

УДК 519.876.5

ІНТЕРВАЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ КОНВЕЄРНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ГІПСКОРТОНУ

Марценюк Євгенія Олексіївна

*Тернопільський національний економічний університет
ye_martsenyuk@ukr.net*

Розглянуто задачу розробки інтервальної моделі для визначення швидкості руху конвеєрної лінії з виробництва гіпсокартону. Підтверджено адекватність моделі на прикладах для заданих технологічних параметрів. Показано можливість підбору корегуючої речовини для зміни швидкості руху конвеєрної лінії.

Ключові слова: гіпсокартон, конвеєрна лінія, інтервальна модель.

The problem of development of interval models to determine the speed of the assembly line for the production of plasterboard. Confirmed adequacy model for the examples given technological parameters. The possibility of correcting the selection of substances for changing the speed of the conveyor line.

Keywords: hipsokorton, conveyor lines, interval model.

Рассмотрена задача разработки интервальной модели для определения скорости движения конвеєрної лінії по производству гипсокартона. Подтверждена адекватность модели на примерах для заданных технологических параметров. Показано возможность подбора корегующего вещества для смены скорости движения конвеєрної лінії.

Ключевые слова: гипсокартон, конвеєрная линия, интервальная модель.

Вступ. Гіпсокартонні плити широко використовують для проведення облицювальних робіт. Матеріал є екологічно чистим, добре утримує тепло та вологу. Для його виробництва використовують дрібно помелений гіпс, воду, крохмаль, картон, піноутворюючі матеріали, а також речовини, які прискорюють чи сповільнюють процес твердіння гіпсоводної суміші [6]. Технологічний процес виробництва гіпсокартонних плит включає декілька основних етапів: підготовка водно гіпсової суміші за допомогою міксера, шляхом змішування вище зазначених компонент та подача отриманої суміші на формувальний стіл; формування гіпсоводно осердя, обклеєного з обох боків картоном на формувальному столі; затвердіння гіпсового осердя під час руху на конвеєрній лінії та розділення його на плити різакром гільйотинного типу; завантаження плит у сушарку та сушіння; вивантаження плит з сушарки та складування [6]. Одним із найбільш важливих етапів є забезпечення затвердіння гіпсокартонного полотна під час руху на конвеєрній лінії до моменту розділення цього полотна на плити. Зазначений процес забезпечується оптимальним вибором швидкості руху конвеєра. З одного боку конвеєр повинен якомога велику швидкість, щоб забезпечити високу продуктивність лінії, а з іншого швидкість повинна бути такою, щоб забезпечити затвердіння гіпсового осердя. Останнє залежить від технологічних характеристик сировини: гіпсу, кількості піноутворюючих матеріалів, а також

кількості та якості речовини – коректора часу затвердіння гіпсоводної суміші [6]. В умовах різнорідних характеристик зазначених речовин доводиться експериментально досліджувати час затвердіння гіпсоводної суміші в залежності від зазначених чинників, що призводить до довготривалого налаштування лінії та зменшення її рентабельності. Тому метою даної праці є розробка математичної моделі, яка б забезпечувала оцінювання оптимальної швидкості руху конвеєрної лінії в умовах відомих характеристик сировини.

1. Постановка задачі

Таким чином швидкість конвеєрної лінії визначають за часом затвердіння гіпсової суміші. Позначимо час затвердіння гіпсу за t , а швидкість конвеєрної лінії за v . Тоді оптимальну швидкість руху конвеєрної лінії визначатимемо за такою формулою:

$$v = L/t, \quad (1)$$

де L – відома відстань від формувального стола до різака.

В цьому випадку швидкість руху буде, якомога більшою, але такою, яка обмежена часом затвердіння гіпсового осердя.

Таким чином визначальним у виразі (1) є час затвердіння гіпсового осердя, який безпосередньо залежить від технологічних характеристик сировини: гіпсу, кількості піноутворюючих матеріалів, а також кількості та якості речовини – коректора часу затвердіння гіпсоводної суміші. Своєю чергою, якість гіпсу, яка безпосередньо впливає на час затвердіння гіпсоводної суміші є розмір (діаметр) d плями розтікання гіпсоводної суміші в об'ємі 0,01 дециметра кубічного, отриманої за пропорцією: одна частина гіпсу до 0,7 частини води. Кількість гіпсу позначимо за V_g , кількість піноутворювача – за V_p , кількість корегуючої речовини – за V_k .

Тоді математичну модель для швидкості руху конвеєрної лінії шукатимемо в такому вигляді:

$$v = L / f(d, V_g, V_p, V_k), \quad (2)$$

де $f(d, V_g, V_p, V_k)$ – деяка невідома функція, яка визначає час затвердіння гіпсового осердя на конвеєрній лінії. Зауважимо, що водно гіпсова суміш сформована за пропорцією: одна частина гіпсу до 0,7 частини води для заданого значення 27 кг/хв подачі гіпсу близько 19 кг/хв. подача води. Подачу води задамо без змін – 19 кг/хв.

Для знаходження зазначеної залежності необхідно отримати дані.

Маси подачі гіпсу, піноутворюючої речовини та корегуючої речовини можна визначити достатньо точно, а час затвердіння вимірювався з 5% похибкою. Діаметр плями розтікання вимірювався з похибкою в 1%. В результаті вихідні дані для побудови моделі набувають такого вигляду:

$$[d_i^-; d_i^+], V_g^i, V_p^i, V_k^i \rightarrow [t_i^-; t_i^+], \quad i = 1, \dots, N, \quad (3)$$

де V_g^i, V_p^i, V_k^i – маси подачі гіпсу (кг/хв), піноутворюючої речовини (кг/хв) та ко-регулюючої речовини (г/хв) в i -тому спостереженні, відповідно; $[d_i^-; d_i^+], [t_i^-; t_i^+]$ – відповідно, інтервальні оцінки діаметру розтікання водно гіпсової плями (мм) та часу затвердіння (хв) в i -тому спостереженні. Дані, які представлено у вигляді (3) будемо називати інтервальними, а для побудови математичної моделі на основі цих даних застосуємо методи аналізу інтервальних даних [1,2,3,4].

Сформулюємо умови точності моделі у вигляді залежності (2):

$$f([d_i^-; d_i^+], V_g^i, V_p^i, V_k^i) \in [t_i^-; t_i^+] \quad \forall i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Перепишемо умови (4) в такому вигляді:

$$t_i^- \leq f([d_i^-; d_i^+], V_g^i, V_p^i, V_k^i) \leq t_i^+, \quad i = 1, \dots, N. \quad (5)$$

Якщо функція $f(d, V_g, V_p, V_k)$ є лінійна за невідомими коефіцієнтами, то отримана система є інтервальною системою лінійних алгебричних рівнянь. Її розв'язок є не опукла множина параметрів-коефіцієнтів шуканої моделі.

В кінцевому випадку отримаємо інтервальну модель для оцінювання швидкості переміщення конвеєрної лінії [4,5,9]:

$$[\hat{v}^-; \hat{v}^+] = L / [f^-(d, V_g, V_p, V_k); f^+(d, V_g, V_p, V_k)], \quad (6)$$

де $[\hat{v}^-; \hat{v}^+]$ – інтервальна оцінка швидкості руху конвеєрної лінії; $[f^-(d, V_g, V_p, V_k); f^+(d, V_g, V_p, V_k)]$ – коридор інтервальних моделей, отриманий із розв'язку ІСЛАР (5).

1. Інтервальна модель швидкості руху конвеєрної лінії

Спочатку обґрунтуємо структуру функції $f(d, V_g, V_p, V_k)$, тобто її загальний вигляд.

Процес вибору структури математичної моделі є достатньо складний. Цей процес може бути організований із застосуванням формального апарату, наприклад – індуктивних методів, або неформально, тобто виходячи із фізичних міркувань. В нашому випадку використаємо неформальний підхід. При цьому спочатку будемо використовувати найпростіші структури, послідовно їх ускладнюючи [10,11,12]. Отже, на першому етапі обираємо найпростішу структуру у вигляді лінійної залежності:

$$f(d, V_g, V_p, V_k) = a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot V_g + a_3 \cdot V_p + a_4 \cdot V_k, \quad (7)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – невідомі коефіцієнти.

Як бачимо найпростіша модель містить п'ять невідомих коефіцієнтів.

Для знаходження оцінок коефіцієнтів необхідно скласти інтервальну систему лінійних алгебричних рівнянь у вигляді (5) та обчислити інтервальні оцінки невідомих коефіцієнтів. Якщо система (5) виявиться сумісною, то задана

структура моделї у виглядї виразу (7) буде достатньою. У протилежному випадку будемо ускладнювати структуру моделї.

Для складання ІСЛАР у виглядї (5) необхідно задати інтервальні данї (3).

Данї із урахуванням інтервальних похибок наведенї у Таблицї 1.

Таблиця 1

Таблиця даних технологїчного процесу формування гїпсового осердя

№	Інтервальні оцїнки дїаметру розтїкання водно-гїпсової плями	Маса подачі гїпсу	Маса подачі піноутворюючої речовини	Маса подачі корегуючої речовини	Інтервальні оцїнки часу затвердїння
i	$[d_i^-; d_i^+]$	V_g^i	V_p^i	V_k^i	$[t_i^-; t_i^+]$
	мм	кг/хв	кг/хв.	г/хв.	хв
1	[158,4;161,6]	30	0,15	0	[5,7;6,3]
2	[158,4;161,6]	27	0,15	0	[6,65;7,35]
3	[158,4;161,6]	25	0,15	0	[7,6;8,4]
4	[138,6;141,4]	30	0,15	0	[3,8;4,2]
5	[138,6;141,4]	27	0,15	0	[5,225;5,775]
6	[138,6;141,4]	25	0,15	0	[7,125;7,875]
7	[158,4;161,6]	30	0,15	0,1	[6,65;7,35]
8	[158,4;161,6]	27	0,15	0,3	[7,6;8,4]
9	[158,4;161,6]	25	0,15	0,5	[8,075;8,925]
10	[138,6;141,4]	30	0,15	0,1	[4,75;5,25]
11	[138,6;141,4]	27	0,15	0,3	[5,7;6,3]
12	[138,6;141,4]	25	0,15	0,5	[7,125;7,875]
13	[158,4;161,6]	30	0,20	0	[5,985;6,615]
14	[158,4;161,6]	27	0,20	0	[6,935;7,665]
15	[158,4;161,6]	25	0,20	0	[7,98;8,82]
16	[138,6;141,4]	30	0,20	0	[3,99;4,41]
17	[138,6;141,4]	27	0,20	0	[5,415;5,985]
18	[138,6;141,4]	25	0,20	0	[6,84;7,56]
19	[158,4;161,6]	30	0,10	0,1	[6,555;7,245]
20	[158,4;161,6]	27	0,10	0,3	[7,6;8,4]
21	[158,4;161,6]	25	0,10	0,5	[7,98;8,82]
22	[138,6;141,4]	30	0,10	0,1	[4,75;5,25]
23	[138,6;141,4]	27	0,10	0,3	[5,605;6,195]
24	[138,6;141,4]	25	0,10	0,5	[6,935;7,665]

На основі таблиці даних та з урахуванням структури моделі (7) складемо інтервальну систему лінійних алгебричних рівнянь у вигляді (5):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 5,7 \leq a_0 + a_1 \cdot [158,4;161,6] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0 \leq 6,3 \\
 6,65 \leq a_0 + a_1 \cdot [158,4;161,6] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0 \leq 7,35 \\
 7,6 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0 \leq 8,4 \\
 3,8 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0 \leq 4,2 \\
 5,225 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0 \leq 5,775 \\
 7,125 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0 \leq 7,875 \\
 6,65 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0,1 \leq 7,35 \\
 7,6 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0,3 \leq 8,4 \\
 8,075 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0,5 \leq 8,925 \\
 4,75 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0,1 \leq 5,25 \\
 5,7 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0,3 \leq 6,3 \\
 7,125 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,15 + a_4 \cdot 0,5 \leq 7,875 \\
 5,985 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,20 + a_4 \cdot 0 \leq 6,615 \\
 6,935 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,20 + a_4 \cdot 0 \leq 7,665 \\
 7,98 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,20 + a_4 \cdot 0 \leq 8,82 \\
 3,99 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,20 + a_4 \cdot 0 \leq 4,41 \\
 5,415 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,20 + a_4 \cdot 0 \leq 5,985 \\
 6,84 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,20 + a_4 \cdot 0 \leq 7,56 \\
 6,555 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;161,6] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,10 + a_4 \cdot 0,1 \leq 7,245 \\
 7,6 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;141,4] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,10 + a_4 \cdot 0,3 \leq 8,4 \\
 7,98 \leq a_0 + a_1 \cdot [58,4;141,4] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,10 + a_4 \cdot 0,5 \leq 8,82 \\
 4,75 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 30 + a_3 \cdot 0,10 + a_4 \cdot 0,1 \leq 5,25 \\
 5,605 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 27 + a_3 \cdot 0,10 + a_4 \cdot 0,3 \leq 6,195 \\
 6,935 \leq a_0 + a_1 \cdot [38,6;141,4] + a_2 \cdot 25 + a_3 \cdot 0,10 + a_4 \cdot 0,5 \leq 7,665
 \end{array} \right. \quad (8)$$

Оцінимо множину розв'язків системи в інтервальному вигляді, шляхом розв'язування ІСЛАР. Зауважимо, що множина розв'язків ІСЛАР (8) є не опуклою. Для розв'язування зазначеної системи використаємо методи стохастичної оптимізації на основі напрямного конуса Растрігіна [7].

В результаті застосування методів випадкового пошуку на основі прямого конуса Растрігіна [1] отримаємо такі інтервальні оцінки коефіцієнтів моделі:

$$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 = [6,13;6,79] [0,0744;0,0840] [-0,400;-0,443] [-1,51;-1,68] [0,762;0,843].$$

Зауважимо, що отримана ІСЛАР (8) є сумісною. Це означає, що обрана структура математичної моделі (7) є адекватною принаймні для заданого діапазону вибірки технологічних даних.

Тепер спираючись на вираз (6) запишемо кінцеву інтервальну модель для обчислення інтервалу швидкостей руху конвеєрної лінії, на якій відбувається затвердіння (схоплювання) гіпсового осердя:

$$[\bar{v}^-; \bar{v}^+] = L / \left([6,13;6,79] \bar{d} + [0,0744;0,0840] \bar{d} + [0,400;-0,443] \bar{V}_g + [1,51;-1,68] \bar{V}_p + [0,762;0,843] \bar{V}_k \right) \quad (9)$$

Отриману інтервальну модель можемо використати для обчислення оптимальної швидкості руху конвеєрної лінії на якій відбувається затвердіння гіпсового осердя.

Нехай задано технологічні параметри процесу формування гіпсо-водної суміші та характеристика гіпсу:

$$[d_i^-; d_i^+] = [145;148] \text{ мм}, V_g^i = 30 \text{ кг/хв.}, V_p^i = 0,15 \text{ кг/хв.}, V_k^i = 2 \text{ г/хв}$$

Підставимо задані характеристики у вираз (9). Отримаємо інтервал для оптимальної швидкості руху конвеєрної лінії:

$$[\bar{v}^-; \bar{v}^+] = [4,01;6,12] \text{ м/хв.}$$

Як бачимо, отримано достатньо великий розкид швидкості руху конвеєрної лінії, до того ж швидкість руху конвеєра є не великою.

Скоригуємо процес затвердіння гіпсо-водної суміші за рахунок зменшення корегуючої речовини $V_k^i = 0$ г/хв. Тоді із застосуванням математичної моделі (9) отримаємо:

$$[\bar{v}^-; \bar{v}^+] = [5,17;8,89] \text{ м/хв.}$$

Як бачимо, зміна швидкості подачі корегуючої речовини дає можливість підвищити швидкість руху конвеєрної лінії і тим самим збільшити її продуктивність.

Висновки

Розглянута задача розробки інтервальної моделі для визначення швидкості руху конвеєрної лінії з виробництва гіпсокартону.

В процесі побудови моделі запропоновано та обґрунтовано її лінійну структуру. Встановлено, що налаштування параметрів (коефіцієнтів) моделі на основі неточних експериментальних – інтервальних даних, є задачею розв’язування інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь. Для розв’язування зазначеної системи використано методи стохастичної оптимізації.

Підтверджено адекватність моделі на прикладах для заданих технологічних параметрів. Показано можливість підбору корегуючої речовини для зміни швидкості руху конвеєрної лінії.

Література

1. Дивак М. Дослідження властивостей множини параметрів інтервальної дискретної моделі динамічної системи / М. Дивак, Є. Марценюк // Вісник Тернопільського державного технічного університету : Науковий журнал. – №3. – 2006. – С. 163–168.
2. Dyvak M. Design of cyclic periodic processes of bakery products realization based on the non-autonomous interval model / M. Dyvak, Ye. Martsenyuk, P. Stakhiv, L. Honchar // Proc. of the Intern. Conf. on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET’2008). – Lviv – Slavsko, 2008. – P. 159 – 163.
3. Dyvak M. Modeling of fermentation processes under limited by amplitude errors of a technological process / M. Dyvak, Ye. Martsenyuk, Y. Pigovsky // Proc. of the Intern. Conf. on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET’2010). – Lviv – Slavsko, 2010. – P. 323–324.
4. Дивак М. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними / М. Дивак // Тернопіль: Видавництво ТНЕУ «Економічна думка», 2011.-216 с
5. Дивак М. Моделювання лінійних динамічних систем із заданою структурою каналу вимірювання методами аналізу інтервальних даних / М. Дивак, А Пукас, Є. Марценюк, І. Матола // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. Збірник праць. Відпов. Редактор Степашко В.С.- Київ:МННЦ ІТС,, 2008. – 260с. – С.79-90.

6. Дивак М.П. Структурна ідентифікація інтервальної моделі процесу сушіння гіпсокартону / М.П. Дивак, Н.П. Очеретнюк //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – №2(43). – С. 211-13.

7. Дивак М.П. Ідентифікація дискретних динамічних моделей процесів з інтервальною невизначеністю у біогазових установках переробки органічного сміття / М.П. Дивак, Є.О. Марценюк, Ю.Р. Піговський, Т.П. Дивак //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка.- 2010. Вип 11 (164).- С.181-188.

8. Дивак М.П. Моделювання динамічних систем за умов інтервальної ідентифікації параметрів стану в каналі вимірювань / М.П. Дивак, Є.О. Марценюк, О.Л. Козак //Вісник Хмельницького національного університету. –2009. – № 5 (139). – С. 249 – 255.

9. Марценюк Є. О. Особливості розв’язку задач параметричної ідентифікації динамічних систем в умовах інтервальної невизначеності / Є. О. Марценюк // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2010. – Т. 12, №1. – С. 30–38.

10. Марценюк Є. О. Ідентифікація дискретних динамічних моделей процесів з інтервальною невизначеністю у біогазових установках переробки органічного сміття / Є. О. Марценюк, М. П. Дивак, Ю. Р. Піговський, Т. М. Дивак // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2010. – Вип. 11 (164). – С. 181–188.

11. Марценюк Є.О. Порівняльний аналіз методів параметричної ідентифікації дискретних моделей динамічних систем з інтервальною невизначеністю / Є. О. Марценюк // Журнал „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” Хмельницького національного університету – №1. – 2013. – С. 245–254.

12. Марценюк Є.О. Особливості побудови критеріїв оптимальності параметрів в задачах ідентифікації математичних моделей в умовах стохастичної та інтервальної невизначеності/ Є. О. Марценюк // Журнал „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” Хмельницького національного університету – №2. – 2015. – С. 108–111.