме лише приготування сумішей на пористих заповнювачах.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----------------------------|-------|------|--|--|--|------------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 25 |
| | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк. | №до | Підп. | Дата | | | | |



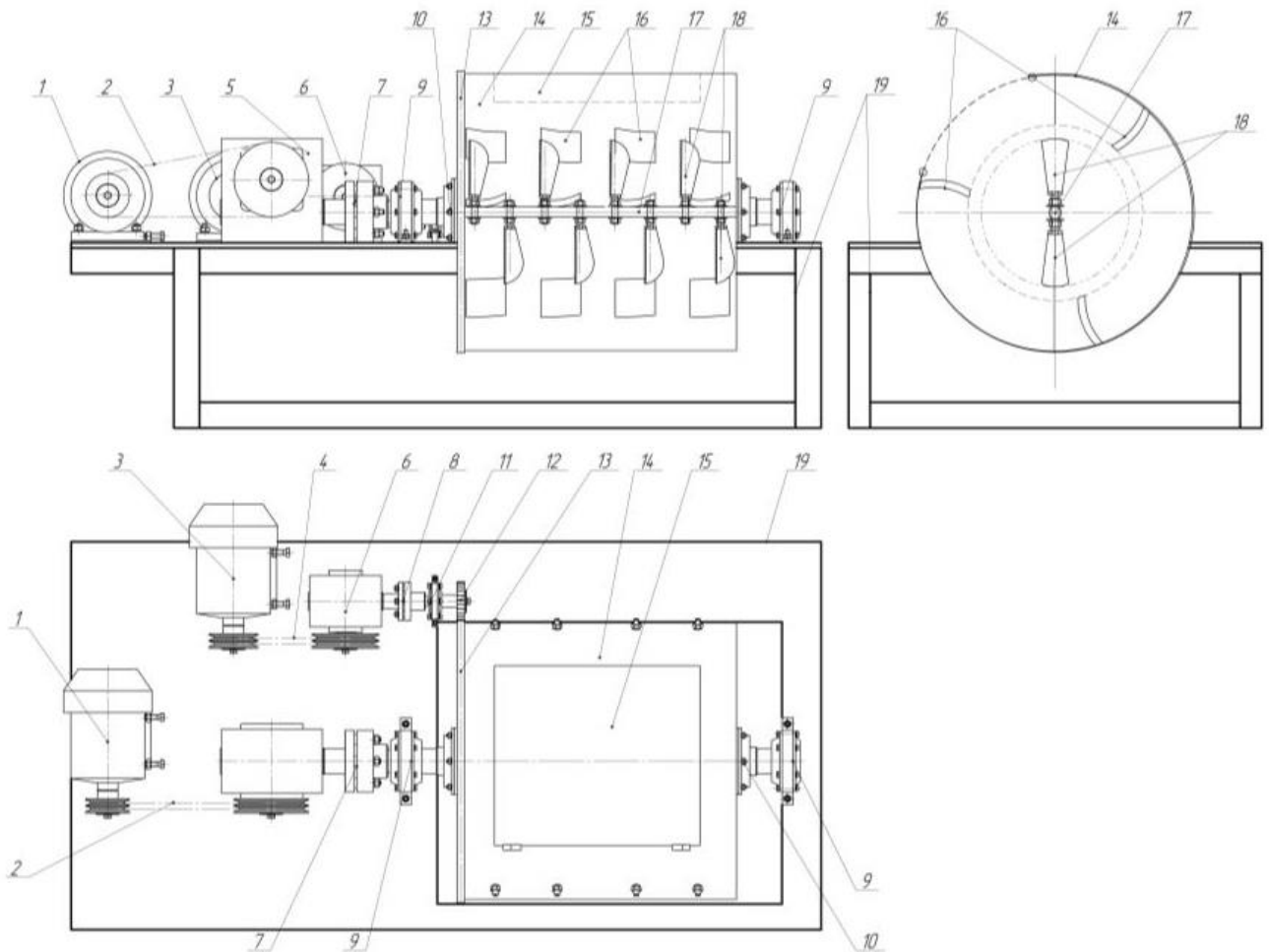
1 – відкрита зубчаста передача змішувальних лопаток; 2 – відкрита зубчаста передача барабана; 3, 6 – редуктори; 4, 5 – електродвигуни; 7 – шибер; 8 – відкрита зубчаста передача шибера; 9 – барабан; 10 – кільцевий струмоприймач; 11 – опорний підшипник; 12 – гвинтові лопатки; 13 – вал; 14 – напіввісь барабана

Рисунок 1.12 – Конструктивна схема комбінованого змішувача

В Харківському університеті будівництва і архітектури розроблений бетонозмішувач гравітаційно-примусової дії (рисунок 1.13), який складається з корпусу циліндричної форми, до внутрішньої поверхні якого прикріплені лопатки, встановлені рядами по периметру вздовж усієї його довжини. Всередині корпусу розміщений горизонтальний вал зі своїми лопатками, які закріплені на ньому по гвинтовій лінії. Корпус змішувача та лопатевий вал обертаються у протилежних напрямках.

Таким чином, в одній машині використані конструктивні особливості гравітаційного, так і змішувача примусової дії. Поєднання двох змішувачів в одній машині дозволяє отримати новий комбінований спосіб перемішування

компонентів суміші, в основі якого використовується каскадний режим роботи машини.



1, 3 – електродвигун; 2, 4 – клинопасова передача; 5, 6 – черв'ячний редуктор; 7, 8 – втулково-пальцева муфта; 9 – роликоопори; 10 – підшипникові вузли; 11 – пружина-тримач зірочки; 12 – зірочка; 13 – ланцюг; 14 – корпус; 15 – кришка; 16 – лопатки корпусу; 17 – вал; 18 – лопатки валу; 19 – рама бетонозмішувача

Рисунок 1.13 – Схема бетонозмішувача гравітаційно-примусової дії

Корпус бетонозмішувача 14 (рисунок 1.13) через підшипникові вузли 10, горизонтальний вал 17 і ролико-опори 9 спирається на раму 19. До внутрішньої поверхні корпусу 14 прикріплені лопатки 16. У центрі корпусу розташований горизонтальний вал, що обертається 17 з лопатками. через

Л.інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
27

клинопасову передачу 2 передається крутний момент до редуктора 5. У свою чергу від валу редуктора 5 через муфту 7, починає обертатися горизонтальний вал 17 із закріпленими на ньому лопатками 18.

Від електродвигуна 3 через клинопасову передачу 4 передається крутний момент до редуктора 6. Далі крутний момент від валу редуктора 6 через муфту 8 приводить у обертання корпус бетонозмішувача 14 за допомогою ланцюгової передачі, яка складається з зірочки 12, пружини-тримача зірочки 1 закріпленою на зовнішній поверхні корпусу 14.

До корпусу бетонозмішувача 14 прикріплена кришка 15, яка перекриває завантажувально-розвантажувальний отвір машини і, при необхідності, відкривається або закривається.

У робочий простір корпусу змішувача з прикріпленими до нього лопатками і горизонтальним лопатевим валом, що обертається в цей час, завантажуються вихідні компоненти будівельної суміші. Коли лопатки корпусу змішувача при його обертанні піднімаються у верхню частину робочого простору машини частинки суміші сходять з їхньої поверхні, потрапляючи на лопатки валу, які встановлені назустріч лопаткам корпусу. Частинки суміші, що потрапили на лопатки валу в нижній частині робочого простору машини піднімаються разом з ними вгору, звідки знову падають вниз під власною вагою, потрапляючи на лопатки корпусу машини, що обертається, і зверху знову падають на лопатки горизонтального обертового валу. Такий рух частинок суміші в робочому просторі змішувача між лівою та правою торцевими стінками забезпечує каскадний режим роботи машини.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

2 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗМІШУВАННЯ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

2.1 Аналіз сучасних математичних моделей процесу змішування сипких матеріалів

Математичне моделювання процесу змішування сипких матеріалів спрямоване на встановлення функціонального зв'язку між критерієм якості суміші та основними параметрами досліджуваної фізико-механічної системи (ФМС): змішувача (конструктивними та режимними) та фізико-механічними параметрами компонентів суміші (середні діаметри частинок компонентів, їх насипні щільності) кути природного укосу сипких компонентів та інші).

Найбільш поширеним критерієм оцінки якості (однорідності) суміші є коефіцієнт неоднорідності V_c , який визначається формулою:

$$V_c = \frac{1}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2},$$

де \bar{c} - середня за обсягом масова або об'ємна концентрація ключового компонента суміші, c_i - концентрація ключового компонента в i - пробі, n - кількість проб.

Одна з основних умов математичного опису процесу змішування, з прикладної точки зору, полягає в тому, що структура моделі повинна визначатися механікою потоків сипких матеріалів за робочими елементами змішувача, враховувати механізм, природу процесу. Оскільки процес змішування сипких матеріалів має випадкову природу, то його опис має бути заснований на стохастичному підході. Тим не менш, дотепер успішно використовуються і детерміновані підходи до моделювання процесу змішування. Основні типи моделей процесу змішування показані на схемі. Дана схем подібна до класифікацій підходів, використовуваними останніми роками в оглядах. Розглянемо ці підходи докладніше. До детермінованих підходів до моделювання належать: регресійні моделі, типові моделі

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

29

Інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

Зм. Кіль Арк. №до Підп. Дата

структури потоку та кібернетичний підхід. Регресійні моделі містять емпіричні співвідношення між критерієм якості суміші та параметрами ФМС, що досліджується. Цей підхід до математичного моделювання є досить надійним, під час встановлення зв'язків у досліджуваних межах, але досить трудомістким. Найчастіше він реалізується шляхом найменших квадратів. Ці моделі придатні для конкретних, вивчених апаратів і вирішують проблем масштабних переходів.

До типових моделей структури потоку відносять: модель ідеального витіснення, модель ідеального змішування, дифузійну, коміркову та комбіновані.

Модель ідеального витіснення передбачає поршневі рух матеріалу без змішування частинок у напрямі потоку. Модель ідеального змішування застосовна, коли частки миттєво рівномірно розподіляються за робочим об'ємом змішувача. У реальних змішувачах модель практично не використовується, оскільки не трапляється такий рух частинок. Коміркова модель представляється як результат перерозподілу частинок при їх русі в потоці матеріалу через систему ланцюжків, складених із осередків ідеального змішування і утворюють циркуляційний контур змішувача. Цей підхід докладно розглянуто на роботах.

У роботах [11, 13] розробляються осередкові моделі, що враховують імовірнісний характер процесу змішування в циркуляційних змішувачах. Найбільш повно застосування осередкової моделі, що враховує конвективні та дифузійні взаємодії між осередками та її комп'ютерна реалізація, описані в [12]. Комбіновані моделі складають для змішувачів, що мають виражені застійні зони та зони циркуляції. При використанні таких моделей можна описати практично будь-який досить складний процес, проте при цьому виникає проблема вирішення громіздких рівнянь.

Один із найпоширеніших підходів до моделювання процесу змішування сипких матеріалів полягає у використанні дифузійної моделі [15-16]. У

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 30 |

випадку процес описується диференціальними рівняннями Фоккера-Планка [12]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(c(x,r)u(x)) + \frac{\partial^2}{\partial x^2}(D_L(x) \cdot c(x,r)) + \frac{D_R}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c(x,r)}{\partial r} \right),$$

де $u(x)$ – середня швидкість конвективного переміщення матеріалу в змішувачі; x, r - координати, D_L, D_R - коефіцієнти поперечної і поздовжньої дифузії, часто визначають експериментально і представляють у вигляді регресійних рівнянь. Якщо механізм перемішування є псевдоочікуваним, подібним до молекулярної дифузії, то можливе застосування рівняння Фіка:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2},$$

де c – концентрація частинок, D – коефіцієнт дифузії, x – відстань у напрямку розсіювання. Величина D є характеристикою перемішування та залежить від часів перебування частинок у ділянці активного змішування, яка може бути встановлена в робочому обсязі багатьох апаратів. Якщо щодо D скористатися, наприклад, методами статистичної механіки, то результати моделювання можна отримати структуру D , з урахуванням параметрів фізико-механічної системи.

У реальних системах перемішування завжди супроводжує сегрегація частинок. У роботі при описі радіального змішування з урахуванням сегрегації бінарної суміші частинок в горизонтальному циліндрі, що обертається, застосовувалася дифузійна модель.

Дифузійна модель "зі зносом" при описі змішування частинок в рівнянні Фіка передбачає облік члена, що містить швидкість зносу V :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - V \frac{\partial c}{\partial x}.$$

Дифузійна модель "зі зносом", як правило, застосовується для опису змішування в пристроях безперервної дії.

Для опису конвективного формування суміші, коли вона піддається ряду впливів, що включають її поділ і перетасовування використовується

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 31 |

конвективна модель. У роботі конвекція моделюється послідовним розрізанням, стисненням і збиранням паралелепіпеда, що складається з пар смуг різних частинок. Вплив продовжується до досягнення смуг необхідної товщини. Сформована, таким чином, шарувата суміш, є ідеалізованим поданням конвективного перемішування. У роботі при моделюванні змішування використаний конвективний механізм, а потім дифузійний та отримана точна модель.

При використанні методу побудови функції розподілу часу перебування на потік матеріалу, що надходить до змішувача, наноситься обурення тієї чи іншої форми, а потім на виході досліджуються наслідки обурення (крива відгуку). Функція розподілу часу перебування, визначена за цією кривою, використовується у поєднанні з моделлю змішування у робочому обсязі змішувача. Функція розподілу часу перебування не визначає ефекти мікрозмішування та кінетику процесу змішування. Цей метод вимагає великих досвідчених досліджень і дозволяє побудувати криву змішування лише в досить вузькому діапазоні конструктивних та режимних параметрів змішувача. Цей метод не вирішує проблему масштабного переходу.

2.2 Методика імітаційного моделювання процесу змішування компонентів суміші

Змішування твердих частинок є важливим процесом саме по собі, як і змішування компонентів змішаного порошку; він також може відігравати важливу роль у виконанні інших операцій обробки частинок, таких як подрібнення, гранулювання, класифікація та хімічна обробка. В однофазних системах, таких як гази або рідини, що змішуються, змішування відбувається спонтанно і необоротно, тому такі дії, як перемішування, необхідні лише для прискорення процесу. Навпаки, процеси змішування твердих речовин не є ані спонтанними, ані незворотними – для змішування потрібне певне механічне

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
32

перемішування, і зазвичай спостерігається тенденція до сегрегації різних типів частинок.

Сегрегацію зазвичай описують як проблему. Хоча це явно підходить для простих операцій змішування, є випадки, коли це дійсно бажано, забезпечуючи певний ступінь класифікації. Сегрегація за рахунок перемішування або потоку порошку рідко є ефективним засобом класифікації сама по собі, але вона може бути корисним доповненням до інших процесів класифікації. Наприклад, операції безперервного просіювання зазвичай передбачають переміщення шару вібраційних частинок поверхнею просіювання. Розділення грубих (надмірних) частинок у верхній частині шару може підвищити ефективність просіювання за рахунок зменшення блокування отворів сита. Процеси агломерації використовують переваги сегрегації великих агломератів для сприяння переважному вивантаженню продукту з пресувальних барабанів або кастрюль.

Важливо розрізнити результати процесів активної сегрегації та ті, що спричинені просто неадекватним змішуванням. Якщо частина компонентів суміші додається в агломерованому вигляді, повне змішування вимагає дроблення і перерозподілу цього матеріалу. Пристрої з низьким зсувом, такі як барабанні змішувачі, можуть бути не в змозі виконати цю дію. Дійсно, вони можуть фактично посилити сегрегацію, сприяючи утворенню та зростанню агломератів.

Інше розрізнення можна зробити в контексті змішування як елемента якогось іншого процесу, такого як операція безперервного подрібнення. У рідкофазних сумішах «ідеальне» змішування означає рівномірний розподіл компонентів по всій ємності - ретельне змішування на низькому рівні зазвичай відбувається автоматично. Останнє часто не вірно для систем частинок. Просторова однорідність може бути досягнута, а компоненти залишаються у вигляді згустків. Однак однорідності такого роду може бути цілком достатньо,

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 33 |

щоб вважати простір повністю змішаним для оцінки параметрів процесу, таких як розподіл часу перебування.

2.2.1 Оцінка однорідності суміші

Загальноприйнятою процедурою оцінки відносної однорідності суміші твердих часток є взяття кількох зразків випадковим чином і визначення дисперсії їх складу: чим більш однорідна суміш, тим менша очікувана дисперсія. Через дискретну природу частинок очікувана дисперсія випадкової суміші зрештою обмежена ймовірністю включення різних типів частинок, особливо незначних компонентів, у зразок. На підставі простої статистики відомо, що очікувана дисперсія σ^2 відносного складу зразків, кожен з яких містить N частинок, узятих із абсолютно випадкової бінарної суміші, визначається як:

$$\sigma^2 = \frac{p(1-p)}{N}$$

де p – загальна чисельна частка одного з компонентів. Просте лікування було розширено до більш практичного випадку очікуваної дисперсії масової частки даного компонента в зразках однакової маси, взятих із багатоконпонентної суміші. Тоді попереднє рівняння набуває виду

$$(\sigma_m^2)_i = \frac{f_i(1-f_i)w_i + f_i^2(\bar{w} - w_i)}{M}$$

де $(\sigma_m^2)_i$ – очікувана дисперсія масової концентрації компонента i у пробах, взятих із випадкової суміші всіх компонентів; f_i – загальна масова частка компонента i в суміші; w_i – маса окремої частинки цього компонента, а w – загальна середня маса частинки, яка визначається як:

$$\bar{w} = \sum_j f_j w_j$$

Спостережувана дисперсія зразка, яка перевищує очікуване значення, визначене за допомогою попередніх рівнянь, означає, що суміш є

неоднорідною. Однак можливо, що такий результат буде отримано випадково для випадкової суміші. Порівняння співвідношення спостережуваної та очікуваної дисперсії за допомогою, наприклад, простого F -критерію дає вказівку на те, чи є різниця статистично значущою.

Данквертс використовував терміни мікрозмішування та макрозмішування, щоб розрізнити короточасну гомогенність, тобто на рівні окремих частинок, і довгострокові варіації всередині об'єму матеріалу. Очікувана, випадково змішана дисперсія, описана вище, відноситься до мікрозмішування. Оскільки спостережувана дисперсія також включає вплив помилок у аналізі зразка, необхідно збільшити очікувану дисперсію, використовуючи невеликі зразки, щоб гарантувати, що неповне мікрозмішування не стикається з такими помилками. У той же час, однак, збільшення очікуваної дисперсії може містити вплив невеликих, але важливих довгострокових коливань. Наприклад, у дослідженні осьового змішування в обертовому циліндрі було виявлено, що використовуючи зразки приблизно з 500 частинок, що спостережувана дисперсія зразка стала рівною очікуваному значенню після приблизно 7000 обертів барабана. На цьому етапі залишалася невелика, але помітна зміна складу по довжині циліндра. Щоб виявити варіації як довгого, так і короткого діапазону, необхідно взяти вибірку на більш ніж одному рівні – невеликі зразки для ідентифікації локальної кластеризації компонентів і більші зразки для тестування на довгострокові варіації. Як правило, останнє можна звести до мінімуму шляхом подальшого змішування, тоді як для першого можуть знадобитися альтернативні процедури, такі як збільшення зсуву. Процедури визначення характеристик сумішей твердих часток були більш детально описані в останній публікації даного автора.

2.2.2 *Механізми змішування*

Лейсі запропонував такі основні механізми змішування твердих тіл: конвективне змішування, яке передбачає колективне перенесення груп

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
35

частинок з одного місця в інше; дифузійне змішування, яке визначається як розподіл частинок по свіжорозвиненій поверхні та зсувне змішування через площини ковзання, створені всередині суміші. Подальший розгляд, однак, припускає, що для сипучих порошків основними механізмами є просто конвекція, як це визначено Лейсі, і дифузія, визначена ширше як випадковий рух окремих частинок. Зсувне змішування можна розглядати як комбінацію конвекції та дифузії в результаті перерозподілу матеріалу по площинах ковзання. Зсув є важливою характеристикою процесу змішування, забезпечуючи рушійну силу для конвекції та дифузії. Третій механізм – перенесення між агломератами – важливий для крупних частинок.

Як правило, дифузія є досить повільним процесом, тоді як конвекція відбувається швидко. Практичні системи змішування використовують комбінації цих двох основних механізмів. Конвекція, як правило, забезпечує швидке макрозмішування та суттєво зменшує відстані, на яких має відбуватися дифузія, щоб забезпечити повне мікрозмішування. Для реалізації обох механізмів необхідні перемішування та зсув. Конвекція в основному контролюється геометрією системи, включаючи наявність таких елементів, як лопаті та перегородки, які викликають колективний рух частинок. Цей процес може призвести до свого роду дифузійного макроперемішування, подібного до турбулентної дифузії в рідинах. Дифузійне мікроперемішування визначається рухливістю окремих частинок у відповідь на перемішування та зсув. У сипучих порошках рухливість, як правило, висока, що сприяє відносно швидкому мікрозмішуванню. З іншого боку, у випадку порошків індивідуальна рухливість низька, а іноді й практично відсутня. Змішування цих матеріалів має значною мірою залежати від зсуву, щоб розбити матеріал на все менші й менші агломерати. Оскільки будівельні сухі суміші зазвичай містять дуже дрібні частинки, а руйнування агломерату є оборотним процесом, виділення окремих частинок у кращому випадку є швидкоплинним. Мікроперемішування за допомогою простої дифузії по суті виключається і має

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 36 |

відбуватися шляхом випадкового перенесення частинок між агломератами, що руйнуються, і агломератами, що повторно формуються.

2.2.3 Механізми сегрегації

Мікроперемішування за допомогою дифузії у сипучому порошок вимагає, щоб рух окремих частинок у відповідь на перемішування був справді випадковим і незалежним від типу відповідної частинки. Іншими словами, всі частинки в системі повинні мати однакову рухливість. Коли між компонентами суміші є відмінності в рухливості, сегрегація стає можливою. Рух частинок є результатом впливу механічних дій, таких як перекидання або перемішування, а також зовнішніх сил, насамперед сили тяжіння. Рухливість частинок визначається реакцією на ці сили та опором руху з боку інших частинок, їхнього середовища та самого змішувального пристрою. Багато в чому сегрегація в порошках аналогічна диференціальному осіданню частинок у рідині.

Конвективне перемішування зазвичай не залежить від рухливості окремих частинок; ефект змішування має тенденцію бути більш-менш випадковим і навряд чи безпосередньо сприяє сегрегації. У той же час, однак, дії, які призводять до конвективного змішування, загалом сприяють індивідуальному руху, який може спричинити сегрегацію. Через обмежену рухливість сегрегація зазвичай менш поширена в будівельних сухих сумішах, ніж у сипучих матеріалах. У той час як конвекція та дифузія доповнюють один одного в процесах змішування, вони зазвичай діють протилежно в сегрегації.

Сегрегація спричинена відмінностями в основних характеристиках частинок, які можна визначити за розміром, формою, складом і структурою. Що стосується сегрегації, структура – розподіл фаз в одній частинці – навряд чи спричинить відмінності в рухливості, і її, ймовірно, можна не враховувати. Розмір і форма частинок впливають на рухливість в основному через вплив на

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
37

опір руху, тоді як щільність (визначена складом частинок) швидше за все впливає на фактичний рух в результаті прикладених сил.

2.2.3.1 Сегрегація за розміром

Варіації рухливості окремих частинок залежно від розміру зазвичай призводять до сегрегації в шарі частинок, які піддаються вібрації або потоку. Однак форма результуючої сегрегації може сильно відрізнятись залежно від фактичних умов. Це призвело до кількох запропонованих механізмів, які насправді є різними проявами одного і того ж основного явища: здатності дрібних частинок легше проникати в шар, ніж більш грубий матеріал.

Накладена вібрація або зіткнення частинок-частинок у потоці спричиняють деяке розширення шару та збільшення рухливості частинок. Гравітаційні сили призводять до чистого руху вниз менших частинок, які можуть легко проходити через порожнечі в розширеному шарі. Цей простий механізм особливо важливий, коли дрібнодисперсний матеріал є другорядним компонентом суміші, і його зазвичай називають просіюванням. Сегрегація також може відбуватися за тим самим основним механізмом, незалежно від загального складу суміші. Якщо грубі частинки є меншістю – кожна з них оточена більш дрібними компонентами – їх здатність рухатися вгору обмежена лише вагою матеріалу, що лежить вище, тоді як рух вниз вимагає або ущільнення матеріалу внизу, або малоімовірної можливості зіткнутися з достатньо великою порожнечею. У той же час порожнеча, утворена висхідним рухом частинки, легко заповнюється просочуванням сусідніх дрібних частинок, що перешкоджає поверненню у вихідне положення. Кінцевим результатом є храповий рух більш грубих частинок. Цей ефект був описаний як сегрегація зміщення.

Сегрегація за розміром також широко спостерігається, коли частинки висипають на купу або заповнюють контейнер. Знову ж таки основний задіяний механізм полягає в різниці в здатності малих і великих частинок проникати через шар матеріалу, хоча результат виглядає зовсім іншим. На

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

38

Інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

Зм. Кіль Арк. №до Підп. Дата

відміну від вібраційного або змішаного шару, відвал по суті є статичним, при цьому потік відбувається лише в поверхневих шарах. Частинки течуть по поверхні, поки не потраплять у порожнечу на поверхні. Оскільки більш дрібний матеріал, швидше за все, зіткнеться з достатньо великими пустотами, результатом є те, що грубі частинки рухаються далі вниз по схилу та накопичуються навколо нижніх країв купи, залишаючи надлишок дрібних частинок у ядрі. Цей ефект часто називають рухомою сегрегацією.

Термін сегрегація по траєкторії використовувався для опису відділення грубих і дрібних часток, що викидаються з кінця жолоба або стрічки, що швидко рухається. Уповільнення бічного руху аеродинамічним опором більше для малих, ніж для великих частинок. Проекція частинок окремо призведе до сегрегації. На практиці, однак, матеріал зазвичай проектується як досить щільний, безперервний потік, що несе поруч із собою повітря. У результаті аеродинамічний опір діє на потік у цілому, а не на окремі частинки, таким чином мінімізуючи ефект сегрегації. Спостереження сегрегації в таких системах, ймовірно, можна віднести до існуючої сегрегації до проекції. Цей ефект був продемонстрований Аугенштайном. Суміші грубих і дрібних частинок, що вилітали з поверхонь жолоба, були зібрані в сітку для відбору проб для визначення розподілу горизонтального зміщення. Для гладких поверхонь жолоба діапазон переміщень виявився вузьким, що вказує на вузький діапазон швидкостей, і композиція була по суті однорідною. З іншого боку, коли поверхня була шорсткою, спостерігався набагато ширший діапазон зсувів і було виявлено прогресуюче збільшення концентрації грубих частинок зі зміщенням.

Ступінь поділу за розміром зазвичай обмежується міркуваннями об'єму. У випадку бінарної суміші можна очікувати, що сегрегація призведе до розвитку двох областей: одна, що складається в основному з основного компонента, а інша містить обидва компоненти за приблизно оптимальних умов упаковки.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
39

2.2.3.2 Сегрегація форми

Форма частинок також впливає на рухливість, тому відмінності є потенційною причиною сегрегації. Однак загально визнано, що поділ за формою стає суттєвим лише тоді, коли відмінності значні – гладкі сфери з неправильних частинок, лусочки або голки з приблизно ізометричних частинок.

2.2.3.3 Сегрегація внаслідок взаємодії частинок

За деяких обставин сили взаємодії, привабливі чи відразливі, можуть сприяти сегрегації. Селективна агломерація певних компонентів є очевидним прикладом і може відбуватися, якщо частинки одного компонента спеціально притягують частинки того ж типу або відштовхують інші види. Як правило, агломерація є найбільш поширеною серед дрібних, компонентів суміші. Селективна агломерація досить поширена в рідких суспензіях, але тісне утримання частинок у сухих або напівсухих порошках зазвичай не сприяє селективності. Більшість випадків поділу шляхом злипання дрібних компонентів, ймовірно, відображають неповне мікроперемішування через низьку рухливість частинок, а не спонтанний процес поділу.

Сегрегація через сили взаємодії можлива, коли сили є достатньо сильними або діють досить довго, щоб впливати на відносно великі рухливі частинки. Яскравим прикладом є магнітні частинки. Інші види сил можуть спричиняти подібні ефекти, як це спостерігав цей автор. Для дослідження змішування з використанням частинок, що відрізняються лише за кольором, вузьку ситову фракцію подрібненого доломіту пофарбували комерційним харчовим барвником. Спроби приготувати однорідні суміші цих частинок з фракцією того самого доломіту однакового розміру, але не пофарбованого, для використання в якості калібрувальних стандартів виявилися напрочуд невдалими. Навіть якщо обережним перемішуванням невеликих кількостей було отримано достатньо однорідну суміш, будь-яке незначне зрушення, постукування або струшування контейнера, призводило до негайного

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
40

видимого поділу. Очевидно, сили взаємодії, створені поверхневим покриттям, були достатніми, щоб викликати сегрегацію цих відносно грубих (~0,35 мм) частинок. У цьому конкретному дослідженні проблему вдалося обійти шляхом переходу на інший колір.

Процеси змішування та сегрегації

Змішування сипких порошків загалом можна розглядати як процес, який відбувається через певну комбінацію механізмів дифузії та конвекції, причому конвекція в основному відповідає за макрозмішування, тоді як інтимне мікрозмішування залежить від дифузії. Відносний внесок цих двох залежить головним чином від геометрії та умов роботи змішувального пристрою, але також може залежати від характеристик порошку.

2.2.4 Змішування в обертових циліндрах

Простий горизонтальний барабанний змішувач був широко вивчений. Для несегрегуючих порошків (однакового розміру, форми та щільності) було встановлено, що осьове змішування відбувається через, по суті, чисту дифузію, тоді як поперечне змішування відбувається переважно через конвекцію з накладеною дифузією. Шар порошку в горизонтальному циліндрі, що обертається, існує як дві досить різні області: «статична» область, в якій частинки обертаються без відносного руху, і «зона зсуву», де частинки стікають по вільній поверхні шару. Умови в зоні зсуву залежать від числа Фруда:

$$Fr = R\omega^2 / g,$$

де R - радіус циліндра,

ω - кутова швидкість,

g - прискорення сили тяжіння.

При низьких швидкостях обертання (числа Фруда менше приблизно 0,01) швидкості в зоні зсуву набагато вищі, ніж у статичній області, тому зона зсуву тонка, а вільна поверхня залишається по суті плоскою. Зі збільшенням

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |
| | | |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
41

швидкості швидкості в статичній області збільшуються відносно швидкості в зоні зсуву, які в основному визначаються силою тяжіння; зона збільшується в товщину і приймає характерну S-подібну форму. При подальшому збільшенні швидкості відбувається катарактізація, коли частинки викидаються з дна і слідує траєкторії вільного польоту, перш ніж знову увійти в дно. При критичній швидкості відцентрова сила, що діє на шар частинок, що примикає до оболонки, просто врівноважує силу тяжіння ($R\omega^2 = g$) і відбувається центрифугування. Критична швидкість ω визначається:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

і відповідає $Fr = 1$. За умов постійного потоку безперервність вимагає, щоб частинка, яка входить у зону зсуву в деякому осьовому місці, у середньому знову входила в ту саму поперечну площину. Міжчастинкові зіткнення під час потоку вниз по поверхні викликають випадкові бічні зміщення, які призводять до осьової дифузії. Конвекція в поперечній площині є насамперед результатом різниці в часі, необхідному частинкам у різних радіальних положеннях для завершення одного проходу через статичну область. Випадкове переміщення частинок під час потоку через зону зсуву забезпечує дифузійну складову.

Осьове змішування

Через відсутність будь-якого внеску конвекції осьове перемішування в простому барабані відбувається дуже повільно. Експериментальні значення коефіцієнта дифузії для частинок розміром близько 0,2 мм, що обертаються з відносно низькою швидкістю в циліндрах з діаметром в діапазоні 5-10 см, як правило, становлять приблизно 1 мм²/об.

Дослідами показано, що для простого циліндра, завантаженого впритул рівною кількістю двох, по суті, ідентичних компонентів, очікувану дисперсію зразка через неповне макрозмішування можна оцінити за формулою:

| | | |
|-------------|---------------|-----------|
| Л.інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | Арк. |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | | 42 |

$$\sigma^2 = \frac{2}{\pi^2} \exp\left(-\frac{2\pi^2 DN}{L^2}\right)$$

де D - коефіцієнт дифузії,

N - число обертів циліндра,

L - його довжина.

Використовуючи наведене вище значення D , це рівняння передбачає, що для зменшення дисперсії від початкового значення 0,25 до 0,0025 для циліндра довжиною 100 см буде потрібно більше 200 обертів. Цей необхідний час буде збільшуватися з квадратом довжини змішувача.

Експериментальні дослідження Рао показали, що коефіцієнт дифузії зазвичай зменшується зі збільшенням наповнення циліндра та збільшенням розміру частинок і збільшується зі збільшенням швидкості обертання. Більш високі коефіцієнти дифузії при низьких рівнях заповнення пояснювали збільшенням кількості проходів через зону зсуву за один оберт, що частково компенсувалося відповідним зменшенням довжини шляху в зоні. Вважалося, що ефект розміру частинок є результатом вищих швидкостей у зоні зсуву через вищий динамічний кут природного укусу, що спостерігається для більш дрібних частинок. Збільшення зі швидкістю, навіть на основі кожного оберту, також пояснюється збільшенням динамічного кута природного укусу. Приблизний аналіз, представлений Рао, припускає, що коефіцієнт дифузії (на оберт) повинен збільшуватися з квадратом діаметра циліндра d для тієї самої швидкості обертання. Це також буде відповідати моделям, які використовуються для опису осьового транспорту через горизонтальні циліндри. Для умов динамічної подібності (постійне число Фруда) коефіцієнт дифузії (за час) повинен змінюватися з $d^{3/2}$. На жаль, систематичних досліджень зв'язку між осьовою дифузиею та діаметром циліндра, здається, не проводилося.

Було показано, що додавання допоміжних засобів для змішування у формі відносно великих куль (зазвичай пластикових або гумових) значно

підвищує швидкість осьового змішування. Савахата, Чаудхурі та Ферстенау виявили, що коефіцієнт осьової дифузії збільшився приблизно в 3 рази для добавок, що сприяють змішуванню, що становили приблизно 10% об'єму змішувача, але став постійним після подальшого додавання. Shoji та ін. пояснював вирівнювання сегрегацією куль у центральній частині циліндра та відповідно високими темпами дифузії в цій області. У міру подальшого збільшення наповнення куль їх концентрація в центральній області ставала більш-менш постійною, а розподіл по циліндру ставав більш рівномірним. Коли концентрація кульок стала фактично рівномірною по довжині циліндра, подальше додавання кульок знову призвело до посиленої дифузії частинок до стану, коли об'єму частинок було достатньо для заповнення пустот у шарі кульок. Абуз'ед і Ферстенау продемонстрували, що наявність допоміжних засобів для змішування призвела до істотного зменшення сегрегації розмірів частинок у обертовому барабані.

Поперечне змішування

Процес конвекції, який домінує над змішуванням у поперечній площині обертового циліндра, є результатом різних швидкостей, з якими частинки в різних радіальних розташуваннях циркулюють у шарі частинок. Як показано на рисунку 1.14, частинка на радіальній відстані r від центру циліндра рухається під кутом 2θ під час кожного проходу через статичну область. Для циліндра, що обертається з кутовою швидкістю ω , час проходження статичної області дорівнює $2\theta/\omega$. Якщо заповнення циліндра порошком менше 50%, то кут і час циркуляції зменшуються зі зменшенням радіальної відстані від центру. Таким чином, частинки, близькі до центру, обертаються кілька разів за час, необхідний для одноразової циркуляції частинки, що прилягає до оболонки.

Результатом різниці в часі циркуляції є те, що частинки в шарі зазнають прогресивного кутового зміщення, що призводить до перетворення

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
44

початкового розміщення двох компонентів пліч-о-пліч у ряд спіральних смуг, як показано на рисунку 1.15. Шаблон показано на малюнку, було визначено з використанням припущення, що частинки, які входять у зону зсуву у верхній частині вільної поверхні, миттєво знову з'являються в тому ж радіальному положенні на нижній частині, тобто час, проведений у зоні зсуву, є незначним. Модифікація розрахунків шляхом дозволу кінцевого часу для проходження через зону зсуву призводить до уповільнення розвитку візерунка, але лише до незначних змін у його формі.

Коли заповнення циліндра наближається до 50%, різниця в часі циркуляції зменшується до тих пір, поки, в ідеалі, рівно на 50% вільна поверхня не пройде через центр обертання, час проходження через статичну область стане однаковим для всіх радіальних місць і не відбувається конвективного змішування. Час, необхідний для проходження частинок через зону зсуву, може фактично сприяти процесу змішування в цьому випадку. Через більшу відстань частинкам, які потрапляють у зону поблизу стінки циліндра, потрібен більший час, ніж частинкам поблизу центру. Цей ефект знову призводить до кутового зміщення частинок у різних радіальних положеннях, у результаті чого утворюється спіральний візерунок, подібний до зображеного на рисунку 1.15, але для формування потрібно значно більше часу.

Зображення, показані на рисунку 1.15, є результатом лише конвекції. На практиці випадковий обмін між частинками в різних шарах під час їх проходження

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----------------------------|-------|------|--|--|--|------------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 45 |
| | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | | | | |

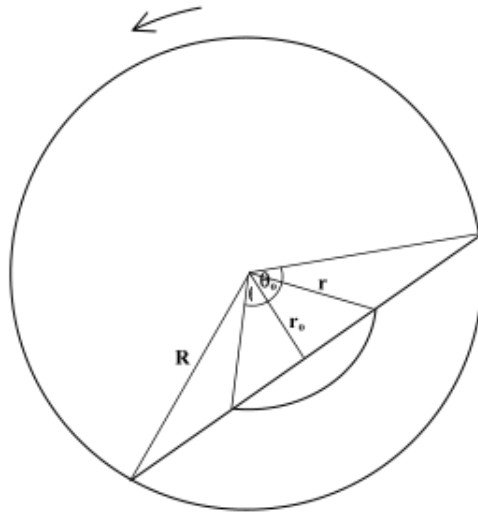


Рисунок 1.14. Геометричне розташування, що використовується при аналізі конвективного перемішування в поперечній площині обертового циліндра.

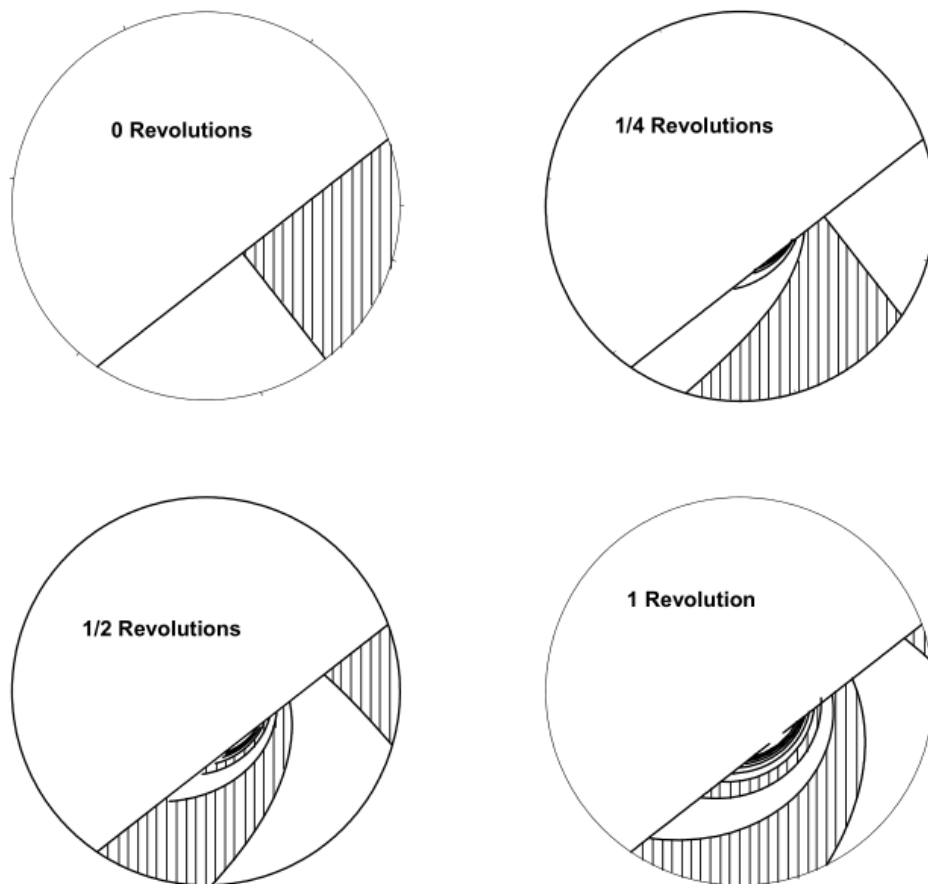


Рисунок 1.15. Схематичне зображення поперечного перемішування в горизонтальному обертовому циліндрі при 30% заповненні

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Лнв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

через зону зсуву (дифузія) викликає розмитість меж і швидке наближення до повного перемішування. Хогг і Форстенау представили спрощену модель загального процесу, розглядаючи компонент дифузії як еквівалент простої дифузії між альтернативними смугами, створеними конвекцією. Нещодавно аналіз було розширено, щоб включити опис фактичного процесу змішування в зоні зсуву. Инозав і Калман представили модель, яка включала неявне припущення про ідеальне змішування в зоні зсуву, що по суті еквівалентно обробці Дестера, який припустив, що частинки, які потрапляють у зону зсуву, перерозподіляються випадковим чином, коли вони повертаються в обертовий шар. Калман та інші розробили спрощену модель потоку в зоні зсуву та описали змішування в зоні як процес дифузії між шарами. Їхні результати свідчать про те, що частинки не повністю змішуються в зоні зсуву, і що опис процесу дифузії є відповідним. Кожна з моделей якісно узгоджується з експериментальними спостереженнями, але через велику кількість наближень і проблему отримання точних вимірювань важко отримати кількісні порівняння.

2.2.5 Сегрегація в обертових циліндрах

Як осьова, так і поперечна сегрегація зазвичай спостерігаються в системах обертових циліндрів. Поперечна сегрегація зазвичай протікає швидко і, здається, є необхідним попередником осьової сегрегації.

Поперечна сегрегація

Сегрегація частинок у поперечній площині горизонтального обертового циліндра відбувається під час протікання через зону зсуву. Спостерігається поділ за розміром, щільністю та формою. Розподіл за розміром є результатом відмінностей у опорі потоку. Великі частинки легко течуть по поверхні, але зустрічають значний опір проникненню в шар текучого матеріалу. Для більш

| | | | | | | | |
|-------------|---------------|-----------|-----|-------|------|----|------|
| Л.інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | Арк. |
| | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк. | №до | Підп. | Дата | 47 | |

дрібних частинок, з іншого боку, ефекти захоплення обмежують їх здатність текти по поверхні, але вони здатні проникати в порожнечі в шарі та крізь них. Поєднання цих двох механізмів призводить до накопичення більш грубих компонентів навколо периферії обертового матеріалу та концентрації дрібних частинок у центральному ядрі. Розділення за формою також може відбуватися через відмінності в опорі течії. Знову ж таки, можна очікувати, що частинки, які виявляють більший опір, будуть накопичуватися в центральному ядрі, але експериментальні дані в цій області дійсно дуже обмежені. У разі сегрегації за щільністю більша сила тяжіння, що діє на щільніші частинки, спричиняє зміщення відносного руху, що призводить до накопичення цих частинок у центральному ядрі. Ефект щільності може бути посилений при високих швидкостях обертання, коли зона зсуву стає частково псевдозрідженою.

Поперечна сегрегація відбувається швидко, наближаючись до стаціонарного стану за кілька обертів циліндра. На практиці, однак, зміни в розподілі частинок по поперечній площині можуть тривати протягом значно довшого часу через ефекти одночасної, але набагато повільнішої осьової сегрегації. Здається, що гранична схема сегрегації є відносно незалежною від швидкості обертання та об'ємного наповнення циліндра, за винятком випадків, коли існує «мертва зона» для наповнення більше 50%. Деяке послаблення сегрегації можна очікувати при вищих швидкостях обертання через посилене дифузійне змішування. Розподіл порошку за розміром, очевидно, є важливим фактором. Більшість досліджень у цій галузі було проведено на простих бінарних сумішах і показало, що навіть різниця у розмірі всього на 20% може спричинити сегрегацію. Для таких невеликих відмінностей концепція перколяції виглядає невідповідною. Тим не менш, відмінності в опорі руху, зазначені вище, все ще діють і призводять до сегрегації. Як і слід було очікувати, більша різниця в розмірах сприяє швидшій сегрегації.

Осьова сегрегація

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|-----|
| Арк |
| 48 |

Зазвичай спостерігається поділ різнорідних компонентів у вигляді чергуються смуг уздовж осі циліндра. Виявляється, що процес є наслідком осьового транспорту частинок, спричиненого невеликими коливаннями нахилу шару, що обертається, через тертя об торцеві стінки та різницю у внутрішньому терті суміші. Осьовий транспорт внаслідок кінцевого ефекту проілюстровано на рис. 4, яка схематично показує очікувані траєкторії частинок з різних місць у шарі, коли вони проходять через зону зсуву. Вигнуті шляхи є результатом руху в напрямку найкрутішого схилу та оцінюються за допомогою модифікації моделей, розроблених для безперервного потоку через обертові циліндри. Як і очікувалося, частинки, що походять із зовнішньої оболонки циліндра, піддаються більшому осьовому зсуву, ніж ті, що знаходяться ближче до центру шару. Оскільки кожна з показаних траєкторій повертається до свого початкового осьового положення, ці оцінки, засновані на незалежності окремих шляхів, передбачають відсутність чистого осьового зміщення. Однак малюнок також показує, що, особливо для зовнішніх шарів, шляхи частинок, починаючи з різних відстаней від торцевої стінки, збігаються під час проходження через зону зсуву. Отже, очевидно, що шляхи окремих частинок насправді не можуть бути незалежними, але все ж має існувати тенденція до накопичення цих частинок у цьому осьовому місці. Щоб підтримувати рівномірне навантаження частинок уздовж циліндра, міграція матеріалу з цієї області має відбуватися з усіх шарів у зоні зсуву. Оскільки відбувається менше поповнення у внутрішніх шарах, результатом є зменшення відносної кількості цього матеріалу. Якщо поперечна сегрегація призвела до концентрації дрібніших (або важчих) частинок у центральному ядрі та більш грубого (або легшого) матеріалу у зовнішніх шарах, чистий ефект описаного вище осьового транспорту полягає у формуванні смуги, збагаченої зовнішнє виділення матеріалу близько до торцевої стінки, але трохи віддалене від неї, з відповідними ділянками виснаження з обох сторін.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
49

Осьові зміни в складі суміші через кінцеві ефекти або навіть випадкові коливання можуть призвести до відповідних змін у нахилі обертового заряду та подальшої осьової міграції за механізмами, подібними до описаних вище, та утворення чергуються смуг уздовж довжини циліндр.

Зрозуміло, що механізми осьової сегрегації складні, і описані тут конвективні процеси можуть представляти лише частину картини. Можна очікувати, що індивідуальна рухливість частинок буде змінюватися залежно від розміру та форми і, можливо, від щільності. Звідси випливає, що дифузія повинна бути так само змінною і може або сприяти, або протидіяти сегрегації. У випадку сегрегації через варіації нахилу дна, Севідж показав, що як міграційна конвекція, так і потоки випадкової дифузії можуть бути приблизно пропорційні градієнту концентрації. Математично цей процес можна було б представити простим рівнянням дифузії з ефективним коефіцієнтом дифузії, заданим різницею між внеском від конвекції та справжньої дифузії. За деяких обставин це може призвести до негативного ефективного коефіцієнта дифузії, що означає, що процес призведе до посилення, а не до зменшення градієнтів концентрації, тобто до сегрегації. Моделювання процесу за допомогою клітинного автомата показало, що комбінації випадкового (дифузія) і зміщеного (конвекція) взаємообміну частинок у спочатку однорідній суміші дійсно можуть призвести до утворення смуг і демонструвати види нестабільності, які спостерігаються в реальних системах.

Було припущено, що утворення смуги від кінців циліндра може бути результатом статистичних коливань глибини або нахилу дна. Однак здається малоімовірним, що такі збурення будуть мати достатню величину та стійкість, щоб викликати значну осьову сегрегацію. Поширення збурень від торцевих стінок пропонує більш реалістичне пояснення.

| | | |
|-------------|---------------|-----------|
| Л.інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-------------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
50

2.2.6 Змішування в Simple Flow

І змішування, і сегрегація в порошках зазвичай сприяють потоку матеріалу. Потік у порошках можна вважати одним із двох основних типів: швидкий потік, як у зоні зсуву обертового циліндра або при формуванні купи, і повільний потік, як у внутрішньому русі під час повільного вивантаження бункера. Повільний потік, здається, характеризується зсувом у певних площинах ковзання між статичними шарами порошку. У швидкій течії, з іншого боку, процес включає існування безперервного градієнта швидкості, подібного до потоку в'язкої рідини.

Потік через похилу поверхню, таку як жолоб, є простим прикладом швидкої течії. Якщо поверхня гладка, рух відбувається шляхом ковзання, а зсув у порошку незначний або відсутній. Оскільки за таких умов відносний рух окремих частинок невеликий, ефекти змішування мінімальні. Однак, якщо поверхня шорстка, дорівнює або перевищує поверхню самого шару порошку, у порошку відбувається зсув і виникає рідинний потік, звичайно, за умови, що нахил поверхні перевищує кут тертя між порошок і поверхню. Зіткнення між частинками внаслідок зсуву створюють рушійну силу для дифузійного змішування. Якщо дифузія сприяє зсуву, розумно очікувати, що швидкості повинні зростати зі збільшенням швидкості зсуву. Було запропоновано просте лінійне співвідношення у формі:

$$D = D_0 \left(1 + \alpha \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

де D – коефіцієнт дифузії,

$\partial v / \partial y$ – градієнт швидкості, перпендикулярний напрямку потоку,

D_0 і α – константи.

Були проведені експерименти, щоб оцінити змішування піску з гранатовим порошком як індикатором, який спочатку подавався у вигляді окремих шарів, один на інший, на поверхню похилого жолоба, поверхня якого була шорстка за допомогою прикріпленого шару того самого піску.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

51

3 ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СПІРАЛЬНО-ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА

3.1 Опис конструктивної схеми запропонованого спірально-лопатевого змішувача

На підставі розгляду існуючих конструкцій змішувачів, проведеного в першому розділі, був запропонований тихохідний змішувач. Схема цього змішувача наведена на рисунку 3.1.

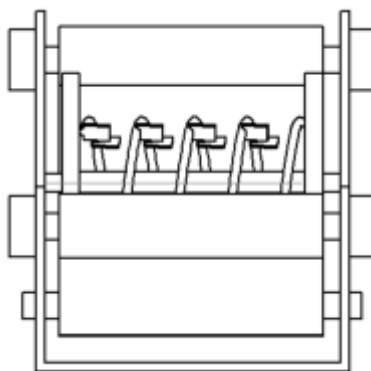


Рисунок 3.1 – Схема спірально-лопатевого змішувача сухих сумішей

Він містить робочу ємність, яка утворена укріпленими на горизонтальному валу дисками, що обгинає їх, а також натяжних і приводних роликів нескінченною стрічкою. Змішувальні лопаті встановлені на спіральній стрічці, пов'язаної з дисками і співвісною їм. Основна роль в придушенні сегрегації в даному апараті належить додатковим внутрішнім робочим органам – лопатям, встановленим на спіральній стрічці. При роботі змішувача лопаті проходять через застійну область, що локалізується навколо центру циркуляції, і переміщують з неї матеріал в область активного змішування (обвалення).

Таким чином, лопаті руйнують застійну ділянку. При цьому інтенсифікується процес змішування, підвищується однорідність одержуваної суміші. Даний апарат тихохідний і не має швидкозношуваних елементів. Слід

| | | |
|-------------|---------------|-----------|
| Л.інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-------------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

також зазначити, що відкрита конструкція змішувача забезпечує простоту здійснення розподіленої подачі компонентів і відсутність значних коливань концентрації ключового компонента в осьовому напрямку, що дозволяє зосередити дослідження на вивченні поведінки суміші в поперечному перерізі апарату.

3.2 Обґрунтування параметрів спіральньо-лопатевого змішувача

3.2.1 *Визначення енергетичних параметрів роботи змішувача*

Як показав огляд літератури, змішувати сухі будівельні суміші може бути ефективніше в барабанних змішувачах безперервної дії, що принципово відрізняються від інших змішувальних агрегатів. По-перше, на відміну від установок періодичної дії з одноразовим завантаженням вихідних компонентів, у безперервно діючих змішувачах процеси завантаження всіх компонентів, змішування та вивантаження відбуваються безперервно в єдиному потоці і необхідна однорідність суміші досягається за час одного проходу компонентів через робочу порожнину змішувача. Вони є найбільш економними та ефективними. По-друге, принциповою відмінністю барабанних змішувачів є специфіка руху компонентів всередині змішувальної камери, вони мають здатність згладжувати флуктуації миттєвих витрат вхідних потоків за рахунок спрямованої організації руху їх всередині апарату. А також барабанні змішувачі володіють простою конструкцією, надійністю в експлуатації, меншими матеріаломісткістю та енерговитратами.

Рух компонентів суміші в барабанному змішувачі визначається в основному силами тертя та відцентровими силами. Під дією цих сил виникає два основних потоки: переміщення та перемішування компонентів у площині обертання та вздовж осі барабана. Враховуючи специфічні властивості сухих сумішей, доцільно для збільшення продуктивності процесу змішування та

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
53

запобігання утворенню грудок одержуваної суміші встановлювати на внутрішній поверхні барабана лопаті, що дозволяють пошарово руйнувати загальний потік сухих сумішей та сприяє більш ефективному перебігу процесу змішування.

Однак наявність лопатей всередині барабана істотно впливає на характер руху частинок, що змішуються всередині змішувальної камери і розподіл сил, що діють на частинки матеріалу в обертовому барабані. Тому виникає необхідність теоретичного обґрунтування основних конструктивних та технологічних параметрів спірально-лопатевого змішувача.

Для визначення основних конструктивних параметрів спірально-лопатевого змішувача розглянемо схему впливу сил на частинку, що знаходиться на лопаті (рисунок 3.1). При цьому у вигляді припущення приймемо, що потік всередині камери, що змішує, однорідний за складом і подача його в змішувач при встановленому режимі роботи є рівномірними.

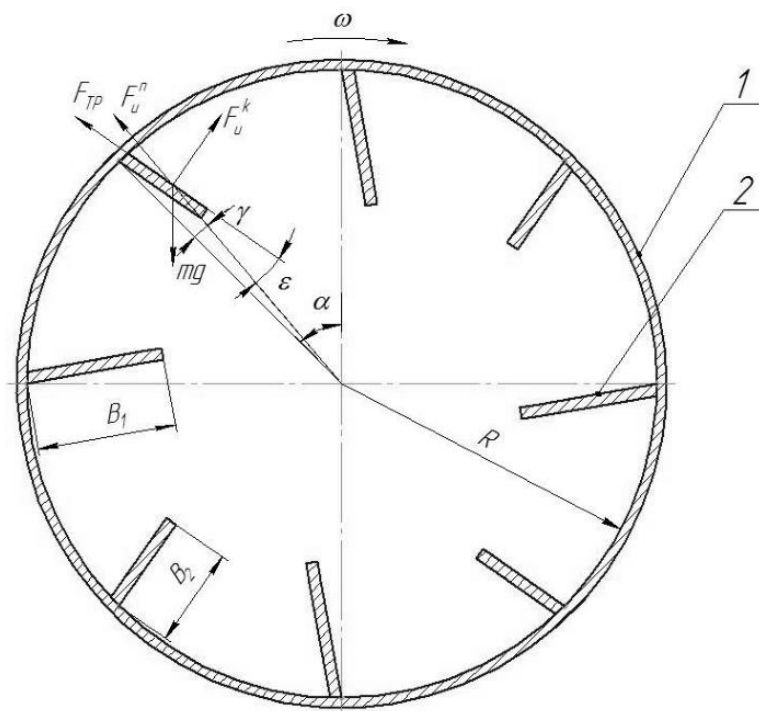


Рисунок 3.1 – Дія сил у спірально-лопатевому змішувачі.

1 – барабан, 2 – лопаті.

Конструктивний кут ϵ , що залежить від кута нахилу лопаті, отримаємо:

$$\varepsilon = \operatorname{arctg} \frac{g(\sin \alpha - f \cos \alpha) - f \omega^2 R}{\omega^2 R - g(\cos \alpha - f \sin \alpha)}$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

R – радіус барабана, м;

f – коефіцієнт тертя;

α – кут відриву, град;

ω – кутова швидкість барабана, рад/с.

З даного рівняння випливає, що величина кута залежить від коефіцієнта тертя суміші про лопатку f , радіуса барабана R , кутової швидкості обертання ω і кута відриву α . Для визначення необхідної ширини лопаті b та відносної швидкості руху V скористаємося диференціальним рівнянням руху частинки суміші по лопаті. Перетворюючи це рівняння, отримаємо неоднорідне лінійне диференціальне рівняння другого порядку:

$$\ddot{x} - 2f\omega \cdot \dot{x} - \omega^2 \cdot x = g \cos(\alpha + \varepsilon) - fg \sin(\alpha + \varepsilon) - \omega^2 R(\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)$$

де \ddot{x} , \dot{x} , x – відповідно прискорення, швидкість та величина переміщення частки по лопаті.

Загальне рішення диференціального рівняння має вигляд:

$$x = x_1 + x_2 = C_1 e^{\theta_1 t} + C_2 e^{\theta_2 t} - \frac{g \sin \varepsilon}{2\omega^2} \sin \omega t - \frac{g \cos \varepsilon}{2\omega^2} \cos \omega t + R(\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)$$

Постійні коефіцієнти 1 і 2 в рівнянні визначаються з умови, коли в початковий момент часу t дорівнює нулю, а, отже, переміщення частинок по лопаті та їх відносна швидкість також рівні нулю. Тоді отримаємо:

$$C_1 = \frac{g \cos \varepsilon (2\omega - \theta_2) + 2\omega^2 R \theta_2 (\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)}{2\omega^2 (\theta_1 - \theta_2)};$$

$$C_2 = \frac{g \cos \varepsilon (\theta_1 - 2\omega) - 2\omega^2 R \theta_1 (\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)}{2\omega^2 (\theta_1 - \theta_2)}.$$

Прирівнюючи час t отриманому рівнянню рівним часу повороту лопаті до моменту повного сходу частинок суміші, визначимо необхідну ширину лопаті.

$$b = \left[\frac{g \cos \varepsilon (2\omega - \theta_2) + 2\omega^2 R \theta_2 (\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)}{2\omega^2 (\theta_1 - \theta_2)} \right] e^{\theta_1 t} +$$

$$+ \left[\frac{g \cos \varepsilon (\theta_1 - 2\omega) - 2\omega^2 R \theta_1 (\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)}{2\omega^2 (\theta_1 - \theta_2)} \right] e^{\theta_2 t} -$$

$$- \frac{g \sin \varepsilon}{2\omega^2} \sin \omega t - \frac{g \cos \varepsilon}{2\omega^2} \cos \omega t + R(\cos \varepsilon + f \sin \varepsilon)$$

Довжина барабана.

Якість змішування сухої суміші визначається кількістю пересипань (перемішування) m компонентів суміші в змішувачі в міру їх просування в його поздовжньому напрямку. Показник m визначається експериментально, при цьому враховуються: висота підйому, швидкість падіння, ступінь подрібнення маси та ін. Знаючи кількість циклів m і величину переміщення за один цикл, визначимо довжину барабана:

$$L = k_2 m l_i = k_2 m \operatorname{tg} \delta (R - b/2) [1 + \sin(2\varphi - 90)], \text{ м}$$

Після чого неважко знайти і кількість обертів барабана, необхідну для отримання якісної сухої суміші:

$$n = \frac{m}{m_1} = \frac{m(\varphi + 62,35 \sin \varphi)}{180}$$

Розрахунок витрат енергії на змішування сухої суміші.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|------|-----|-----|-------|----------------------|------|
| Лнв.№ ор. | Піппіс і лата | Зам.інв.№ | | | | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | Арк. |
| | | | | | | | | | 56 |
| | | | Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | |

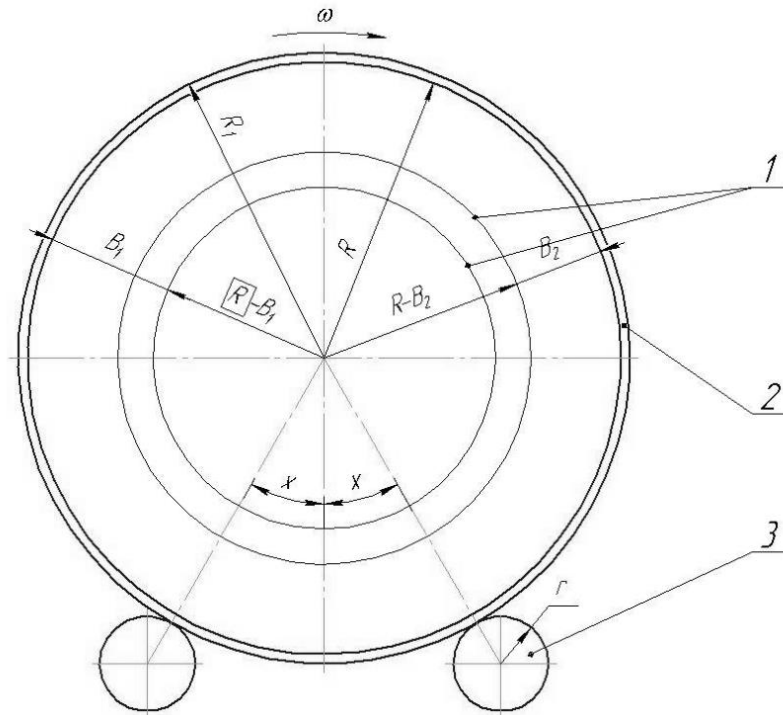


Рисунок 3.2 – До визначення потужності спірально-лопатевого змішувача.

1 – барабан; 2 – бандаж; 3 – опорний ролик.

Потужність, яка споживається спірально-лопатевим змішувачем, витрачається на здійснення наступних робіт: подолання тертя кочення бандажів барабана по роликах, тертя ковзання цапфовоопорних роликів у підшипниках, на підйом змішуваних компонентів, надання їм кінетичної енергії, тобто. сумарний вираз виконаних робіт після перетворення буде:

$$A_{\text{общ}} = \frac{(R_1 + r)k}{r} \cdot \frac{G_6 + G_c}{\cos \chi} + \frac{f(R_1 \cdot r_1)}{r} \cdot \frac{G_6 + G_c}{\cos \chi} +$$

$$+ G_c (R - b/2)[1 + \sin(2\varphi - 90)] +$$

$$+ \frac{G_c (R - b/2)[\cos \alpha (\cos \varepsilon - f \sin \varepsilon) - \sin \alpha (\sin \varepsilon + f \cos \varepsilon)]}{2(f \sin \varepsilon - \cos \varepsilon)}$$

де R_1 – радіус бандажу, м;

r – радіус ролика, м;

k – коефіцієнт тертя кочення, м;

G_6 – сила ваги барабанів, Н;

G_c – сила ваги матеріалу, Н;

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

57

Інв.№ ор.

Підпис і дата

Зам.інв.№

Зм. Кіль Арк. № до Підп. Дата

χ – кут між вертикальною віссю барабанів та лінією центрів барабана та ролика;

r_1 – радіус цапфи, м;

f – коефіцієнт тертя ковзання цапф роликів.

h – висота підйому частинок суміші від точки відриву їх до точки падіння;

R – радіус барабана, м;

b – ширина лопаті, м;

φ – кут обвалення матеріалу.

Виконавши приведення подібних членів рівняння і помноживши його на величину n , отримаємо вираз потужності:

$$N = \frac{n}{\eta} \frac{G_o + G_c}{r \cdot \cos \chi} [k(R_1 + r) + f(R_1 \cdot r_1)] + G_c (R - b/2) \cdot \left\{ [1 + \sin(2\varphi - 90)] + \frac{\cos \alpha (\cos \varepsilon - f \sin \varepsilon) - \sin \alpha (\sin \varepsilon + f \cos \varepsilon)}{2(f \sin \varepsilon - \cos \varepsilon)} \right\},$$

де n – частота обертання барабана, про/с;

η – коефіцієнт корисної дії приводу змішувача.

Аналіз цих виразів показує, що найбільший вплив на потужність N мають такі параметри, як радіус барабана R , його довжина L , ширина лопаті b , щільність сухої будівельної суміші, частота обертання n і фізико-механічні властивості сухої будівельної суміші, такі як кут обвалення φ та коефіцієнт тертя f , які є функцією від розмірів частинок суміші, вологості тощо.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|-----------------------------|--|--|------------|
| Лнв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 58 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | |

3.2.2 Аналітичні характеристики взаємодії сипкого середовища з барабаном та внутрішніми лопатями

Розглянемо процес взаємодії лопатевого барабана з матеріалом, що працює в режимі періодичного змішування.

При обертанні ємності барабанного змішувача з кутовою швидкістю ω , матеріал захоплюється лопатями, піднімається на деяку висоту, яка відповідає центральному куту φ_n , після чого починається сходження частинок матеріалу з лопаті під дією сил гравітації усередині ємності. Зміщення вершини насипу від осі обертання як вправо, так і вліво зменшуватиме ступінь заповнення ємності, що зменшить об'єм суміші і відповідно продуктивність змішувача. З іншого боку, зміщення вершини об'єму вліво призведе до переміщення центру ваги насипу так само вліво, а це створить негативний момент, який перешкоджатиме обертанню барабана. З цієї причини зміщення вершини вправо знижує енергоємність сумішоутворення через зміщення напрямку сили тяжіння насипу обертання барабана. При підйомі матеріалу лопатями, частина матеріалу, що не захопилася під час обертання, залишиться зліва біля основи насипу. Матеріал, що обертається з барабаном, буде притискатися до ємності барабану з діаметром D і підніматися при його обертанні. Лопаті сприятимуть утриманню матеріалу на барабані. Досягнувши деякого кута φ , частина часток матеріалу буде відриватися від порцій матеріалу у кромки лопатей шириною S , і продовжить рух вже за законами гравітації. Досягнувши деякого кута, будуть відриватися вже частинки біля стінки ємності барабана радіусом $R = D/2$. Визначивши ці кути знайдемо кращу зону розвантаження лопатей барабана.

Частинки, що впали на поверхню насипу частково ковзатимуть по її поверхні вниз, а також, спільно з іншими частинками насипу, захопляться обертальний рух насипу при обертанні барабана по деякій спіралі. Опинившись з відривом від стінки ємності менше S , частинки захоплюються обертання барабана і наступний новий політ під впливом гравітації. Тим

Інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
59

самим здійснюється циркуляція частинок матеріалу в поперечній площині барабана, що забезпечує їх перемішування та усереднення за цим перерізом.

При нахилі осі обертання барабана від горизонталі на кут α матеріал зміщуватиметься вздовж барабана в напрямку донної його частини. Тим самим утворюється насип у поздовжній площині. В результаті матеріал біля днища барабана практично не перемішується. У міру накопичення матеріал частково зміщується під ухил насипу, сприяючи усередненню складу в об'ємі суміші. Зменшення кута встановлення барабана до 0° покращується усереднення частинок у поперечному перерізі, проте погіршує зміщення частинок уздовж барабана. Ступінь заповнення ємності буде малим через загрозу передчасного вивантаження матеріалу. Зростання кута установки барабана α до 90° погіршує усереднення частинок у поперечному перерізі, проте підвищує зміщення частинок уздовж барабана до тих пір, поки днище не утворюється застійна зона. Ступінь заповнення ємності можливий до максимуму. Для усунення зазначених проблем практика виробила форму барабана, у якого з обох боків розміщені урізані конуси.

Розглянемо декілька варіантів руху матеріалу всередині барабану.

Варіант 1. У разі обертання барабана з частотою граничного значення можливе захоплення матеріалу барабаном і спільне їх обертання при дії відцентрових сил і ваги (рисунок 3.3).

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----------------------------|-------|------|--|--|--|------------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 60 |
| | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | | | | |

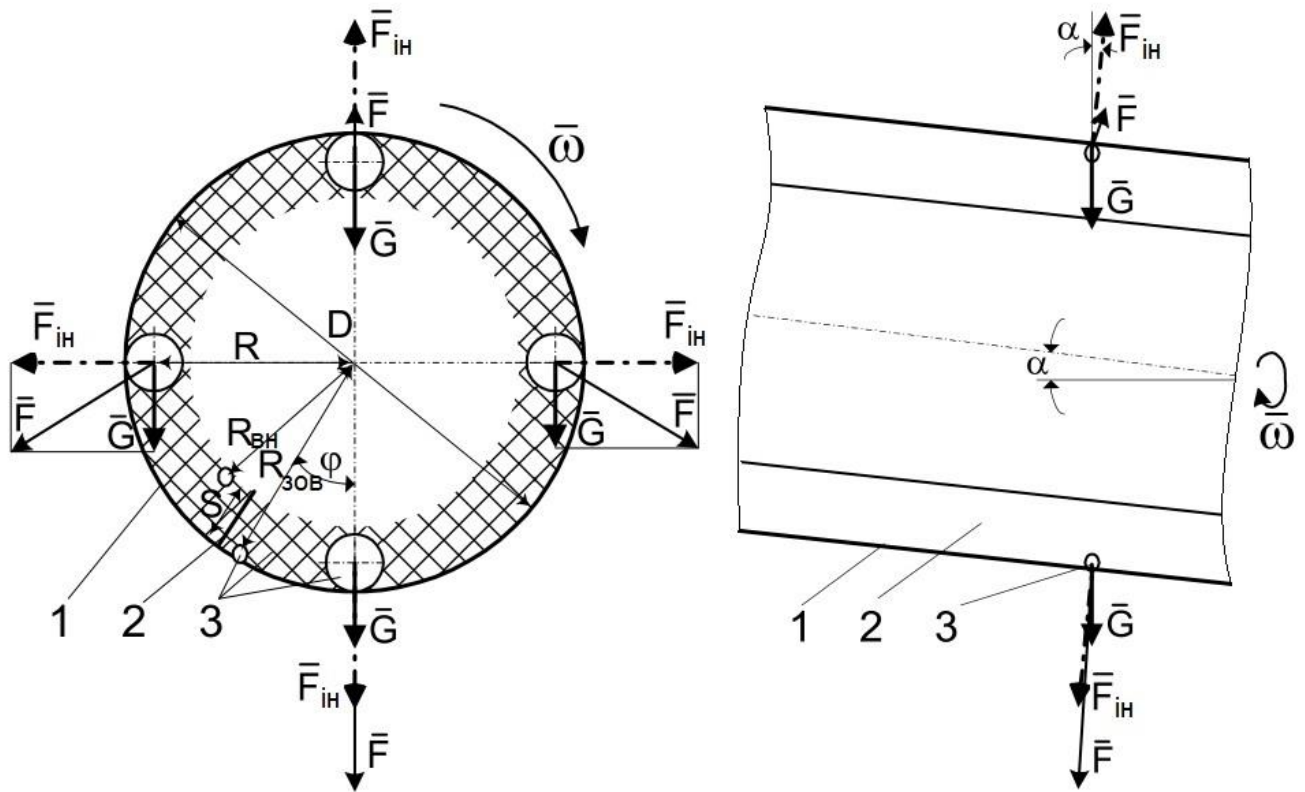


Рисунок 3.3 – Схема сил, що діють на частинки кільця матеріалу, що обертається:
 1 – барабан, що обертається; 2 – лопать; 3 – частинки обертового кільця матеріалу

Проекції прискорення, що діють на частинки, запишуться, м/с²

$$a_x = R \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha$$

$$a_y = g + R \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha$$

де R - радіус розташування частинки щодо осі обертання барабана, м;

ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с.;

α – кут нахилу осі обертання барабана;

φ – кут розташування частинки (чи лопаті) щодо нижньої точки барабана.

Критичний кут підйому частки:

$$\varphi_{KP} = \arccos \frac{g}{R \cdot \omega \cdot \cos \alpha}.$$

Критична кутова швидкість обертання барабана:

$$\omega_{KP} = \sqrt{\frac{g}{R \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{2g}{D \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}}$$

де D – внутрішній діаметр барабана, м.

Критична частота обертання барабана:

$$n_{KP} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{D \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}}$$

Робочу частоту обертання можна приймати з коефіцієнтом 0,4...0,5 від критичного значення.

Чим більший радіус розташування частинки, тим менша критична частота обертання. Тобто, у більшому барабані, що обертається з тією ж кутовою швидкістю, що і менший, виникає велика відцентрова сила. В результаті врівноваження сил відбувається за меншої частоти обертання. Тим самим можливий перехідний момент, коли частинки, що розташовані біля стінок барабана, притискаються до стінок, а частинки, розташовані біля вершини лопатей, будуть пересипатися, беручи участь у процесі змішування.

Отже матимемо наступні варіанти:

1. частки обертаються разом з барабаном:

$$n_{KP} < \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{-2g}{D \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}} ;$$

2. частки зсипаються з лопаті, беручи участь у перемішуванні:

$$n_{KP} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{-2g}{D \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}} .$$

Найбільший кут нахилу осі обертання барабана.

$$\alpha_{KP} = \arccos \frac{-2g}{D \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi} .$$

На основі рівності часу польоту частинок у проекціях по осях X і Y , і з урахуванням їх різниці, що дорівнює нулю, числовим моделюванням можна визначити кут сходу частинок (відриву від моноліту матеріалу у лопаті або ємності) при відомих параметрах:

$$\frac{\omega R \sin \varphi + \sqrt{(\omega R \sin \varphi)^2 - 2g(R \cos \varphi + Y)}}{g \cos(\quad)} - \frac{R \sin \varphi + X}{\omega R \cos \varphi} = 0,$$

де X і Y координати кінцевих точок польоту частинок щодо осі обертання.

Кут φ за якого відбувається відрив частки в т.С визначається як окремий випадок руху часки суміші вздовж поверхні барабана.

У разі розташування частинок матеріалу на поверхні радіальної лопаті барабана на частинки додатково діють сили тертя частинок матеріалу по лопаті $F_{\text{ТЕР}}$. При цьому радіальна лопать може бути встановлена вздовж осі обертання, так і повернена на певний кут β . Використовуючи рухому систему координат, спрямуємо осі координат наступним чином (рисунок 3.4):

- вісь X – вздовж лопаті та вздовж осі обертання барабана;
- вісь Y – перпендикулярно до лопаті;
- вісь Z – перпендикулярно до осі обертання барабана та вздовж лопаті.

Для визначення сили тертя необхідно знайти нормальну проекцію рівнодіючої сили ваги та відцентрової сили (рисунок 3.5). Відцентрова сила діє вздовж лопаті. Тоді нормальна проекція чинних сил визначиться:

$$N = G \sin \varphi \cos(\alpha + \beta).$$

Звідси сила тертя:

$$F_{\text{ТЕР}} = f \cdot N = f \cdot G \sin \varphi \cos(\alpha + \beta).$$

Сила тертя спрямована назустріч швидкості руху.

Знайдемо проекції прикладених зусиль на площину лопаті. Проекцією відцентрової сили на лопату є відцентрова сила – F_C . Проекція сили ваги визначиться як $G \sin \alpha \sin \varphi$. Тоді, проекція на вісь X складає: $G \sin \varphi$, а проекція на вісь Z складає: $G \sin \alpha$.

Рівнодійна проекцій сил на лопать може бути визначена як сума сил:

$$F_C, G \sin \varphi, G \sin \alpha, F_{\text{ТЕР}}.$$

Відповідно, проекції на лопать ваги та відцентрової сили на вісі координат складуть:

$$F_z = F_C + G \sin \varphi; F_x = G \sin \alpha$$

Кут проекції на горизонтальну площину сили ваги щодо радіусу, розташованого вздовж лопаті через частку матеріалу

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{F_x}{F_z} = \frac{G \sin \varphi}{F_c + G \sin \varphi}$$

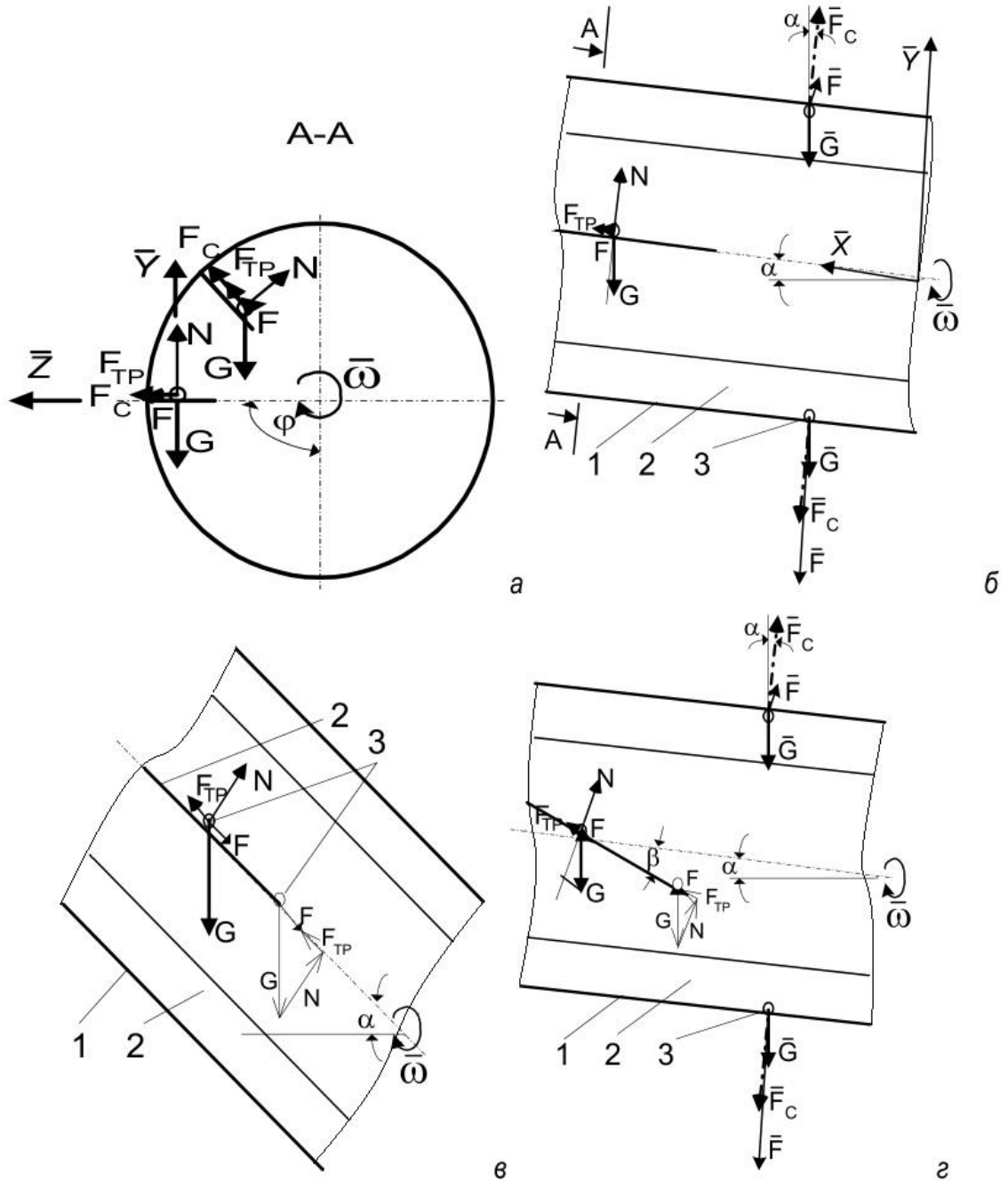


Рисунок 3.4 – Схема сил, що діють на частинки кільця, що обертається матеріалу: а – у поперечному перерізі барабана; б, в - в поздовжньому перерізі барабана при різному куті осі обертання барабана, при відсутності і наявності ковзання частинок вздовж лопаті; 2 – лопата; 3 – частинки матеріалу, розташовані на лопаті

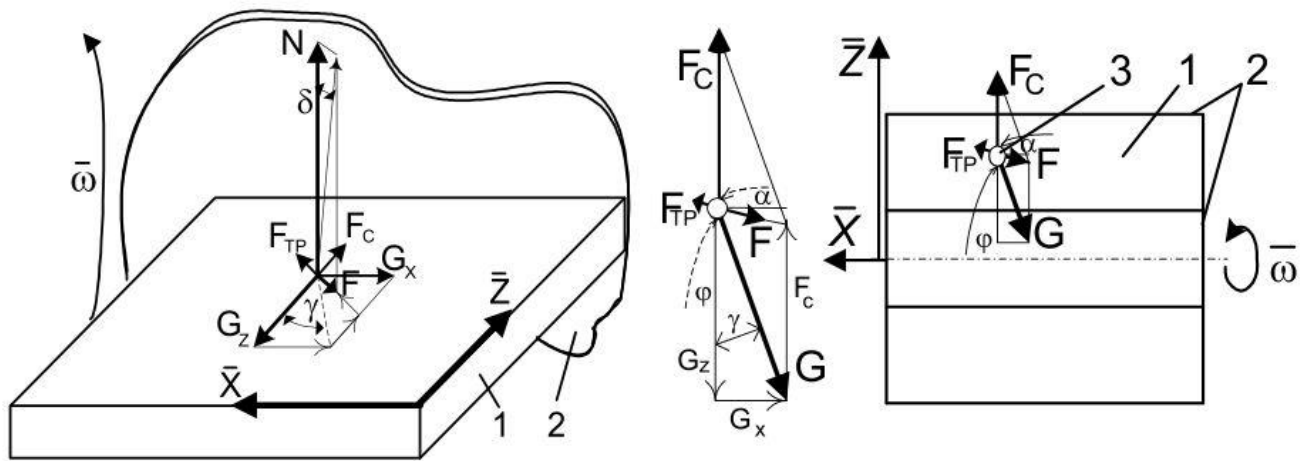


Рисунок 3.5 – Схема сил, що діють на частинки, розташовані на лопаті барабана, що обертається, відповідно горизонтальної і вертикальної:
1 – лопата; 2 - барабан, що обертається; 3 – частинки матеріалу, розташовані на лопаті

Враховуючи, що вага частки визначається як mg , проекції сил на осі X і Z записуються:

$$F_x = mg \sin \alpha - mgf \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \sin \gamma;$$

$$F_z = mR\omega^2 - mg \cos \varphi - mgf \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \cos \gamma.$$

Проекції прискорень по осях:

$$W_x = g \sin \alpha - gf \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \sin \gamma$$

$$W_z = R\omega^2 - g \cos \varphi - gf \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \cos \gamma = \\ = R\omega^2 - g(\cos \varphi + f \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \cos \gamma)$$

Визначимо кут нахилу лопаті, при якому відбувається рух матеріалу вздовж осі обертання барабана:

$$\cos(\alpha + \beta) \geq \frac{g \sin \alpha}{gf \sin \varphi \sin \gamma}.$$

Тоді:

$$\beta \geq \arccos\left(\frac{g \sin \alpha}{gf \sin \varphi \sin \gamma}\right) - \alpha.$$

Проекція на лопату діючих на частку прискорень (вздовж лопаті):

У тому випадку, якщо співвідношення величин нормальної проекції діючих сил і проекція сил, що діють, в площині на лопату знаходяться в межах конуса тертя, рух частинок по поверхні лопаті відбуватися не буде внаслідок самогальмування. Якщо ж величина проекцій сил вздовж лопаті перевищить припустиме співвідношення, можливо рух частинок вздовж лопаті, тобто. для руху частки має виконуватися співвідношення:

$$tg\delta > f ,$$

де $tg\delta$ - співвідношення нормальної проекції сил до проекції сил вздовж лопаті;

f – коефіцієнт тертя матеріалу по сталі.

Очевидно, що даний кут може бути визначений наступним чином:

$$tg\delta = \frac{F}{N} = \frac{mW}{mg \sin \varphi \cos(\alpha + \beta)} \times \frac{\sqrt{(R\omega^2 + g(\cos(-f \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \cos \gamma))}}{\cos(\alpha + \beta)}$$

За відсутності ефекту самогальмування проекція прискорення вздовж лопаті осі X спрямована вздовж осі обертання сприяє переміщенню матеріалу вздовж лопаті, забезпечуючи переміщення частинок уздовж осі барабана. Це сприяє зміщенню матеріалу вздовж осі барабана і, тим самим, усереднення концентрації частинок обсягом матеріалу, тобто. змішання.

У разі почергового розташування лопатей (в шаховому порядку), що забезпечують осьове зміщення частинок по лопаті при підйомі як вправо, так і вліво, крім поліпшення перемішування можна домогтися підвантаження праворуч у верхній кромці завантажувального отвору (тобто вниз), забезпечуючи збільшення ступеня заповнення барабана та знижуючи несанкціонований викид частинок маси суміші через вивантажувальний отвір.

За відсутності ефекту самогальмування проекція прискорення вздовж лопаті осі Z спрямована до осі обертання сприяє відразу матеріалу з лопаті.

Л.інв.№ ор. Підпис і дата Зам.інв.№

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк. 66

Тобто. при повороті лопаті матеріал, що сходить, знову зсипається зверху на купу матеріалу, забезпечуючи перемішування частинок.

Кут початку сходу шару матеріалу з лопаті визначиться за умови:

$$\sqrt{(g(\sin \alpha - f \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \sin \gamma))^2 + R\omega^2 + (g(\cos \alpha - f \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \cos \gamma))^2} \geq 0$$

Звідси кут сходу має відповідати умові:

$$\sqrt{(g(\sin \alpha - f \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \sin \gamma))^2} \geq 0$$

Або кут сходу відповідає умові:

$$\sqrt{R\omega^2 + (g(\cos \alpha - f \sin \varphi \cos(\alpha + \beta) \cos \gamma))^2} \geq 0$$

Враховуючи складність аналітичного вирішення такого рівняння кут початку сходу будемо визначати чисельними методами. При позитивному значенні даного кута можливе сходження матеріалу з лопаті, оскільки відсутня ефект самогальмування.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|-----------------------------|--|--|------|
| Інв.№ ор. | Піппис і лата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | 67 |

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Методика визначення питомого опору переміщенню лопатки та лопаті

Загальний вигляд експериментального зразка спіральньо-лопатевого змішувача наведено на рисунку 4.1. Він складається з барабана зі стійками, двох приводів і двох спіральньо-лопатевих робочих органів, кожен з яких виконаний з двох частин, які обертаються протилежні сторони відносно один одного. На першій частині робочого органу є шнекова навивка (зовнішній діаметр навивки дорівнює 0,5 м, а внутрішній - 0,057м) і змішувально-транспортувальні лопаті, а на другій частині розташовані лопаті, що перекидають 7 (зовнішній діаметр лопаті дорівнює 0,5 м, ширина лопаті дорівнює 0,18 м, а її площа - змінна) і лопаток, що перемішують і транспортують.

На першому етапі досліджень вивчали процес змішування сухих матеріалів. Для цього проведено експерименти при знайдених оптимальних конструктивно-технологічних параметрах органу, що змішує, при змішуванні сипких матеріалів.

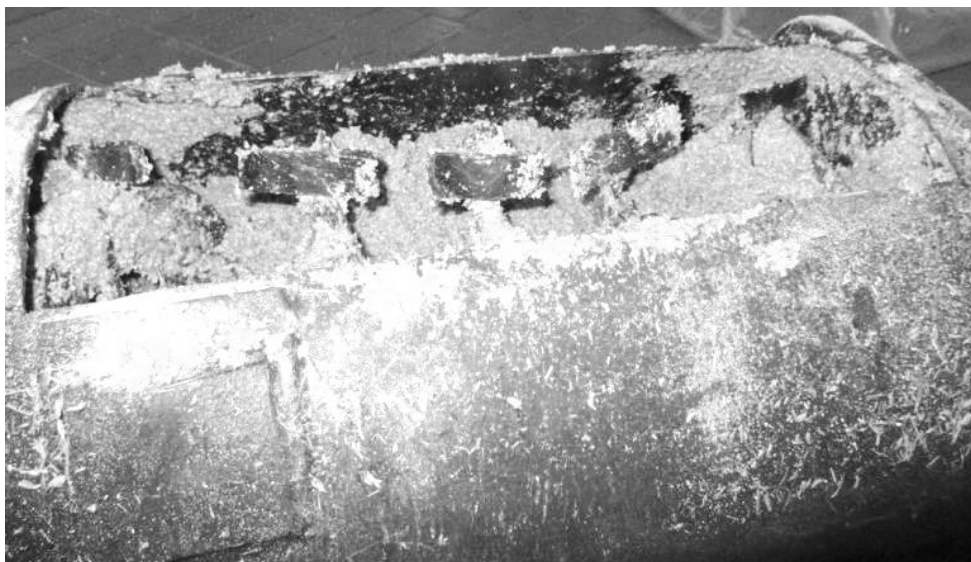
Досліди проводили у такій послідовності. У барабан змішувача встановлювали робочий орган із необхідними параметрами. Підбираючи шків певних діаметрів, задавали необхідну частоту обертання. Враховуючи результати, отримані раніше іншими дослідниками, наполовину заповнювали барабан змішувача матеріалом. Дотримуючись рекомендацій, контрольний компонент рівномірно розподіляли вздовж осі барабана змішувача.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
68



а)



б)

а - загальний вигляд; б – змішувальний вал;

Рисунок 4.1 – Експериментальний зразок спірально-лопатевого змішувача

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

| |
|------|
| Арк. |
| 69 |

4.2 Результати експериментальних досліджень

Відбір необхідної кількості проб здійснювався за допомогою розробленого пробовідбірника. Роботу спроектованого змішувача здійснювали за двома головними критеріями – якістю суміші та питомими енерговитратами.

Оцінку якості готової суміші проводили, використовуючи коефіцієнт варіації, розрахунок якого представлений у багатьох роботах, присвячених процесу змішування матеріалів (розділ 1). Питомими енерговитратами оцінювалась енергоефективність процесу змішування. Їх розраховували як відношення корисної потужності двигуна, спожитої за одиницю часу і необхідної змішування матеріалу до досягнення заданої якості, до маси цього матеріалу.

Результати попереднього експерименту показали, що при отриманих конструкційно-технологічних параметрах компоненти сухої суміші практично не змішуються і рухаються по периферії під дією доцентрових сил. Тому в конструкцію змішувача були внесені зміни зовнішніх скребків з кроком $0,5L$ замінили лопатками. Досліджували вплив довжини лопатей, часу процесу змішування та частоти обертання робочого органу на якість готової суміші. Результати досліджень оформлені як графіки (рисунок 4.2-4.6). Аналізуючи графіки, можна побачити, що зменшення довжини лопаток тягне за собою зниження коефіцієнта неоднорідності. Найкраща якість суміші при всіх частотах обертання змішувального органу спостерігається при $L = 40$ мм.

Зменшення часу змішування, достатнього для отримання якісної суміші, спостерігається при зменшенні довжини лопаток з 80 до 40 мм. Це пов'язано з тим, що збільшення відстані між лопатями призводить до зниження сил зчеплення між частинками суміші, і суміш розсипається. У певний момент, настання якого залежить від частоти обертання змішувального валу настають оптимальні умови для змішування вологої суміш, і подальше зменшення довжини лопатей тягне збільшення часу змішування. Це тому, що короткі

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|------|-----|-----|-------|------|------------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 70 |
| | | | Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

лопаті не перекривають всю довжину змішувача, і периферії барабана змішувача залишаються кільця суміші. З графіків (рисунок 4.3-4.4) видно, що найкращі показники якості суміші на всіх досліджуваних частотах обертання змішувального органу спостерігаються при довжині лопатей 40 мм.

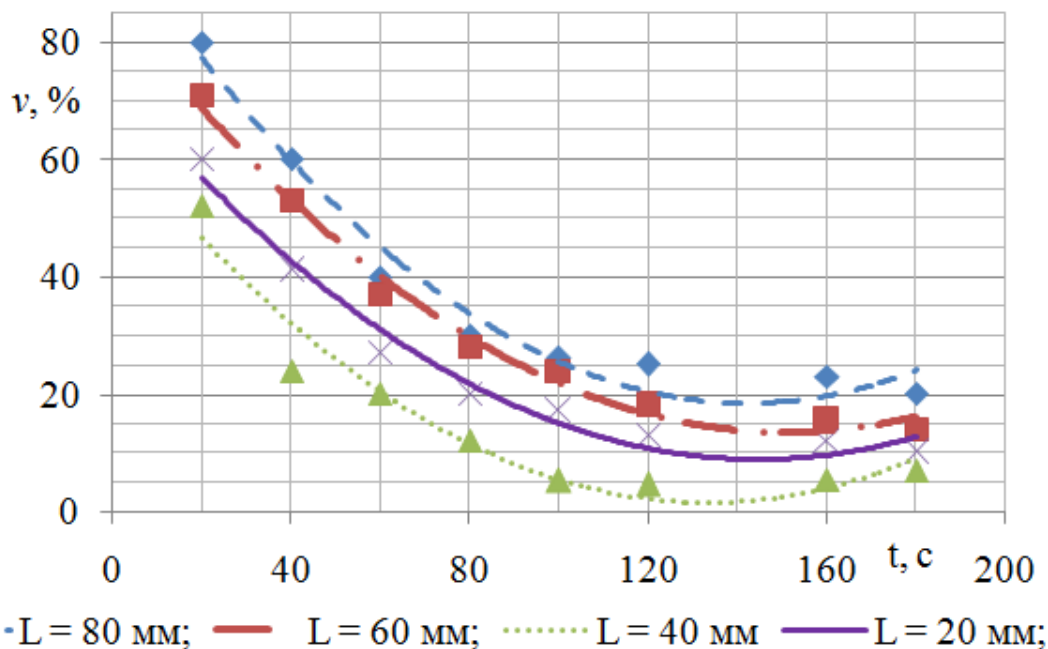
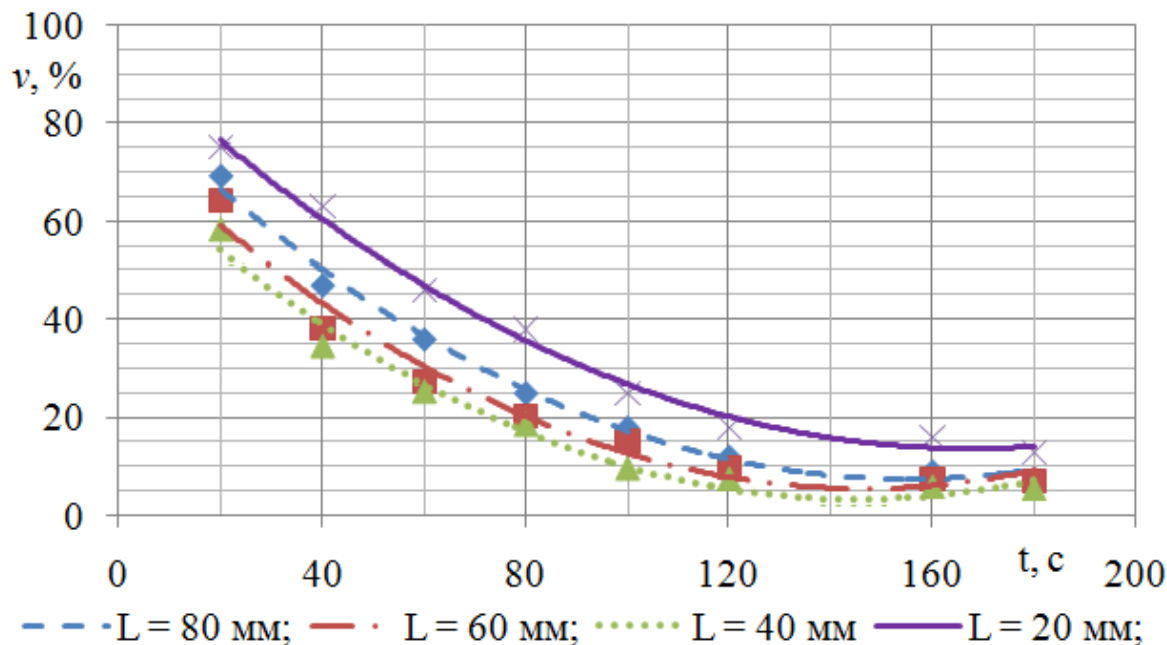


Рисунок 4.2 – Вплив часу змішування та довжини лопатей на якість суміші:

1) - $n = 25$ об/хв; 2) - $n = 40$ об/хв

Лист.№ ор. Підпис і дата

Зам.інв.№

Лист.№ ор.

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

71

Частота обертання валу впливає якість змішування неоднозначно. Коефіцієнт неоднорідності досягає значення $v = 15\%$ через 80 ... 95 з початку змішування, незалежно від частоти обертання (рисунок 4.3). Коефіцієнт неоднорідності досягає значення $v = 5\%$ при $n = 25 \text{ хв}^{-1}$ через 180 секунд з початку змішування, і через 110 ... 120 секунд на інших режимах. Тож у подальших дослідженнях вивчення значення $n = 25 \text{ хв}^{-1}$ виключено.

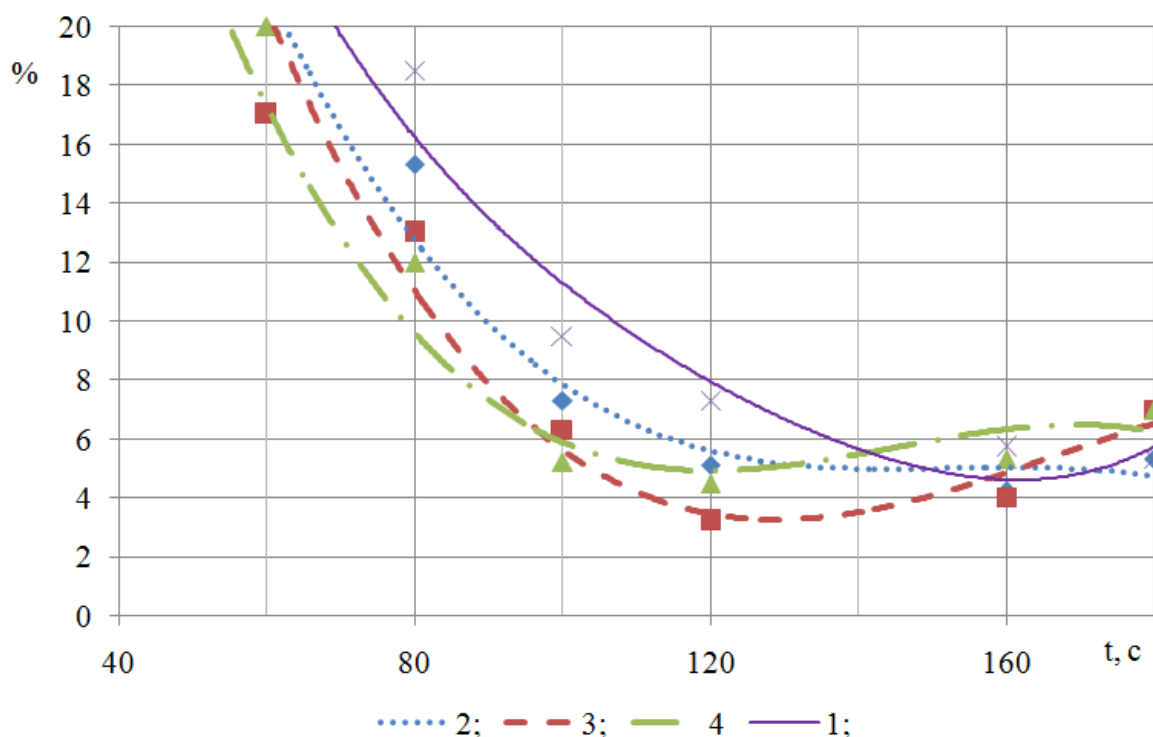


Рисунок 4.3 – Вплив частоти обертання та часу змішування на якість суміші при довжині змішувальної лопаті $L = 40 \text{ мм}$:

1 - $n = 25 \text{ об/хв}$; 2 - $n = 30 \text{ об/хв}$; 3 - $n = 35 \text{ об/хв}$; 4 - $n = 40 \text{ об/хв}$

Таким чином, час змішування вологих розсипних сумішей повинен лежати в інтервалі 80...160 секунд. Якість отриманої суміші відповідає необхідним вимогам.

На рисунку 4.4 показано вплив довжини лопатей та частоти обертання змішувального органу на якість суміші. Задовільна якість змішування на всіх

| | | |
|------------|---------------|-------------|
| Лист № ор. | Підпис і дата | Зам. інв. № |
| | | |
| Зм. | Кіль | Арк |
| № до | Підп. | Дата |

досліджуваних режимах роботи змішувача досягається при довжині лопатей 30...60 мм.

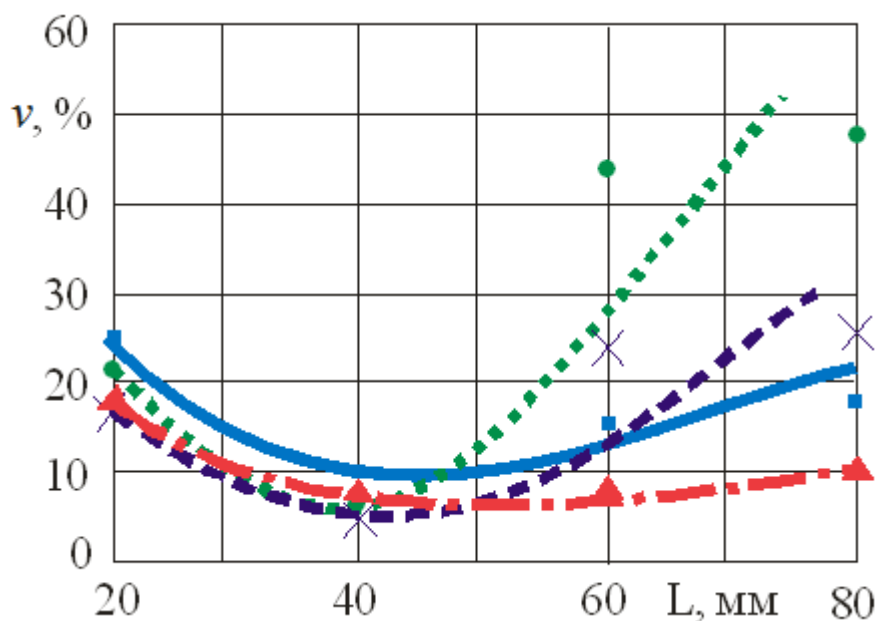


Рисунок 4.4 – Вплив довжини лопаток та частоти обертання робочого органу на якість суміші:

1 - $n = 25$ об/хв; 2 - $n = 30$ об/хв; 3 - $n = 35$ об/хв; 4 - $n = 40$ об/хв

Енергоефективність оцінювалася питомими витратами електроенергії. З аналізу даних (рисунок 4.5) видно, що мінімальні енерговитрати, незалежно від частоти обертання робочого органу, лежать в інтервалі довжини лопатей, що дорівнює 30...50 мм. Збільшення довжини лопатей призводить до зростання критерію оптимізації, особливо за $n = 35...40$ хв⁻¹. Це зростання енерговитрат пояснюється зростанням опору середовища, що змішується при збільшенні частоти обертання змішувального органу. Зі зменшенням довжини лопатей також спостерігається зростання витрат електроенергії. Це погіршення умов змішування веде до збільшення часу роботи змішувача.

| | | |
|------------|---------------|-------------|
| Лист № ор. | Підпис і дата | Зам. інв. № |
| | | |
| Зм. | Кіль | Арк |
| № до | Підп. | Дата |

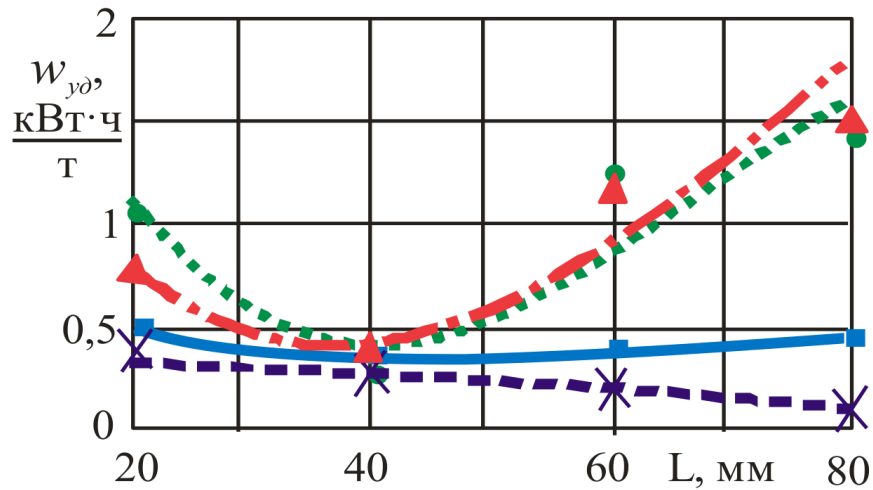


Рисунок 4.5 – Зміна питомих витрат електроенергії залежно від довжини лопатей та частоти обертання робочого органу:

1 - $n = 25$ об/хв; 2 - $n = 30$ об/хв; 3 - $n = 35$ об/хв; 4 - $n = 40$ об/хв

Таким чином, у результаті проведених експериментів визначено область раціональних параметрів перемішування сухих будівельних сумішей у спіральньо-лопатевому змішувачі:

- частота обертання валу змішувального робочого органу – 30...40 об/хв;
- довжина лопатей змішувального робочого органу – 20...60 мм;
- час змішування сухої суміші – 80...160 с.

| | | | | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|-----------------------------|-------|------|--|--|------------|
| Лист. № ор. | Підпис і дата | Зам. інв. № | | | | | | Арк. 74 |
| | | | | | | | | |
| | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк. | № до | Підп. | Дата | | | |

5 ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

Більшість технологічних процесів по виготовленню сумішей супроводжується шумом. Його джерелом є багато видів основного і допоміжного устаткування: навантажувач суміші, змішувач, транспортне і перевантажувальне обладнання, системи очищення повітря тощо.

В Україні, як і в більшості розвинених країн світу особливу увагу приділяють створенню безпечних умов праці. Тому дуже велику роль в поліпшенні цих умов, зокрема у будівництві, відіграє ефективне використання техніки, застосування сучасних методів ведення будівельно-монтажних робіт, які потребують глибокого інженерного підходу до рішення задач по забезпеченню безпеки праці людей на будівельних майданчиках.

Робота механізмів машин може досить небезпечно впливати на обслуговуючий персонал, оскільки часто супроводжується сукупністю шкідливих впливів, таких як шум, запиленість, електрична небезпека.

Загальновідомими є функціональні порушення, які пов'язані з дією цих факторів на працівника, полягають у вірогідності втрати життя від ураження електричним струмом, а також погіршенні зору, збільшеній втомлюваності, зміні реакції вестибулярного апарату, головний біль та запаморочення. Дослідження показали, що вплив шуму на організм людини збільшує його енергетичні затрати в результаті чого виникає рання втомлюваність організму, зниження продуктивності праці.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з певними станами об'єкту, таких, як експлуатація, виготовлення, ремонт, зазначено в таблицю 5.1.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
| | | | | | |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.
75

Таблиця 5.1 –Шкідливі та небезпечні фактори

| Фактор | Джерело | Кількісна оцінка | Норматив |
|------------------------------|--|---------------------|-------------------|
| Ураження електричним струмом | Електропривод змішувача | 0,6...1,5А 50 Гц | ДСТУ Б.В.2.6-2-95 |
| Шум | Змішувач | 80 Дб | ДСТУ 2325-93 |
| Запиленість | Суха суміш, цемент | | ДСН 3.3.6.042-99 |
| Недостатня освітленість | Слабкість природнього чи штучного освітлення | 2 Лк | ДБН В.2.5-28-2006 |

5.2 Загальні рекомендації зі зниження шумів при роботі машини

Проаналізувавши особливості шкідливих факторів наводимо рекомендації зі зниження шумів при роботі машини, а також очікуваний ефект від їх запровадження.

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|-----------------------------|--|--|------------|
| Лнв.№ ор. | Піппіс і лата | Зам.інв.№ | | | | | | | Арк. 76 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | |

Таблиця 5.2 – Рекомендації і очікуваний ефект зі зниження шуму при роботі машини

| Рекомендації | Очікуваний ефект |
|---|---|
| Конструктивні заходи | |
| Застосування акустичних фільтрів у вигляді неметалевих кілець, встановлених на корпусі підшипників або у вигляді неметалевих корпусів | Зниження рівня звукового тиску на високих та середніх частотах на 17 дБ |
| Герметизація внутрішніх порожнин | Те ж на 10 дБ |
| Заміна шарикопідшипників з конусних на шарикопідшипники з латунним кільцем | Те ж на 5 дБ |
| Технологічні заходи | |
| Робота на нижній границі жорсткості суміші | Зниження рівня звукового тиску |
| Застосування звукоізолюючих кожухів, що герметизують пустотні утворення | Те ж на 20...25 дБ |
| Відділення формувального поста в звукоізольоване приміщення | Усунення джерела шуму |
| Експлуатаційні заходи | |
| Своєчасне змащення, підтяжка болтових з'єднань, заміна підшипників | Стимування збільшення шуму в процесі експлуатації |

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
| | | |

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

77

5.3 Розрахунок заземлення

В електроустановках з напругою до 1000 В з ізоляцією, згідно «Правил експлуатації електрообладнання» опір заземлення повинен бути не більше 4 Ом.

Заземлення складається із заземлювача, заземлювального проводу, що з'єднує електродвигун з заземлювачем.

Заземлювач приймаємо із прокатної сталі кутового профілю 75×75 еквівалентного діаметру:

$$d_{\text{екв}} = 0,95 \cdot 0,75 = 7,12 \text{ см.}$$

Довжина заземлювача $L=300$ см.

Глибина забивки визначається від поверхні землі до середини заземлення :

$$h = \frac{L}{2} + 70 = \frac{300}{2} + 70 = 220 \text{ см.}$$

де 70 - відстань від поверхні землі до кінця заземлювача.

Для з'єднання заземлювача приймаємо полосу сталі шириною 30мм і товщиною 4 мм.

Значення питомого опору ґрунту:

$$\rho = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом/см}^2.$$

Визначення опору розсіювання струму:

$$\begin{aligned} R_p &= 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{N_{\text{екв}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h + l}{4 \cdot h - l} \right) \\ &= 0,366 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^4}{300} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 300}{7,12} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 220 + 300}{4 \cdot 220 - 300} \right) \\ &= 38,25 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Визначання кількості заземлювачів:

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|-----------------------------|--|--|--|------------|
| Лнв.№ ор. | Піппіс і лата | Зам.інв.№ | | | | | | | | Арк. 78 |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | | | | |

$$n = \frac{R_p \cdot k_c}{R_3 \cdot \eta};$$

де R_p – опір прийнятого заземлення;

k_c - коефіцієнт сезонності;

η - коефіцієнт користування.

$$n = \frac{38,25 \cdot 1,75}{4 \cdot 0,6} = 28.$$

Довжина полоси заземлення, згідно планування:

$$L_n = 16 \text{ м.}$$

Відстань між заземлювачами:

$$Q = \frac{L_n}{1,05 \cdot n} = \frac{16000}{1,05 \cdot 28} = 545 \text{ мм.}$$

Опір перерізу струму в полосі з'єднання:

$$k_{\Pi} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{L_n} \cdot \ln \cdot \left(2 \cdot \frac{L_n}{b \cdot h} \cdot \frac{1}{r} \right),$$

де r - коефіцієнт використання полоси;

$b \cdot h$ - площа перерізу полоси.

$$k_{\Pi} = 0,366 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^4}{16000} \cdot \ln \cdot \left(2 \cdot \frac{16000}{0,4 \cdot 30} \cdot \frac{1}{0,31} \right) = 3,1 \text{ Ом};$$

Підсумковий опір:

$$R = \frac{R_p \cdot R_n}{R_p + R_n} = \frac{38,25 \cdot 3,1}{38,25 + 3,1} = 2,86 \text{ Ом};$$

$$2,86 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

На рисунку 5.1 наведена схема занурення елементів заземлення, а на рисунку 5.2 – схема розташування елементів заземлення в плані.

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

Арк.

79

Інв.№ ор.

Підпис і дата

Зам.інв.№

Зм. Кіль Арк. №до Підп. Дата

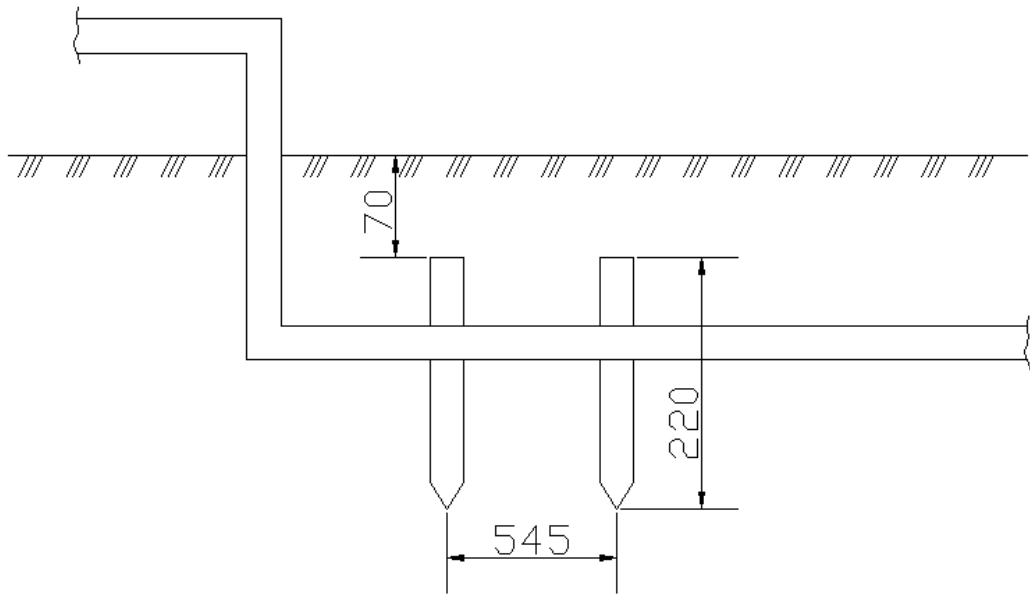


Рисунок 5.1 – Схема занурення елементів заземлення

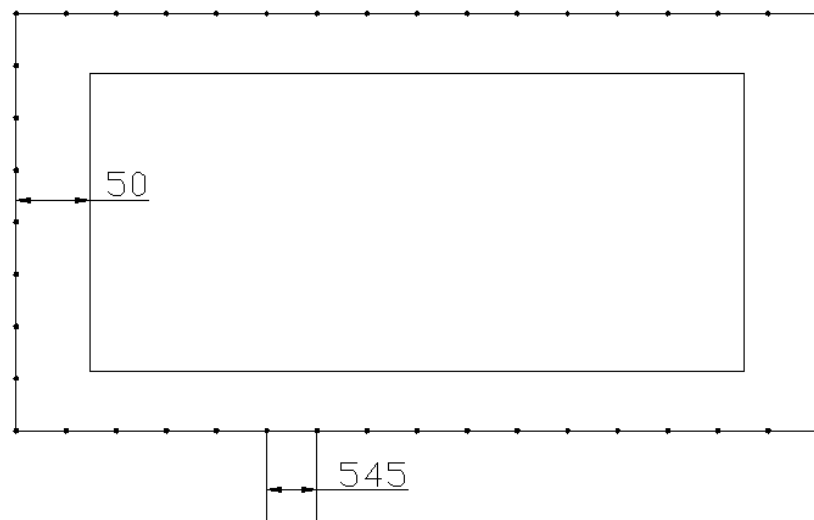


Рисунок 5.2 – Схема розташування елементів заземлення в плані

| | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|-------|------|-----------------------------|------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ | | | | | Арк. |
| | | | | | | | |
| Зм. | Кіль | Арк. | №до | Підп. | Дата | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | |
| | | | | | | | |

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів. – К.: Либідь, 1999. – 386 с.
2. Назаренко І.І., Туманська О.В. Машины і устаткування підприємств будівельних матеріалів: Конструкції та особливості експлуатації. – К.: Вища школа, 2004. – 590 с.
3. Емельянова И. А., Анищенко А. И., С. М. Евель, В. В. Блажко, Доброходова О. В., Н. А. Меленцов. Бетоносмесители, работающие в каскадном режиме. Монография / под ред. Емельяновой И. А. – Харьков: Тим Паблиш Груп, 2012. – 146 с.
4. Манукян Г. С. Разработка и исследование смесителя гравитационно-принудительного действия: автореф. дисс. на получение науч. степени канд. тех. наук: спец. 05.05.04 / Г. С. Манукян. – Киев. инж. строит. ин-т. – К., 1981. – 17 с.
5. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев, В.Д. Мартынов – М.: Машиностроение, 1981– 324 с.
6. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Исследование взаимодействия лопатки бетоносмесителя принудительного действия с цементобетонной смесью // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 2(37). Ч. 1. – С. 20-23.
7. Старчик Ю.Ю. Методика нахождения скорости движения частиц и описание процесса смешивания двухкомпонентной смеси в планетарном смесителе / Старчик Ю.Ю., Анциферов С.И. // Строительные и дорожные машины., 2017 № – 10.
8. Телешев А. В. Производство сухих строительных смесей: критерий выбора смесителя / Телешев А. В., Сапожников В. А. - М. : Стройиздат, 1999. – 121 с.

| | | |
|-----------|---------------|-----------|
| Інв.№ ор. | Підпис і дата | Зам.інв.№ |
|-----------|---------------|-----------|

| | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-------|------|
| Зм. | Кіль | Арк | №до | Підп. | Дата |
|-----|------|-----|-----|-------|------|

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА

ДОДАТКИ

| | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----------|-----|------|------|-----|-------|----------------------|------|
| Інв.№ ор. | Піппис і лата | Зам.інв.№ | | | | | | АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА | Арк. |
| | | | | | | | | | 83 |
| | | | Зм. | Кіль | Арк. | №до | Підп. | Дата | |