

4. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И.Островский. – Л.: Ленинградский университет, 1981. – 141с.
5. Коротков В.А. Геометрия и напряженное состояние ориентированных шлифовальных зерен с контролируемой формой / В.А.Коротков, Е.ММинкин // Обработка металлов. – 2014. – №2 (64). – С.62-77.
6. Рекач В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости / В.Г.Рекач. – М.: Высшая школа, 1977. – 216с.

Надійшла до редколегії 27.04.2017.

УДК 621.867.427

ЧАСОВ Д.П., к.т.н., доцент
КОРОЛЬ М.О., студент
КРАЄВСЬКИЙ О., студент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО КОНВЕЄРА З УРАХУВАННЯМ ДОДАТКОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ

Вступ. Однією з гострих проблем машинобудування України є переробка та утилізація відходів процесів механічної обробки – стружки і шламу. Виходячи з того, що процес переробки та утилізації здійснюється не на території механічних цехів, то актуальною стає важлива задача – транспортування відходів від верстата на наступні етапи переробки.

Під час теоретичних досліджень отримано математичну залежність, яку необхідно перевірити експериментально. Планування експерименту дає досліднику математично обґрунтовану схему логічних операцій, дозволяє управляти експериментом при неповному знанні механізму фізичних явищ [1-3]. Замість традиційного однофакторного експерименту, коли при проведенні дослідів по черзі варіюється тільки один фактор і основним завданням дослідника є фіксування всіх інших факторів на незмінному рівні, при плануванні експерименту рекомендується одночасно змінювати всі досліджувані фактори згідно з певним планом експерименту. Цим досягається скорочення обсягу експериментів і отримання більш достовірних залежностей, які враховують взаємодію факторів [4].

Постановка задачі. Головною метою роботи є визначення при проведенні багатофакторних експериментальних досліджень найбільш ефективних величин досліджуваних параметрів шнекового конвеєра: заповнюваності жолоба, кількості та кута атаки додаткових лопатей.

Результати роботи. В основу проведення експериментів покладено метод одночасного варіювання основними параметрами, що впливають на продуктивність модернізованої лопаті (Л – кількість додаткових лопатей, З – заповнюваність жолоба, А – кут атаки лопатей, М – матеріал стружки, що транспортується, Р – розмір стружки, що транспортується), в якому визначаються не окремі залежності, а функціональна залежність показників від усіх досліджуваних параметрів [5]. Для встановлення функціональної залежності використано формулу:

$$P = C * L^x * Z^k * A^z * M^u * R^q. \quad (1)$$

У цій формулі P – продуктивність.

Прологарифмувавши формулу продуктивності, отримаємо:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3 + b_4 * x_4 + b_5 * x_5 + K, \quad (2)$$

де y – дані, отримані в досліді;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – коефіцієнти продуктивності;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – логарифми параметрів продуктивності Л, З, А, М, Р;

K – помилка експерименту, що складається з поправних коефіцієнтів K_1, K_2, K_3 .

План дослідів передбачає три основних і два допоміжних рівня для кожної змінної. Рівень вибирається з урахуванням використовуваного в дослідженні модернізованого шнекового конвеєра. Прийняті рівні змінних і кодові позначення наведено в табл.1.

Для зручності прийняті рівні закодовані за допомогою рівнянь перетворення (1) і (2) таким чином, що нижній рівні відповідає -1, верхній +1, а основний рівень варіювання дорівнює нулю.

Таблиця 1 – Рівні варіювання факторів

Фактори	Позначення факторів	$x_i^* = -1,414$	$x_i = -1$	$x_i = 0$	$x_i = 1$	$x_i^* = 1,414$
Кількість лопатей N , шт.	x_1	0	1	2	3	4
Наповнення жолоба h , %	x_2	20	25	30	35	40
Кут атаки лопатей α , град.	x_3	15	30	45	60	75
Матеріал стружки f_m , (коэф. тертя)	x_4	0,08	0,12	0,2	0,28	0,32
Розмір стружки S , мм	x_5	2	4	8	12	16

Для факторів з безперервною областю визначення це можливо здійснити за допомогою перетворення

$$X_j = \frac{\tilde{X}_j - \tilde{X}_{j0}}{I_j}, \quad (3)$$

де X_j – кодоване значення фактора;

\tilde{X}_j – натуральне значення фактора;

\tilde{X}_{j0} – натуральне значення основного рівня;

I_j – інтервал варіювання;

J – номер фактора.

Для наближення до найефективнішого значення використовується математична модель вигляду:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (4)$$

де x_1, x_2, \dots, x_k – фактори залежностей.

До даного моменту, кажучи про модель, ми не зупинялися на важливому питанні про статистичну оцінку її коефіцієнтів. Можна стверджувати, що експеримент проводиться для перевірки гіпотези про те, що лінійна модель $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ адекватна. Експеримент, у якому скінченна кількість дослідів, дозволяє отримати тільки вибіркові оцінки для коефіцієнтів рівняння (4). Їх точність і надійність залежать від властивостей вибірки і потребують статистичної перевірки.

Коефіцієнти можна обчислити за формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot y_i}{n}, j = 0,1,2,\dots,k, \quad (5)$$

де n – кількість дослідів.

Для розрахунку коефіцієнта b_1 використовуємо вектор-стовбець x_1 , а для b_2 – стовбець x_2 . Залишається незрозумілим знаходження b_0 . Якщо рівняння (5) вірне, то воно вірне й для середніх арифметичних значень змінних. Але в силу властивостей симетрії b_0 – середнє арифметичне значення параметра найбільшої ефективності. Коефіцієнти лінійної моделі мають величини, наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти лінійної моделі

$b_0 = 190,8$	$b_{14} = 0,42$	$b_{123} = 289,2$	$b_{245} = 52,9$
$b_1 = 3,66$	$b_{15} = -19,1$	$b_{124} = -12,8$	$b_{345} = 80,8$
$b_2 = -27,2$	$b_{23} = -130,3$	$b_{125} = 58$	$b_{1234} = 58$
$b_3 = 44,3$	$b_{24} = 5,8$	$b_{134} = 19$	$b_{1235} = 261,5$
$b_4 = 0,11$	$b_{25} = 238,9$	$b_{135} = -85,2$	$b_{1245} = 119,6$
$b_5 = -7,2$	$b_{34} = -8,8$	$b_{145} = 3,94$	$b_{1345} = 179,4$
$b_{12} = 65,12$	$b_{35} = 377,8$	$b_{234} = 263,3$	$b_{2345} = 24,4$
$b_{13} = -94,7$	$b_{45} = 1,77$	$b_{235} = -114,3$	$b_{12345} = 54,8$

Коефіцієнти при незалежних змінних вказують на силу впливу факторів. Чим більша чисельна величина коефіцієнта, тим більше впливає фактор. Якщо коефіцієнт має знак плюс, то зі збільшенням величини фактора параметр ефективності збільшується. Величина коефіцієнта відповідає внеску даного чинника в величину параметра ефективності при переході фактора з нульового рівня на верхній або нижній.

Отримані значення мають додаткові параметри та величини, наведені в табл.3 і 4.

Таблиця 3 – Величини поправочного коефіцієнта матеріалу металевої стружки

Матеріал стружки	Алюміній	Сталь	чавун
Значення коефіцієнта f_m	0,25	0,55	0,85

Таблиця 4 – Величини поправного коефіцієнта геометрії та форми металевої стружки

Тип стружки S , мм	Тип стружки		
	Зливна	Сколювання	Надлому
□ 4	0,75	0,8	0,95
від 4 до 10	0,65	0,75	0,85
□ 10	0,5	0,7	0,8

На підставі аналізу отримуємо розрахункові дані, котрі лягли в основу залежності продуктивності шнекових конвеєрів класичної і лопатевої конструкції (транспортуваль-

ний матеріал стружки надлому, чавунна розмірний діапазон від 4 до 10 мм) та виражені табличними даними (табл.5-10).

Таблиця 5 – Зіставлення аналітичних і експериментальних даних продуктивності конвеєра за кутом атаки та наповнюваністю жолоба

Наповнюваність h , г/%	Продуктивність експериментальна / аналітична					
	кут атаки α , °					
	експериментальний			аналітичний		
	30	45	60	30	45	60
1625/25	179	200,8	193,4	183,5	206,3	197,2
1950/30	399,5	438,5	415,7	390,8	430,1	408,2
2275/35	420,4	468,5	445,2	411,3	460,1	437,3

Таблиця 6 – Зіставлення аналітичних і експериментальних даних продуктивності конвеєра за наповнюваністю жолоба і кількістю додаткових лопатей

Кількість додаткових лопатей N , шт.	Продуктивність експериментальна / аналітична					
	Наповнюваність h , г/%					
	експериментальна			аналітична		
	1625/25	1950/30	2275/35	1625/25	1950/30	2275/35
2	131	279,2	393,6	136,3	288,3	400,2
3	200,8	438,5	468,5	208,3	442,8	481,2
4	125,4	259,8	385	120,8	251,8	377,7

Таблиця 7 – Зіставлення аналітичних і експериментальних даних продуктивності конвеєра за кутом атаки і кількістю додаткових лопатей

Кут атаки допоміжних лопатей α , °	Продуктивність експериментальна / аналітична					
	Кількість додаткових лопатей N , шт.					
	експериментальна			аналітична		
	2	3	4	2	3	4
30	256,5	399,5	241	261	408,3	248,3
45	279,2	438,5	259,8	274,8	430,1	252,3
60	266,4	415,7	253,8	261,8	408,8	248,3

Таблиця 8 – Значення поправного коефіцієнта K_1

Кут атаки α , °	30	45	60
K_1	1,0223	1,0219	1,0184

Таблиця 9 – Значення поправного коефіцієнта K_2

Наповнюваність h , г/%	1625/25	1950/30	2275/35
K_2	0,964	0,9903	0,9736

Таблиця 10 – Значення поправного коефіцієнта K_3

Кількість лопатей N , шт.	2	3	4
K_3	1,016	1,0195	1,0297

Основою даного трьохфазного експерименту є основні параметри, що суттєво впливають на продуктивність, а саме L , Z , A .

Варіювання даними параметрами визначає не окрему залежність, а функціональну залежність показників від усіх досліджуваних параметрів.

План дослідів передбачає три рівні для кожної змінної. Рівень вибирається з урахуванням використаного в досліді модернізованого шнекового конвеєра. Прийняті рівні змінних і кодові позначення наведено у табл. 11.

Таблиця 11 – Рівні змінних і кодові позначення

Рівень	Параметри продуктивності			Кодове позначення		
	L , шт.	A , град	Z , г	X_1	X_2	X_3
Верхній	4	60	1950	1	1	1
Середній	3	45	1625	0	0	0
Нижній	2	30	1300	-1	-1	-1

Висновки. Отримана математична залежність дозволяє визначити найбільш ефективні величини досліджуваних параметрів. Отримані дані використовуємо для розв'язання рівнянь і в результаті отримуємо наведені значення коефіцієнтів. В результаті подальших перетворень отримані наступні значення: L – 3,2; Z – 1943,3; A – 42,1°. Дані значення можна прийняти дійсними при ідеальних умовах, за винятком кількості лопатей – параметр L .

Привівши розкид точок експерименту до усереднених значень, маємо чітке простеження кількісного зростання продуктивності шнекового конвеєра зі збільшенням наповнюваності жолоба. При кількості додаткових лопатей, що дорівнює 1, простежується залежність росту продуктивності від збільшення наповнюваності жолоба, вплив кута атаки додаткових лопатей – несуттєвий; простежується закономірність перетворення шнекового конвеєра в екструдер, який за своїми продуктивними показниками не має істотних відмін від базової (класичної) конструкції шнекового конвеєра. В даному випадку присутність однієї додаткової лопаті не впливає на продуктивність, а здійснює процес змішання або спущення транспортувального матеріалу. При наявності 2-4 додаткових лопатей спостерігається стрімке зростання продуктивності в діапазоні наповнюваності жолоба 25-30% і 30-35%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.Н.Саутин. – Л.: Химия, 1975. – 48с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Ю.В., Грановский Ю.В. – Изд. 2-е перер. и доп. – М.: Наука, 1986. – 325с.
3. Х.Чикс. Основные принципы планирования эксперимента / Х.Чикс. – М.: Наука, 1987. – 216с.
4. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Г.И.Красовский, Г.Ф.Филаретов. – Минск: изд-во БГУ, 1982. – 302с.
5. Chasov D.P. Determining the equation of surface of additional blade of a screw conveyor / Chasov D.P. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (Engineering technological systems). – 2016. – 5/1 (83). – P.4-9.

Надійшла до редколегії 13.03.2017.