

У процесі остаточного контролю ведеться коректурний аркуш, на підставі якого складається акт приймання роботи в цілому. Оскільки керівник групи несе відповідальність як і виконавець за якість і терміни виконання робіт, тому він зобов'язаний надавати допомогу виконавцям у вирішенні технологічних і організаційних питань.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** В процесі дослідження проаналізовано процеси організації прогностичних та проектних робіт із землеустрою, виявлено особливості управління зазначеними видами робіт. Розглянуто можливості організації та управління виробництвом вишукувальних робіт із землеустрою на прикладі коригування топографічного матеріалу. Визначено, що керівництво прогностичною, проектною та вишукувальною роботою здійснюється на основі забезпечення скоординованості організації робіт виробництва, планування та управління, роль яких обумовлюється рядом факторів (складністю та обсягами виконання робіт, чисельністю працівників, підрозділів та ін.). Виконання проектних та вишукувальних робіт зумовлює необхідність відповідної структури управління, планування робіт нормування і досвід роботи. Всі ці елементи є складовою частиною землевпорядного виробництва, що включає планово-організаційну діяльність членів суспільства у сфері землеустрою.

### Список літератури

1. Лазарева О. В. Організація і управління землевпорядним виробництвом. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. 160 с.
2. Ляків С. Ю. Організація і управління виробництвом. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. 121 с.
3. Балакірський В.Б., Червоний В.М., Петренко О.Я., Гарбуз М.М. Геодезичні роботи при землеустрої. Харк. нац. аграр. ун-т ім. В. Докучаєва, 2008. 226 с.
4. Третяк А. М. Землевпорядне проектування: Теоретичні основи і територіальний землеустрій. К. : Вища освіта, 2006. 528 с.
5. Левитская Т. И. Основы геодезии. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 88 с.
6. Третяк А.М., Третяк В.М., Третяк Р.А. Землевпорядне проектування: розроблення проектів землеустрою щодо встановлення (відновлення) меж населених пунктів. Херсон: Олді-Плюс, 2017. 180 с.
7. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
8. Закон України «Про землеустрій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>
9. Земельний кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
10. Закон України «Про державний земельний кадастр» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>

Рукопис подано до редакції 12.04.2021

УДК 621.929.6:622.781

В. Й. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Д. В. ПОПОЛОВ,

І. В. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти

Технологічний навчально-науковий інститут Державного університету економіки та технологій  
М. І. ШЕПЕЛЕНКО, асп., Криворізький національний університет

### ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ «РОТОРНИЙ ЗМІШУВАЧ-КОНВЕЄР» ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ

**Мета.** Основним процесом в технологічних схемах підготовки шихтових матеріалів сучасного металургійного виробництва є процес змішування. Для реалізації процесу змішування може бути застосований роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії. Метою лабораторних досліджень було отримання лінійної математичної моделі процесу змішування в технічній системі безперервної дії «роторний змішувач-конвеєр», а також визначення її раціональних конструктивних параметрів, що впливають на якість змішування матеріалу.

**Методи дослідження.** В даній науковій праці представлена методика досліджень, яка включає аналітичний аналіз який виконувався на основі представлення динаміки руху матеріальної точки та твердих тіл, що рухаються в вібраційній горизонтальній площині при їх безпосередній взаємодії. Також застосовано метод планування повного

факторного експерименту, виконана перевірка адекватності моделі по критерію Стьюдента та використані математичні методи обробки даних.

**Наукова новизна.** Вперше для лабораторного зразка технічної системи «роторний змішувач-конвеєр» отримані лінійні залежності, які характеризують гомогенність готової суміші при раціональній взаємодії кінематичних та конструктивних параметрів роторного змішувача при вібраційному прискоренні та навантаженої конвеєрної стрічки. З дослідження встановлено, що для дослідної системи «роторний змішувач-конвеєр», при постійних конструктивних та кінематичних параметрах стрічки конвеєра якість змішування прямопропорційно залежить від висоти шару матеріалу.

**Практична значимість.** В статті наведено схему та принцип роботи лабораторного стенду системи роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії та стрічковий конвеєр, також описаний хід проведення попереднього та повного факторного експериментів. Встановлений зв'язок між кінематичними та конструктивними елементами робочого органу змішувача, висотою шару транспортуючого матеріалу та вібраційного прискорення конвеєрної стрічки, що впливають на якість змішування матеріалу. Визначені раціональні параметри системи «роторний змішувач-конвеєр».

**Результати.** Визначено основні фактори, які безпосередньо впливають на якість змішування; наведений хід проведення експерименту; отримана математична модель, яка описує процес змішування в технічній системі безперервної, горизонтально-направленої дії.

**Ключові слова:** змішувач, матеріал, шар, експеримент, робочий орган, ротор, фактор, змішувач, технічна система, конвеєр.

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-29-35

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Як відомо операція змішування є базовою в металургічних технологічних схемах, адже за нею тягнеться подальший технологічний цикл. Також відомо, що змішувальне устаткування схильне до постійного зносу внаслідок безперервного тертя при транспортуванні шихтової суміші. Для усунення вищезгаданих недоліків доцільним є удосконалення роторного змішувача безперервної-горизонтально направленої дії шляхом створення додаткового вібраційного впливу на конвеєрну стрічку. Для визначення основних конструкційних та кінематичних залежностей технічної системи «роторний змішувач-конвеєр» авторами був розроблений лабораторний стенд, який є зменшеним прототипом реального промислового об'єкту.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз найбільш сучасних концептуальних робіт [1-4] присвячених лабораторним дослідженням апаратів для змішування показав, що основоположним є встановлення найбільш значущих факторів, що мають безпосередній вплив на якість змішування суміші.

**Постановка завдання.** Задачею досліджень є отримання лінійної математичної моделі процесу змішування в технічній системі безперервної дії «роторний змішувач-конвеєр» та визначення її раціональних конструктивних та кінематичних параметрів, що впливають на якість змішування матеріалу.

**Викладення матеріалу та результати.** Для можливості оцінки якісних факторів що впливають на суміш, яка одержується в системі «роторний змішувач-конвеєр», та оцінки продуктивності даної системи, виготовляємо її лабораторну модель, яка наведена на рис. 1.

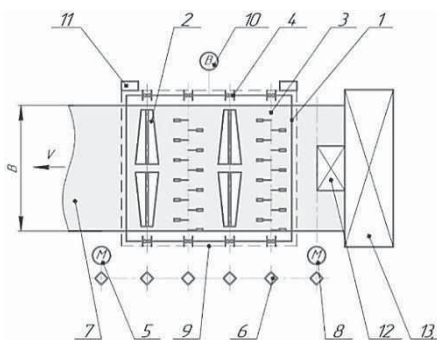


Рис. 1 Схема лабораторної установки

Лабораторний стенд роторного змішувача (рис.1) представлений у вигляді системи конвеєр-роторний змішувач та складається з корпусу 1, в якому встановлені вали з двома типами насадок, лопатками 2 або з гнучкими тросовими елементами 3; вали опираються на шарикопідшипники 4; обертання валів здійснюється двома синхронізованими двигунами постійного струму 5, типу МВ-42, через ланцюгову передачу 6 з передатним відношенням  $i = 2$ ; конвеєрної стрічки 7, встановленої під змішувачем, з відповідним електродвигуном 8, типу МВ-42 (при цьому конвеєрна стрічка 7 має постійну ширину  $B$  та рухається з постійною швидкістю  $V$ ); вібробудником 9 з вібробудником 10, типу VV038/4 з робочою частотою 50 Гц, та датчиками фіксування вібраційного прискорення 11, типу Wintact WT63B з точністю вимірювання 0,001 Гц; двох бункерів 12 та 13 для звичайного та ключового компонентів. Для дослідження також використовувались ваги марки

РН10Ц13У ГОСТ 13882-68; частотний перетворювач типу, SYSDRIVE 3G3HV INVERTER; амперметр 3365-1; стробоскоп СШ-2; ємність для змішаного матеріалу та електронний секундомір. Фото моделі технічної системи «роторний змішувач-конвеєр» наведено на рис 2.

Планування досліджень проточного змішувача спрямовано на одержання максимальної інформації при мінімальних витратах на експериментування, що дозволить визначити значимість факторів, описати процес змішування математичною моделлю та систематизувати експериментальний матеріал.

Оскільки метою досліджень є математичний опис процесу змішування матеріалів в системі «роторний змішувач-конвеєр» та вироблення технологічних висновків, виконуємо планування й проведення експерименту за такою послідовністю: вибір параметрів оптимізації; вибір факторів; визначення області оптимуму; аналіз отриманих результатів.

В якості параметра оптимізації приймаємо показники, які найбільше повно відображають якість отриманої суміші й ефективність процесу змішування матеріалу в системі «роторний змішувач-конвеєр», а саме коефіцієнт варіації. Коефіцієнт варіації визначаємо по формулі

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_1^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (1)$$

де  $\bar{c}$  – середнє арифметичне значення концентрації ключового компонента у всіх  $n$  пробах суміші, %;  $c_i$  – концентрація ключового компонента в  $i$ -й пробі суміші, %.

Продуктивність визначаємо по формулі

$$Q = 3600 \cdot B \cdot H \cdot V \cdot j, \quad (2)$$

де  $H$  – висота шару матеріалу;  $B$  – ширина конвеєрної стрічки;  $V$  – швидкість конвеєрної стрічки;  $j$  – питома вага матеріалу.

Так як величини  $B$ ,  $V$  та  $j$  є постійними, можна ототожнити, що продуктивність безпосередньо залежить від висоти шару матеріалу.

Коефіцієнт варіації у статистичному змісті є ефективним, а це значить, що він визначається з достатньою точністю й має ясний фізичний зміст, що скорочує можливість помилки при визначенні обраних параметрів оптимізації. Крім цього обрані параметри мають однозначність, що дозволяє визначити одне значення параметра оптимізації для загального процесу.

Прийняті фактори, згідно з [5], повинні відповідати наступним вимогам: між факторами не повинно бути зв'язку; фактори повинні мати сумісність; фактори повинні досить точно вимірюватися й підтримуватися на певному рівні.

З огляду на перераховані вимоги, приймаємо наступні фактори: інтенсивність завантаження (висота шару)  $X_1$ , мм; частота обертання валів моделі  $X_2$ ,  $c^{-1}$ ; вібраційне прискорення стрічки конвеєра  $X_3$ ,  $m/c^2$ .

Варіювання факторів здійснюється на двох рівнях, тому задається верхній і нижній рівні фактору, а також нульова відмітка. Інтервал між нульовим та верхнім, а також нульовим та нижнім рівнями (інтервал варіювання) обирається однаковий. При виборі інтервалу варіювання є певні труднощі: інтервал варіювання повинен бути досить малим, щоб одержати лінійне рівняння, але разом з тим і досить великий щоб не одержати помилкового висновку про незначущий вплив того чи іншого фактору [6].

З огляду на вище сказане, приймали наступні рівні варіювання факторів, що зводяться до табл. 1.

Таблиця 1

Рівні вимірювання факторів

Рівень	Висота шару, мм	Число обертів, об/хв	Прискорення, $m/c^2$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Верхній (+1)	20	164	25
Нульовий (0)	15	148	15
Нижній (-1)	10	132	5
Інтервал варіації	5	16	15

У дослідженнях механізму перемішування матеріалу застосовувалась так названа ідеальна система, тобто система сферичних часток одного виду матеріалу однакових розмірів [7]. З огляду на вище перераховані вимоги, як матеріал для дослідження застосовуємо пшоно. Щоб виділити в цій системі компоненти, частина пшоно забарвлюється в червоний колір та використовується як ключовий компонент.

Експеримент проводили при варіаціях встановлення роторів різних типів (лопастного і тросового) та їх комбінацій над конвеєрною стрічкою при наступних режимах роботи системи «роторний змішувач-конвеєр»: частота обертання валів  $\omega = 14 \div 17 \text{ c}^{-1}$ ; висота шару матеріалу  $H = 0,005 \div 0,025 \text{ м}$ ; пропорція ключового компонента в суміші становила 10% від загальної кількості матеріалу.

Перед проведенням дослідів перевірялася вага матеріалу. Потім матеріал викладався шарами на конвеєрну стрічку. Нижній шар формувался із не фарбованого пшоно, тоді як верхній - із пофарбованого у червоний колір. Після завершення формування шарів вмикалося живлення електродвигуна та проводились вимірювання частоти обертів валів за допомогою стробоскопа та вимірювання вібраційного прискорення за допомогою датчика Wintact WT63B. Далі вмикався секундомір, який зупиняли при повному витoku матеріалу з конвеєрної стрічки в розміщену під нею ємність. З ємності (піддону) брались проби суміші, з яких відокремлювали частки червоного та природнього кольорів, які далі зважували і одержували їх співвідношення. Одержані дані фіксувались в лабораторному журналі. Кожен дослід повторювався три рази.

Оцінку отриманих сумішей у результаті проведення дослідження на моделі ротору здійснювали з використанням формул (1) та (2).

В табл. 2 наведені дані, що відображають коефіцієнт варіації в залежності від варіантів розташування різних типів роторів. Умовні позначення в таблиці «Л» - лопастний ротор, «Т» - тросовий ротор. Результати проведених досліджень відображені в графіках, що відображають залежність коефіцієнта варіації: від типу роторів та частоти обертання рис. 3; від висоти шару матеріалу рис. 4.

Таблиця 2

Залежність коефіцієнту варіації від комбінацій типів роторів

Варіант розташування та послідовності роторів	Коефіцієнт варіації, %				
	1, $\text{c}^{-1}$	14,5 $\text{c}^{-1}$	15 $\text{c}^{-1}$	16 $\text{c}^{-1}$	17 $\text{c}^{-1}$
«Л»	8,46	6,50	6,66	6,14	3,49
«Т»	8,14	5,52	7,81	5,34	5,78
«Л»+«Т»	3,14	6,35	5,51	3,67	4,01
«Т»+«Л»	6,53	4,65	5,14	3,80	3,14

З проілюстрованих графіків видно, що найбільший вплив на якість змішування матеріалу має поєднання тросового та лопастного роторів («Т+Л»). Неменше вагомим фактором є висота шару матеріалу, але варто відмітити, що зі збільшенням висоти шару матеріалу покращується якість змішування. Встановлено, що для дослідної системи «роторний змішувач-конвеєр», при постійних конструктивних та кінематичних параметрах стрічки конвеєра якість змішування прямопропорційно залежить від висоти шару матеріалу.

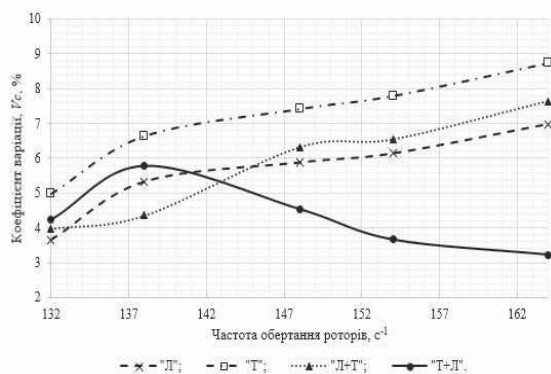


Рис. 3 Залежність коефіцієнту варіації від типу ротору та частоти обертання

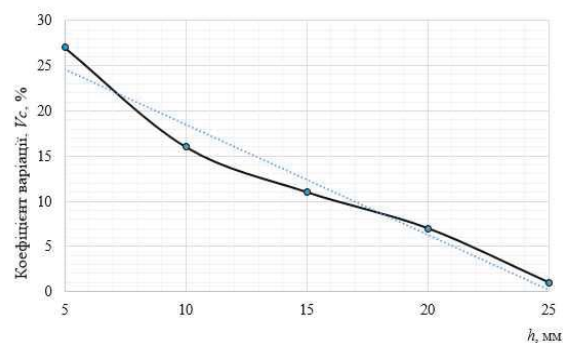


Рис. 4 Залежність коефіцієнту варіації від висоти шару матеріалу



За результатами попереднього експерименту визначено, що якість суміші  $V_c$  підвищувалась при наступних параметрах: частота обертання валів роторів  $\omega = 15 \text{ c}^{-1}$ ; висота шару матеріалу  $H = 0,02 \text{ м}$ , при більшому завантаженні ( $H \leq 0,025 \text{ м}$ ) присутнє значне прокидання матеріалу за борти корпусу установки; застосування комбінації тросового та лопастного роторів.

Для одержання математичної моделі процесу змішування матеріалу на роторному змішувачі застосовувався повний факторний експеримент типу  $2^3$ . Для застосування стандартної ортогональної план-матриці експерименту переводимо натуральні фактори в безрозмірні величини, по формулі

$$x_i = (x_i - x_i^0) / \Delta x_i, \quad (3)$$

де  $x_i$  – натуральне значення  $i$ -го фактору на певному рівні (верхньому або нижньому);  $x_i^0$  – натуральне значення  $i$ -го фактору на нульовому рівні;  $\Delta x_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактору.

Натуральні й кодовані значення факторів обираються з табл.1. Досліди проводились при різних режимах роботи моделі [6]. Для того щоб додати елемент випадковості впливу факторів на результати експерименту, а це необхідно для обґрунтування використання апарата математичної статистики, установлюється випадковий порядок постановки дослідів у часі.

Оцінку якості отриманих сумішей у результаті проведення дослідження здійснювали по формулі (1). Також розраховувались по формулі (2) та фіксувались значення продуктивності при різних режимах роботи системи «роторний змішувач-конвеєр». При цьому контролювалась потужність електродвигунів. Значення коефіцієнта варіації та потужності вносимо в табл.3.

Таблиця 3

Отримані дані

№ досліду	Потужність			Параметри оптимізації							
	$N_1, \text{ Вт}$	$N_2, \text{ Вт}$	$N_3, \text{ Вт}$	серія дослідів			середнє	серія дослідів			середнє
				$Q_1, \text{ т/г}$	$Q_2, \text{ т/г}$	$Q_3, \text{ т/г}$		$V_{c1}, \%$	$V_{c2}, \%$	$V_{c3}, \%$	
1	0,27	0,27	0,27	1,178	1,074	1,14	1,13	15,78	14,65	15,65	15,36
2	0,31	0,31	0,31	2,35	2,42	2,416	2,40	2,54	2,78	2,98	2,77
3	0,30	0,30	0,305	2,045	2,07	2,052	2,06	4,65	4,87	4,32	4,61
4	0,28	0,28	0,28	1,88	1,87	1,98	1,91	7,46	7,65	7,65	7,59
5	0,28	0,27	0,28	1,62	1,65	1,67	1,65	7,65	6,65	7,90	7,40
6	0,3	0,3	0,29	1,34	1,35	1,45	1,38	12,48	11,64	12,64	12,26
7	0,305	0,3	0,305	1,15	1,023	1,147	1,11	15,65	14,57	14,65	14,96
8	0,275	0,275	0,28	1,24	1,235	1,34	1,27	10,54	11,49	11,78	11,27

Отримані результати дозволяють описати залежність якості змішування матеріалу та продуктивності від обраних факторів за допомогою лінійної моделі

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3, \quad (4)$$

де  $b_0, b_i$  – коефіцієнти регресії, які визначаються по формулам

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad b_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}, \quad (5)$$

де  $\bar{y}_i$  – середнє арифметичне значення відгуку при  $i$ -тому сполученні факторів;  $x_i$  – кодоване значення  $i$ -го фактору на  $i$ -тому поєднанні факторів, з табл.3.

Розрахункові значення коефіцієнтів регресії наведені в табл.4.

З урахуванням розрахункових значень коефіцієнтів регресії було отримано лінійні математичні моделі, які відображають залежність якості суміші і продуктивності від обраних факторів

$$V_c = 9,527 - 4,019 \cdot x_1 - 0,823 \cdot x_2 - 0,934 \cdot x_3, \quad (6)$$

$$Q = 1,614 - 0,373 \cdot x_1 - 0,129 \cdot x_2 - 0,147 \cdot x_3, \quad (7)$$

Оцінку адекватності отриманої моделі перевіряли за допомогою критерія Стьюдента [6,7], де середньоквадратична помилка коефіцієнтів регресії визначалась як [8]

Таблиця 4  
Розрахункові значення коефіцієнтів регресії

$V_c, \%$		$Q, \text{ т/г}$	
коэф. рег.	значення	коэф. рег.	значення
$b_0$	9,527	$b_0$	1,614
$b_1$	-4,019	$b_1$	0,373
$b_2$	-0,823	$b_2$	0,129
$b_3$	-0,934	$b_3$	0,147

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n \cdot n_1 \cdot (m-1)}}, \quad (8)$$

де  $n_1$  – кількість дослідів з повторами;  $m$  – кількість повторів кожного дослідів;  $y_{ij}$  – значення параметра оптимізації  $i$ -го дослідів в  $j$ -у повторному дослідів;  $\bar{y}_i$  – середнє значення параметра оптимізації в  $i$ -у дослідів;  $n$  – кількість дослідів в матриці.

Число степенів свободи критерія Стюдента було одержано за формулою

$$f = n \cdot (m-1). \quad (9)$$

А довірчий інтервал визначався як

$$\Delta b_i = \pm t_{(0,05f)}^{мабл} \cdot S_{bi} \approx \pm 2 \cdot S_{bi}, \quad (10)$$

де  $\pm t_{(0,05f)}^{мабл}$  - табличне значення критерію Стюдента при 5% рівні значимості.

Адекватність моделі вважалась обґрунтованою, якщо його розрахункове значення було менше або дорівнювало його табличному значенню при 5%-му рівні значимості. Здійснивши розрахунки за (8) – (10) було встановлено, що рівняння (6) та (7) адекватно описують процес, так як  $\Delta b_{i(vc)} = 0,582$ ;  $\Delta b_{i(Q)} = 0,06$ .

Отримані регресійні рівняння (6) та (7) були піддані графічному аналізу, що дозволив наочно встановити ступінь впливу кожного фактору на параметр оптимізації. З наведених залежностей (рис. 5, 6) видно, що найбільш впливовим фактором є висота шару матеріалу ( $H = 20$  мм).

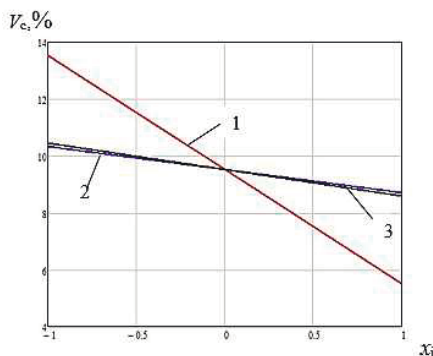


Рис. 5 Залежність коефіцієнта варіації від факторів: 1 – інтенсивність завантаження (висота шару); 2 – частота обертання валів моделі; 3 – вібраційне прискорення стрічки конвеєра

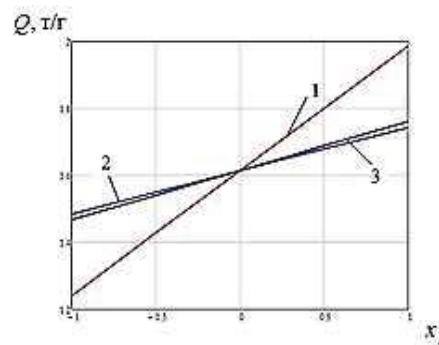


Рис. 6 Залежність продуктивності від факторів: 1 – інтенсивність завантаження (висота шару); 2 – частота обертання валів моделі; 3 – вібраційне прискорення стрічки конвеєра

Для обраних діапазонів частот обертання роторів та прискорень коливань конвеєрної стрічки при їх безпосередньому збільшенні вникає тенденція і до збільшення якості змішування суміші, а саме при збільшенні оборотів ротора на 15 %, а при прискоренні до 16 %. З приведеного графіку на рис.6 залежності продуктивності від дослідних факторів витікає, що зі збільшенням висоти шару матеріалу зростає і продуктивність змішувача. Встановлено, що для дослідної системи конвеєр-роторний змішувач, при постійних конструктивних та кінематичних параметрах стрічки конвеєра якість змішування прямопропорційно залежить від висоти шару матеріалу.

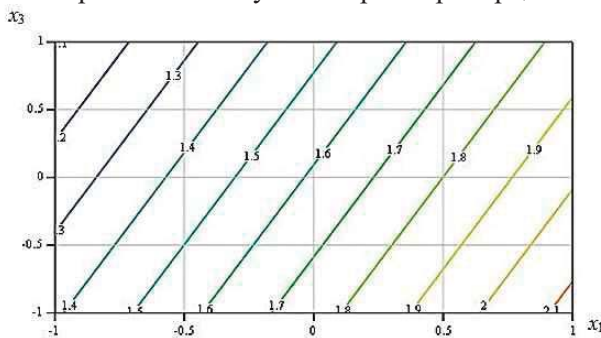


Рис.7 Двовимірний переріз поверхні відгуку при взаємодії факторів  $x_1$  та  $x_3$

Для оцінки взаємовпливу інтенсивності завантаження та вібраційного прискорення стрічки конвеєра був побудований графік двовимірного перерізу поверхні відгуку (рис. 7). З графіку видно, що максимальне значення продуктивності відповідає максимальним значенням інтенсивності завантаження та вібраційного прискорення стрічки.

Так як для опису процесу змішування використовувались два параметри оптимізації, була проведена оцінка кореляції між коефіцієнтом варіації та продуктивністю, коефіцієнт кореляції склав 0,96, що вказує

на сильну кореляційну залежність.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** В результаті проведених досліджень була отримана лінійна математична модель процесу змішування в технічній системі безперервної дії «роторний змішувач-конвеєр», а також визначені її раціональні конструктивні параметри, що впливають на якість змішування матеріалу.

### Список літератури

1. **Винарский М.С.** Планирование эксперимента в технологических исследованиях / **М.С. Винарский, М.В. Лурье.** - К.: Техника, 1975. - 168 с.
2. **Ковшов В.Н.** Постановка инженерного эксперимента / **В. Н. Ковшов.** - Киев-Донецк: Вища школа, 1982. - 120 с.
3. **Белай Г.Е.** Организация металлургического эксперимента - учеб. пособие [для вузов] / **Г. Е. Белай, В. В. Дембовский, О. В. Соценко** / под ред. В. В. Дембовско-го. - М.: Металлургия, 1993. - 256 с.
4. **Гуливец А.А.** Методика поиска решения творческих задач по созданию способов воздействия на материальные объекты / **А. А. Гуливец, И. В. Засельский, Г. Л. Зайцев, К. В. Федоренко** // Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі: Зб. наук. праць. Вип. V. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НметАУ, 2008. – С. 245 – 247.
5. **Стренк Ф.** Перемешивание а аппараты с мешалками / **Ф. Стренк** // Пер. с польск. под ред. Щупляка И. А. — Л.: «Химия», 1975. — 384 с.
6. **Белай Г.Е.** Организация металлургического эксперимента / **Г.Е. Белай, В.В Дембовский. и др.** // Учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1993. — 256 с.: ил. — ISBN 5-229-00835-0.
7. **Бакланов Н.А.** Перемешивание жидкостей / **Н.А. Бакланов** // Л.: Химия, 1979. — 64 с.: ил.
8. **Рыжов П. А.** Математическая статистика в горном деле / **П. А. Рыжов.** - М.: Высшая школа, 1973. - 287 с.
9. **Ахназаров С. Л.** Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии – учеб. пособие [для химико-технологических вузов] / **Ахназаров С. Л., Кафаров В. В.** – М.: Высш. школа. – 1978. – 319 с., ил.
10. **Учитель А. Д.** Экспериментальные исследования динамики вибромашины, работающей в режиме «биений» / **А. Д. Учитель, В. И. Засельский, С. В. Швед, И. В. Засельский** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 3. – С. 102–104.

Рукопис подано до редакції 01.03.2021

УДК 658.567.1:621.794.42]:621.774

Є.А. МАНІДІНА, К.В. БЕЛОКОНЬ, О.С. ВОДЕННІКОВА,  
В.Г. РИЖКОВ, кандидати техн. наук, доценти, О.О. ТРОЇЦЬКА, канд. біол. наук, доц.  
Запорізький національний університет

## УТИЛІЗАЦІЯ СОЛЯНОКИСЛИХ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТРАВІЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

**Мета.** Визначити параметри переробки солянокислих відпрацьованих травільних розчинів прокатного виробництва з отриманням залізного коагулянту.

**Методи дослідження.** При виконанні роботи використовувались санітарно-гігієнічні, аналітичні, математичні, статистичні методи дослідження. Статистична обробка результатів проводилась з використанням комп'ютеризованої програми Microsoft Excel.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що за результатами проведених експериментальних досліджень у роботі:

встановлено вплив параметрів обробки відпрацьованих травільних розчинів на якість отриманого коагулянту;  
розроблена апаратно-технологічна схема переробки відпрацьованих травільних розчинів з отриманням залізного коагулянту.

**Практична значимість.** Запропонована технологія утилізації солянокислих відпрацьованих розчинів, яка може бути рекомендована для використання на металургійних підприємствах України. Матеріали роботи впроваджені у навчальний процес кафедри прикладної екології та охорони праці Запорізького національного університету.

**Результати.** Встановлено, що найбільш перспективними методами обробки солянокислих відпрацьованих травільних розчинів є методи з отриманням товарного продукту. Визначено, що переробку солянокислих відпрацьованих травільних розчинів найбільш доцільно проводити з одержанням коагулянту. Встановлено, що при витраті повітряної суміші, що містить озон, 0,5 л/хв повне окиснення ферум (II) хлориду до ферум (III) хлориду відбувається через 36 хв від початку обробки. При витраті повітряної суміші, що містить озон, 1,5 л/хв повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду відбувається через 18 хв від початку обробки. Встановлено, що повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду за допомогою озону відбувається в 1,5 рази швидше ніж киснем. Експериментально встановлено, що ефективна доза коагулянту ферум (III) хлориду для осадження коричневого залізного