

УДК 658.567:621.929.6.001.26

<https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.05>

Засельський В. Й., Пополов Д. В., Засельський І. В., Шепеленко М. І.

Експериментальні дослідження роботи порталного багатороторного віброзмішувача-гомогенізатора безперервної вертикально направленої дії

Zaselskiy V., Popolov D., Zaselskiy I., Shepelenko M

Experimental research of gantry multirotor vibratory homogenizing mixer continuous vertically-directed action

Метою роботи є визначення закономірностей, які розкривають вплив конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів робочого органу віброзмішувача-гомогенізатора на основні технологічні показники процесу змішування. Для досягнення поставленої мети, на основі планування і реалізації повного факторного експерименту, були проведені лабораторні дослідження, результати котрих аналізувались за допомогою апарату математичної статистики. В результаті були отримані регресійні залежності технологічних показників порталного багатороторного віброзмішувача-гомогенізатора безперервної дії у вигляді поліномів з урахуванням взаємного впливу варійованих конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, що дозволило визначити оптимальну частоту обертання валів цара, інтенсивність завантаження, кут нахилу лопаток робочого органу змішувача, встановити оптимальний динамічний режим, з точки зору забезпечення високої якості суміші при достатній продуктивності, та раціональні значення вібраційних прискорень царги. Вперше для порталного багатороторного віброзмішувача-гомогенізатора безперервної вертикально направленої дії з лопатковими роторами, що паралельно і рівномірно обертаються назустріч одне одному, одержані математичні залежності, які характеризують, з урахуванням взаємодії його конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, ступінь впливу кожного з факторів на якість суміші та продуктивність змішувача. Це дозволило вдосконалити технологію підготовки суміші обмасленої прокатної окалини і активованого торфю в умовах агломераційної фабрики ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а також розробити інженерну методику розрахунку і вибору основних конструктивних та динамічних параметрів порталного багатороторного віброзмішувача-гомогенізатора безперервної вертикально направленої дії.

Ключові слова: змішування, вібрація, прискорення, якість суміші, продуктивність.

The purpose of the work is to determine the laws that reveal the constructive, kinematic and dynamic parameters of the working vibratory homogenizing mixer on the main parameters of the mixing process. To achieve the goal, there were conducted laboratory studies based on planning and implementing a full factor experiment. Results of these studies were analyzed using the math statistics device. As a result, there were received the regression dependences of the gantry multirotor vibratory homogenizing mixer technological parameters in form of polynomials, taking into account the mutual influence of varying structural, kinematic and dynamic parameters. This allowed determining shafts rotation optimal frequency, loading intensity, the inclination angle of the working mixer's body blades. Also, it became possible to establish an optimum dynamic mode, in terms of ensuring the high quality of the mixture with sufficient performance, and the efficient value of vibration acceleration. This is the first time when for a gantry multi-rotor homogenizing mixer of continuous vertically-directed action with blade rotors that parallelly and evenly rotate towards each other, there were received math equations that take into account its constructive, kinematic, and dynamic parameters interactions, and characterize the influence degree of each of the factors on the mixture's quality and mixer's productivity. This allowed to improve the mixture of oiled rolling scale and activated peat preparation technology, before the process of sintering in ArcelorMittal Kryviy Rih agglomeration plant conditions. It also allowed to develop an engineering method for calculating and selecting the main structural and dynamic parameters of the gantry multiportal homogenizing mixer of a continuous, vertically-directed action.

Keywords: mixing, vibration, acceleration, mix quality, productivity.

Вступ

В умовах безперервного зростання цін на основні види сировини і екологізацію виробництва, одним з способів підвищення ефективності функціонування металургійних підприємств є залучення до сировинної бази та раціональне використання вторинних металургійних ресурсів, представлених відходами технологічного процесу.

Так при виробництві прокату втрати металу у вигляді окалини складають близько 5 % [1], що для крупних металургійних підприємств в середньому становить 180 тис. тон на рік. Утворена в процесі виробництва суміш окалини з мастилом та водою є цінним вторинним ресурсом, який містить до 70% заліза, 20% мастила і 10% води.

В даний час, згідно з діючою на ПАТ «Арсело-

рМіттал Кривий Ріг» технологією, обмаслена прокатна окалина використовується як компонент агломераційної шихти. Проте її використання можливе лише при зниженні вмісту в ній вологи та мастила, окрім цього необхідно забезпечити, виходячи з технологічних вимог, належну газопроникність і сипучість суміші. Внаслідок цього, ключовою й необхідною операцією по підготовці обмасленої прокатної окалини до використання в агломераційному виробництві є її дезінтеграція та гомогенізація з влого-мастильнопоглинаючим компонентом — активованим торфом [3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

З проведеного аналізу використовуваних конструктивних схем змішувачів безперервної дії для

переробки в'язко-пластичних матеріалів [4-6] витікає, що одночасне виконання таких операцій, як дезінтеграція та гомогенізація в одному апараті, на сьогоднішній день в існуючих конструкціях змішувачів, не передбачено, таким чином, вони не задовольняють вимогам запропонованої технології з виробництва високоякісної суміші обмасленої прокатної окалини і активованого торфу, а їх наступне вдосконалення повинно йти шляхом створення поліфункціонального порталного багатороторного змішувального пристрою безперервної дії.

На підставі цього, групою інженерів Криворізького металургійного інституту Національної металургійної академії України була запропонована конструктивна схема змішувача (рис. 1), яка дає можливість одночасно виконувати перераховані вище операції з використанням ефекту природної

гравітації, що дозволяє знизити витрати електроенергії на переміщення матеріалу в порожнині змішувача від завантаження до вивантаження. Основними елементами змішувача є царги (рис. 2), встановлені з поворотом в горизонтальній площині на кут 90° щодо попередньої, які мають дві пари валів 1, що обертаються назустріч один одному, з розпушувачами 2, які встановлені з певним кроком, що зменшується від верхньої царги до нижньої. Розпушувачі виконані у вигляді опозитно встановлених лопаток 3, нахилених під кутом до горизонту. У свою чергу, один з чотирьох валів царги є ведучим, останні три ведені. Привод ведучого валу складається з мотор-редуктора 4 і ланцюгової передачі 5, обертання веденим валам передається від ведучого за допомогою синхронізуючих шестерень 6.

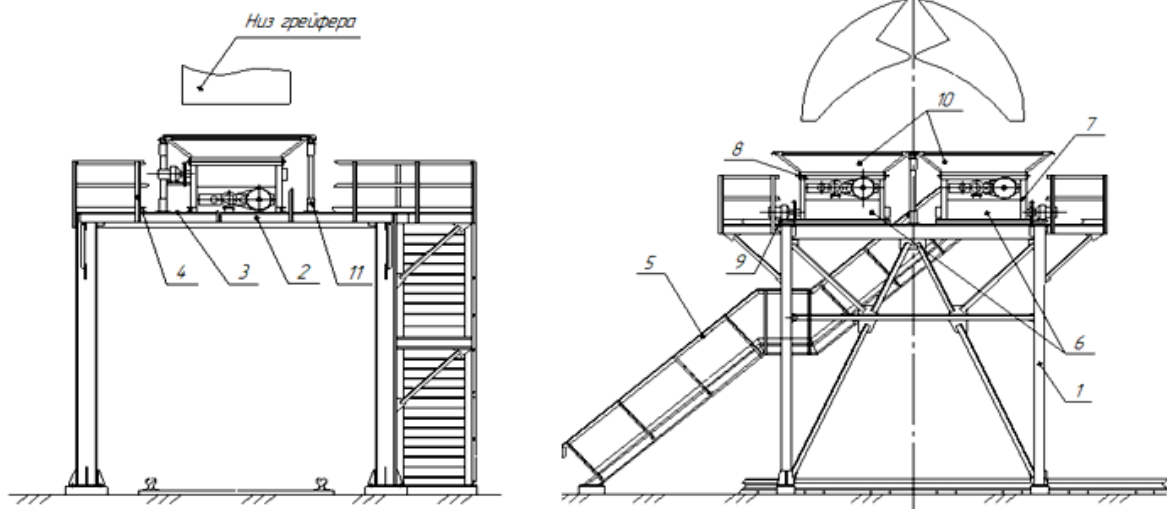


Рисунок 1. Конструкція гомогенізатора:
1-стійка; 2-портал; 3-настил; 4-зварні огорожі; 5-сходи; 6-царга; 7-рама;
8-бункерна рама; 9-кронштейн; 10-бункер; 11-стійка

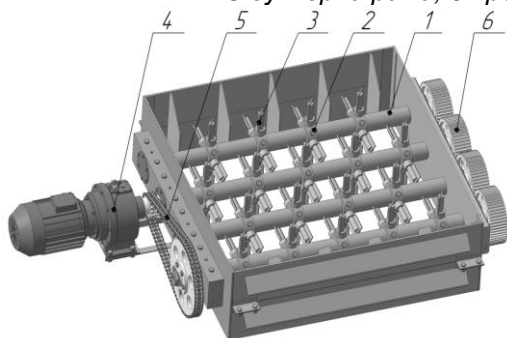


Рисунок 2. Царга:
1-вал; 2-розпушувач; 3-лопатка; 4-мотор-редуктор;
5-ланцюгова передача; 6-синхронізуюча шестерня

Промислові випробування гомогенізатора показали, що розроблений змішувач дозволяє поліпшити якість підготовки залізовмісних відходів металургійного виробництва перед агломерацією [7]. Проте разом з перевагами пропонованої конструкції, були виявлені недоліки, такі як: нерівномірний розподіл компонентів суміші за об'ємом камери змішування; недостатня дезінтеграція великих шматків злежаного матеріалу; налипання на бункер і лопатки змішувача в'язко-пластичного матеріалу, що призводить до зменшення пропускної

спроможності та робочої площі камери змішування.

Для усунення перерахованих вище недоліків було запропоновано існуючу конструкцію гомогенізатора забезпечити кінематично незв'язаними між собою віброзбуджувачами (рис. 3), які здатні забезпечити різне траєкторне поле машини [8]. Це дозволить, в залежності від вологості обмасленої прокатної окалини та активованого торфу, обрати режим з направленими однорідними прямолінійними коливаннями, що забезпечує перехід змішувача у суспендований віброкиплячий

шар, внаслідок чого збільшується час перебування матеріалу у порожнині змішувача, знижується ефективний коефіцієнт тертя, або режим «биття», під час якого генеруються неоднорідні еліптичні коливання з подвійним їх напіврозмахом, що дає змогу на 90 % очистити поверхню змішувача від налиплого матеріалу, внаслідок чого забезпечити сталість робочої площі гомогенізації та дезінтеграції. Використання зазначених вище режимів призводить до підвищення ефективності процесу та зменшення витрат потужності на перемішування.

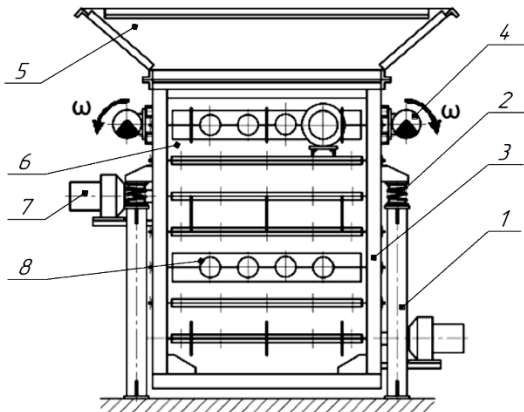


Рисунок 3. Вібромішувач-гомогенізатор

1-опорна рама; 2-пружні елементи; 3-охоплювальна рама; 4-вібробудник; 5-приймальний бункер; 6-царга; 7-мотор-редуктор; 8- синхронізуюча шестерня

На даний час для запропонованої конструкції вібромішувача-гомогенізатора відсутні регресійні моделі, засновані на експериментальних дослідженнях, що встановлюють функціональний зв'язок між прийнятою оцінкою якості суміші та впливаючими на неї конструктивними і режимними параметрами. [9-11]

Мета і завдання досліджень

Метою проведених досліджень було визначення закономірностей, які розкривають вплив конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів робочого органу вібромішувача-гомогенізатора на основні технологічні показники змішування, для поліпшення якості підготовки суміші обмасленої прокатної окалини і активованого торфу перед їх використанням в агломераційному виробництві.

Відповідно до поставленої мети були вирішені наступні задачі, які представлені у вигляді діаграми зв'язків (рис. 4)



Рисунок 4. Діаграма зв'язків задач досліджень

Матеріали та методи дослідження

Для проведення лабораторних досліджень була виготовлена модель портального багатороторного змішувача безперервної дії (вібромішувача-

гомогенізатора) з однією царгою, враховуючи виконання геометричної та динамічної подібності (рис. 5).

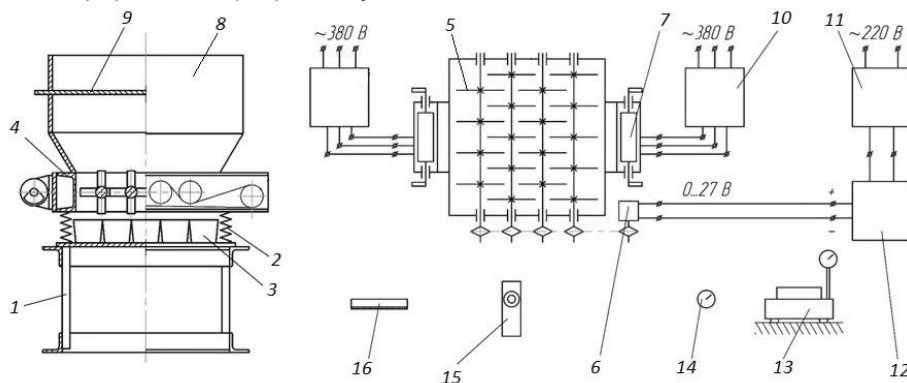


Рисунок 5. Модель вібромішувача-гомогенізатора:

1-рама; 2-пружина опора; 3-провідник; 4-царга; 5-розпушувач з лопатками; 6-привод; 7-вібробудувач; 8-бункер; 9-шибер; 10-перетворювач частоти; 11-автотрансформатор; 12-випрямний міст; 13-ваги; 14-секундомір; 15-тахометр; 16-сито

За параметри оптимізації приймалися показники, які найповніше відображали якість отриманої суміші і ефективність процесу змішування матеріалу:

– коефіцієнт варіації (якість змішування) [12]

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \% \quad (1)$$

де \bar{c} – середнє арифметичне значення концентрації ключового компоненту у всіх пробах суміші, %; c_i – концентрація ключового компоненту в i -ї пробі суміші, %;

– час проходження через царгу одиниці маси матеріалу (продуктивність)

$$Q = m_b / t_{b,ц} \text{ т/г} \quad (2)$$

де m_b – маса відсипки, т; $t_{b,ц}$ – час витоку матеріалу через модель царги, г.

Відповідно до рекомендацій і вимог до планування експерименту в роботі [13], були прийняті наступні варійовані чинники: частота обертання валів моделі X_1 , об/хв; інтенсивність завантаження (висота шару) X_2 , м; кут нахилу лопаток від горизонтальної вісі симетрії X_3 , град; кінетостатичний момент мотор-вібратора X_4 , кг·мм; частота обертання валу мотор-вібратора X_5 , об/хв.

З огляду на велику кількість варійованих факторів, для отримання регресійних моделей, що характеризують вплив конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів робочого органу віброзмішувача-гомогенізатора на якість отриманої суміші та його продуктивність, було виконане плану-

вання та реалізація дворівневого повного факторного експерименту, який проводився у два етапи: перший етап — експерименти проводились в статичному режимі роботи змішувача; другий етап — динамічному режимі, за умови використання оптимальних значень факторів X_1, X_2, X_3 , визначених на першому етапі.

На першому етапі, з метою уточнення рівня та інтервалів варіювання для кута нахилу лопаток (X_3), був проведений попередній експеримент за методикою, що описана у роботі [14], при сталому значенні факторів X_1, X_2 . Апроксимація одержаних даних дозволила отримати функціональні залежності коефіцієнта варіації та продуктивності від кута нахилу лопаток (рис. 6), а також швидкості протікання процесу (рис. 7).

З рис. 6-7 видно, що на ділянці від 0° до 45° продуктивність установки змінюється не значно, а крива (рис. 7) набирає вигляду практично прямої лінії, що свідчить про зневажливо малу зміну якості суміші залежно від кута нахилу лопаток в цьому діапазоні. Значне зменшення коефіцієнта варіації починається з кута нахилу лопаток зверх 45° , тому діапазоном від 0° до 45° можна нехтувати як таким, що не представляє практичного інтересу, а в подальших експериментах досліджуваний параметр повинен варіюватися в діапазоні від 45° до 60° з інтервалом $7,5^\circ$.

Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів на першому етапі досліджень наведені в табл. 1.

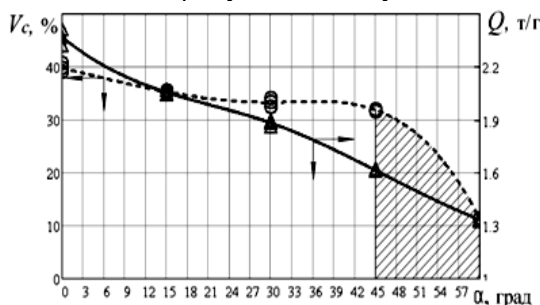


Рисунок 6. Залежність коефіцієнта варіації та продуктивності від кута нахилу лопаток

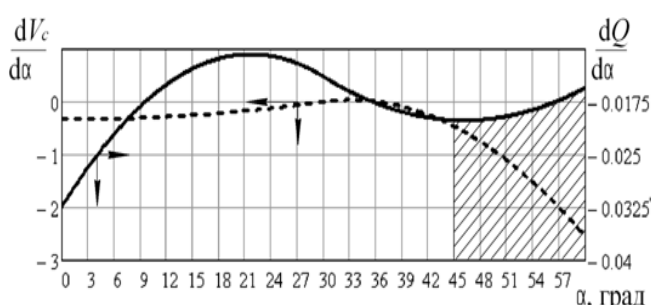


Рисунок 7. Швидкість зміни коефіцієнта варіації та продуктивності від кута нахилу лопаток

Таблиця 1 - Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів

Найменування рівнів факторів	Найменування факторів і їх позначення					
	Частота обертання валів, об/хв		Інтенсивність завантаження, м		Кут нахилу лопаток, град.	
	X_1	x_1	X_2	x_2	X_3	x_3
Нульовий рівень	375	0	0,05	0	52,5	0
Верхній рівень	500	+1	0,06	+1	60	+1
Нижній рівень	250	-1	0,04	-1	45	-1
Інтервал варіювання	125	-	0,01	-	7,5	-

На підставі стандартних матриць планування повного факторного експерименту типу 2^3 була складена ортогональна план-матриця першого порядку, в результаті проведеного регресійного ана-

лізу результатів її реалізації були отримані лінійні моделі, перевірка адекватності котрих виконувалася за допомогою критерію Фішера, що відобража-

ють залежність коефіцієнта варіації та продуктивності від обраних факторів

$$V_c = 10,04 + 0,02 \cdot X_1 - 171 \cdot X_2 + 0,31 \cdot X_3 \% ; (3)$$

$$Q = -1,7 + 0,01 \cdot X_1 + 31 \cdot X_2 + 0,04 \cdot X_3 \text{ т/г. } (4)$$

Отримані моделі були піддані графічному аналізу (рис. 8), який дозволив встановити ступінь впливу кожного фактора на параметр оптимізації та визначити їх оптимальні значення.

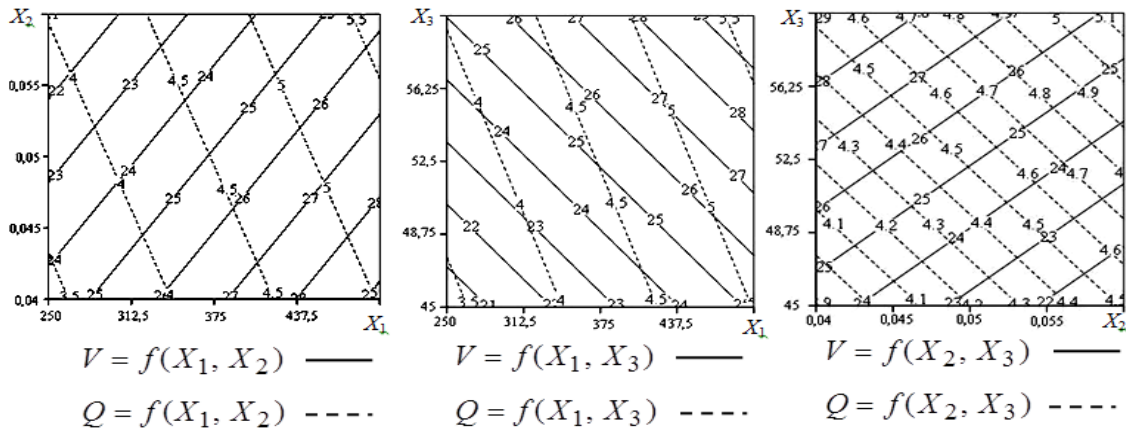


Рисунок 8. Двовимірний перетин поверхні відгуку при взаємодії факторів

Оцінка взаємовпливу факторів показала, що висока якість суміші, при достатній продуктивності машини, досягається при мінімальних значеннях обертів валів царги, кута нахилу лопаток та максимальній інтенсивності завантаження змішувача. Таким чином, для другого етапу досліджень були прийняті наступні значення факторів: частота обертання валів моделі – $X_1 = 250$ об/хв, інтенсивність завантаження (висота шару) – $X_2 = 0,06$ м, кут нахилу лопаток – $X_3 = 45^\circ$.

На другому етапі досліджень були реалізовані наступні динамічні режими роботи змішувача:

– мотор-вібратори обертаються в одному напрямку з однаковою частотою, царга при цьому

здійснює колові коливання. Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів наведені в табл. 2;

– мотор-вібратори обертаються в протилежному напрямку з однаковою частотою, царга при цьому здійснює направлені вертикальні коливання. Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів наведені в табл. 2;

– мотор-вібратори обертаються в протилежному напрямку з різною частотою обертання, царга при цьому здійснює неоднорідні еліптичні коливання з «биттям». Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів наведені в табл. 3.

Таблиця 2 - Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів в режимі роботи змішувача з коловими та направленими коливаннями

Найменування рівнів факторів	Найменування факторів і їх позначення			
	Кінетостатичний момент мотор-вібратора, кг·мм		Частота обертання валу мотор-вібратора, об/хв	
	X_4	X_4	X_5	X_5
Нульовий рівень	71	0	1221	0
Верхній рівень	80	+1	1420	+1
Нижній рівень	62	-1	1022	-1
Інтервал варіювання	9	–	199	–

Таблиця 3 - Інтервали варіювання, основні рівні та кодовані значення факторів в режимі роботи змішувача з неоднорідними еліптичними коливання з «биттям»

Найменування рівнів факторів	Найменування факторів і їх позначення			
	Кінетостатичний момент мотор-вібратора, кг·мм		Частота обертання валу мотор-вібратора, об/хв	
	X_4	X_4	лівий	правий
Нульовий рівень	71	0	1420	1022
Верхній рівень	80	+1		
Нижній рівень	62	-1		
Інтервал варіювання	9	–		

На підставі стандартних матриць планування повного факторного експерименту типу 2^2 та 2^1

була складена та реалізована ортогональна план-матриця першого порядку.

Для того, щоб внести елемент випадковості впливу факторів на результати експерименту, який необхідний для обґрунтування використання апарату математичної статистики, встановлювався випадковий порядок постановки дослідів в часі (рандомізація). Для її реалізації користувалися витяганням з урни номерів дослідів, кожен з яких зустрічався тричі. Відтворюваність процесу перевірялася по критерію Кохрена.

$$V_c^{к.к} = 18,62 - 0,034 \cdot X_4 + 0,0001 \cdot X_5 - 0,00002 \cdot X_4 \cdot X_5 \quad \%; \quad (5)$$

$$Q_{к.к} = 19,97 - 0,16 \cdot X_4 + 0,01 \cdot X_5 + 0,0001 \cdot X_4 \cdot X_5 \quad \text{т/г}; \quad (6)$$

– направлені вертикальні коливання

$$V_c^{н.в.к} = 21,01 - 0,08 \cdot X_4 - 0,001 \cdot X_5 \quad \%; \quad (7)$$

$$Q_{н.в.к} = 12,27 - 0,045 \cdot X_4 + 0,005 \cdot X_5 + 0,00005 \cdot X_4 \cdot X_5 \quad \text{т/г}; \quad (8)$$

– неоднорідні еліптичні коливання в режимі «биття»

$$V_c^{н.е.к} = 22,84 - 0,13 \cdot X_4 \quad \%; \quad (9)$$

$$Q_{н.е.к} = 4,62 + 0,04 \cdot X_4 \quad \text{т/г}. \quad (10)$$

Для визначення ступеня впливу кожного фактора на параметр оптимізації, отримані моделі були піддані графічному аналізу (рис. 9-11).

Обговорення результатів

З графіків залежності коефіцієнта варіації та продуктивності від обраних факторів (рис. 8-11) витікає, що накладення вібрацій на царгу дозволяє підвищити якість суміші на 20...32 %, а продуктивність змішувача на 70...94 %. Найбільш оптималь-

Результати досліджень

В результаті проведеного регресійного аналізу були отримані неповна квадратична та лінійна моделі, що відображають залежність коефіцієнта варіації та продуктивності від кінетостатичного моменту та частоти обертання валу мотор-вібратора при наступних динамічних режимах роботи змішувача:

– колові коливання

ним динамічним режимом роботи змішувача, з точки зору забезпечення високої якості суміші при достатній продуктивності, є режим при котрому царга здійснює направлені вертикальні коливання, це забезпечує перехід змішаного матеріалу у суспендований віброкиплячий шар, внаслідок чого знижується ефективний коефіцієнт тертя між частинками, що сприяє їх взаємному переміщенню.

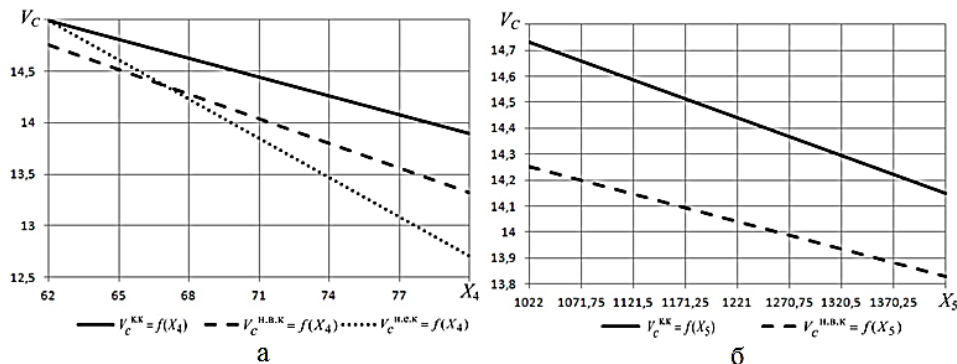


Рисунок 9. Залежність коефіцієнта варіації від динамічних режимів роботи змішувача та: а – кінетостатичного моменту; б – частоти обертання валу мотор-вібратора

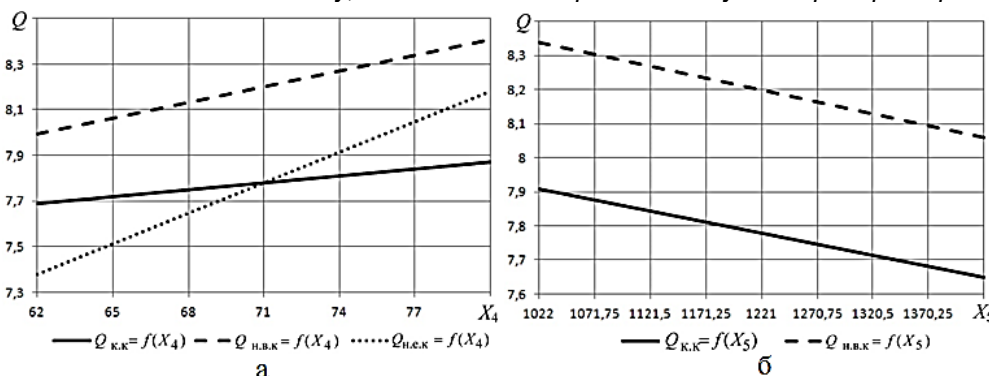


Рисунок 10. Залежність продуктивності від динамічних режимів роботи змішувача та: а – кінетостатичного моменту; б – частоти обертання валу мотор-вібратора

З представлених на рис. 9-10 залежностей видно, що найбільший вплив, як на продуктивність, так і на якість суміші надає кінетостатичний момент мотор-вібратора, причому при його збільшенні на 15 % якість суміші зростає на 15,3 %, а

продуктивність на 14 %. Збільшення частоти обертання валу мотор-вібратора на 19 % призводить до зростання якості суміші на 3 % та зменшення продуктивності на 3,4 %.

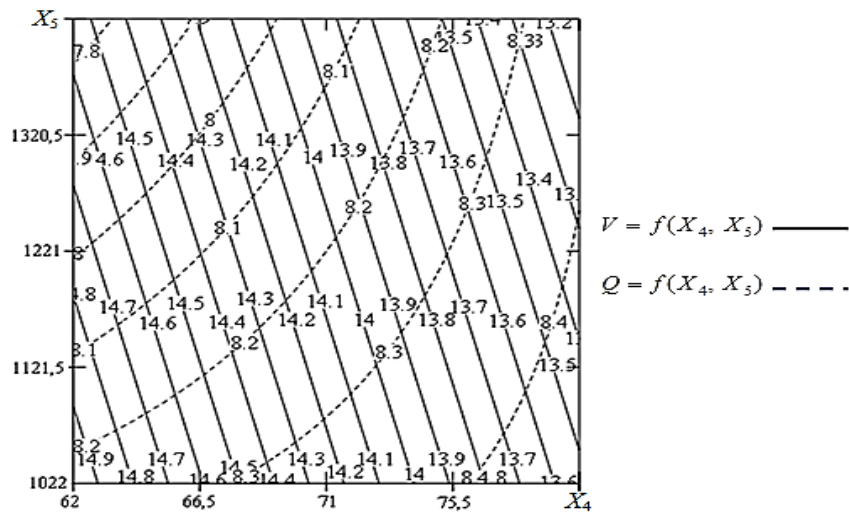


Рисунок 11. Двовимірний перетин поверхні відгуку при взаємодії факторів в режимі направлених вертикальних коливань

Оцінка взаємовпливу кінетостатичного моменту та частоти обертання валу мотор-вібратора при направлених вертикальних коливаннях (рис. 11) показала, що найвища якість суміші (13,2 %) відповідає максимальному значенню як кінетостатичного моменту (80 кг·мм), так і частоти обертання (1420 об/хв), найбільше значення продуктивності (8,4 т/г) відповідає максимальному значенню кінетостатичного моменту (80 кг·мм) і мінімальній частоті обертання (1022 об/хв).

Висновки

На основі планування і реалізації повного факторного експерименту одержано регресійні залежності технологічних показників портального багатороторного віброзмішувача-гомогенізатора безперервної дії у вигляді поліномів з урахуванням взаємного впливу варійованих конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, з'ясовано ступінь впливу кожного з факторів на продуктив-

ність і якість змішаного матеріалу. Визначені оптимальні конструктивні та кінематичні параметри робочого органу змішувача, а саме: частота обертання валів царги – 250 об/хв, інтенсивність завантаження (висота шару) – 0,06 м, кут нахилу лопаток – 45°. Встановлено позитивний вплив вібрації на якість суміші та продуктивність змішувача, яка дозволяє збільшити технологічні показники на 26 % та 82 % відповідно, з використанням оптимального динамічного режиму. Для забезпечення підвищеної якості суміші при достатній продуктивності (не менше 8 т/г), є режим при котрому царга здійснює направлені вертикальні коливання, де раціональний діапазон вібраційних прискорень царги змішувача становить від 39 до 56 м/с², при чому збільшення прискорень повинно виконуватись за рахунок підвищення амплітуди коливань, а не збільшення їх частоти.

Бібліографічний опис

1. Ефименко Г.Г., Игнатов Н.В. Состояние, проблемы, перспективы железорудной промышленности и производства окискованного металлургического сырья. *Современные проблемы металлургии*: сб. науч. тр. Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 1999. Вып. 1. С. 23-41.
2. Носков В.А. Подготовка и переработка железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 2. С. 109-113.
3. Спосіб агломераційної переробки замасної прокатної окалини: пат. 6238 Україна, МПК С22В 1/16. № u200500033; заявл. 04.01.2005; опубл. 15.04.2005, Бюл. № 4.
4. Serebrennikov A., Kuzmichev V. Design Calculations for Vibration Mixer Chain Drive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Mar. 2018 Vol. 327 (042098)*. DOI:10.1088/1757-899X/327/4/042098.
5. Abdullahi A. A., Choudhury I. A., Hossain A., Azuddin M. Design and Analysis of Feedstock Mixing Mechanism for Micro Metal Injection Moulding. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 105, P. 798-807. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.05.074
6. Hadjeb A., Bouzit M., Kamla Y., Ameer H. A new geometrical model for mixing of highly viscous fluids by combining two-blade and helical screw agitators. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2017. Vol. 19, № 3. P. 83-91.

7. Zaslenskiy V., Popolov D., Zaslenskiy I. Industrial research of portal mixer-homogenizator. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 2/1(74). P. 20-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40536.
8. Вібромішувач-гомогенізатор: пат. 97414 Україна, МПК B01F 7/00, B01F 11/00. № u201411328; заявл. 17.10.14; опубл. 10.03.15, Бюл. № 5.
9. Баранцева, Е. А., Мизонов В. Е., Хохлова Ю. В. Распределение времени пребывания частиц сыпучего материала в лопастном смесителе непрерывного действия *Химическая промышленность сегодня*. 2009. № 3. С. 50-53.
10. Баканов М. В. Разработка и исследование непрерывно действующего смесительного агрегата вибрационного типа для получения комбинированных продуктов питания: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.12. Кемерово, 2001. 16 с.
11. Бакин И.А. Разработка смесительного агрегата для переработки сыпучих материалов с небольшими добавками жидкости: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.18.04. Кемерово, 1998. 16 с.
12. Гусев Ю.И., Карасев И.Н., Кольман-Иванов Э.Э. Конструирование и расчет машин химических производств: учебник для машиностроительных ВУЗов по специальности «Химическое машиностроение и аппаратостроение». Москва, Машиностроение, 1985. 408 с.
13. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Київ: Техника, 1975. 168 с.
14. Засельский В.И., Пополов Д.В., Засельский И.В. Экспериментальные исследования по оптимизации параметров смесителя-гомогенизатора *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління*. 2014. № 3-4. С. 33-39.

References

1. Efimenko G.G., Ignatov N.V. Condition, problems, perspectives of iron ore industry and the production of roasted metallurgical raw materials. *Modern problems of metallurgy*: Dnipropetrovsk: GNPP "System Technologies", 1999. Proceed. 1. P. 23-41.
2. Noskov V.A. Preparation and processing of iron-containing waste in metallurgical production of Ukraine. *Metallurgical and mining industry*. 2000. Vol. 2, P. 109-113.
3. Method of sinter processing of oiled rolling mill: Pate. 6238 Ukraine, IPC C22B 1/16. № u200500033; stated. 04.01.2005; published April 15, 2005, Bull. No. 4.
4. Serebrennikov A., Kuzmichev V. Design Calculations for Vibration Mixer Chain Drive. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Mar. 2018* Vol. 327 (042098). DOI:10.1088/1757-899X/327/4/042098.
5. Abdullahi A. A., Choudhury I. A., Hossain A., Azuddin M. Design and Analysis of Feedstock Mixing Mechanism for Micro Metal Injection Moulding. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 105, P. 798-807. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.05.074
6. Hadjeb A., Bouzit M., Kamla Y., Ameer H. A new geometrical model for mixing of highly viscous fluids by combining two-blade and helical screw agitators. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2017. Vol. 19, №. 3. P. 83-91.
7. Zaslenskiy V., Popolov D., Zaslenskiy I. Industrial research of portal mixer-homogenizator. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 2/1(74). P. 20-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40536.
8. Vibratory homogenizing mixer: Pat. 97414 Ukraine, IPC B01F 7/00, B01F 11/00. No. u201411328; stated. 17.10.14; published March 10, 2015, Bull. No. 5.
9. Barantsev, E. A., Mizonov V. E., Khokhlova Y. V. Distribution of time the presence of particles of bulk material in the blade continuous mixer. *The chemical industry today*. 2009. Vol. 3. P. 50-53.
10. Bakanov M. V. Development and research of continuously operating mixing unit vibrating type for obtaining combined food products: abstract of a thesis Candidate of science: 05.18.04, 05.18.12. Kemerovo, 2001. 16 p.
11. Bakin I. A. Development of mixing unit for bulk processing materials with small liquid additives: abstract of a thesis Candidate of science: 05.18.04. Kemerovo, 1998. 16 p.
12. Gusev Yu.I., Karasev I.N., Kolman-Ivanov E.Y. Designing and calculating machines for chemical production: Textbook of machine-building institutes specialty "Chemical engineering and machine building". Moscow, Machine-building, 1985. 408 p.
13. Vinarsky M. S., Lurie M. V. Planning an experiment in technological researches. Kiev: Technics, 1975. 168 p.
14. Zaslenskiy V. I., Popolov D.V., Zaslenskiy I. V. Experimental research on optimization of parameters of vibratory homogenizing mixer parameters new technology. *Scientific herald of the Kremenchug University of Economics, information technology and management*. 2014. Vol. 3-4. - P. 33-39.

Стаття поступила 11.01.2019