

ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПРОДУКЦІЇ З ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ НА БОРОШНОМЕЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

УДК 631.153:519.852

ПОЛИВОДА Оксана Валеріївна

к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Наукові інтереси: оптимальне управління територіально розподіленими системами.

ВСТУП

Україна має розвинену зернопереробну промисловість, що оснащена сучасним обладнанням та здатна забезпечити населення країни необхідною кількістю хлібопродуктів високої якості. Ефективність виробництва хлібопродуктів залежить від якості зерна, досконалості обладнання, технологічних процесів та кваліфікації обслуговуючих кадрів [1]. Поліпшення якості продукції може бути досягнуто шляхом технологічної модернізації підприємств, підвищення рівня науково-технічного та кадрового забезпечення галузі, а також впровадження сучасних систем керування виробництвом – інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ). Основними цілями застосування ІАСУ є підвищення продуктивності праці, рентабельності, зменшення енерговитрат і інших загальносистемних чинників, що досягаються своєчасністю прийняття рішень на основі отримання оперативної і достовірної інформації про стан як кожної з технологічних ділянок, так і підприємства в цілому.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Всю продукцію борошномельного виробництва можна поділити на такі види: борошно, крупи, висівки, відходи, що утворюються в процесі помелу. Основною задачею планування борошномельного виробництва є розрахунок рецепту помельних партій. Формування помельної партії проводять для підтримки стабільності технологічного процесу переробки зерна протягом тривалого часу та отримання борошна із заданими хлібопекарськими влас-

тливостями. Змішуючи різноякісне зерно, не тільки отримують борошно зі стабільними властивостями, але й досягають раціонального та ефективного використання сировини. Формування партій дозволяє використовувати для переробки зерно зниженої якості, з якого самостійно неможливо виробити кондиційне борошно, але завдяки ефекту підвищення змішувальної цінності відбувається поліпшення хлібопекарських властивостей. І навпаки, переробка високоякісного зерна без додавання партій зниженого якості призводить до нераціонального використання сировини та отримання борошна зі значними коливаннями хлібопекарських властивостей.

Метою складання оптимального рецепту помельної партії є встановлення функціональної залежності між властивостями зерна різних класів і властивостями борошна різних сортів. На борошномельних підприємствах переважно застосовується ручний метод розрахунку партій, що ведеться по одному параметру (частіше це скловидність) а інші властивості, такі як білок, клейковина та число падіння не враховуються, внаслідок чого отримується борошно гіршої якості за більшу ціну. Зазвичай розрахунок помельної партії виконують на базі суміші двох компонентів та застосовують наступні рівняння [2]

$$\begin{aligned} M \bar{x} &= m_1 q_1 + m_2 q_2, \\ M &= m_1 + m_2, \end{aligned} \quad (1)$$

де M – маса підсумкової помельної партії; m_1, m_2 – маса окремих компонентів помельної партії; \bar{x} – середньозважене значення обраного показника якості зерна, q_1, q_2 – індивідуальне значення показника скловидності для відповідного компонента суміші.

З рівнянь (1) маса вихідних компонентів визначається за формулами:

$$m_1 = \frac{M(\bar{x} - q_2)}{q_1 - q_2}, \quad m_2 = M - m_1. \quad (2)$$

При використанні такого методу складання помельної партії врахувати більшість необхідних обмежень не представляється можливим, а отримане рішення часто далеко від оптимального. Тому розробка методик складання помельної партії на основі окремих властивостей таких як білок, клейковина та число падіння, від яких залежить показник скловидності, з використанням програм і обчислювальної техніки є актуальною.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою досліджень є оптимізація виробничої програми для отримання продукції з заданими властивостями на борошномельному виробництві за рахунок впрова-

дження автоматизованої системи планування помельних партій, що розв'язуватиме наступні задачі:

- складання помельних сумішей по більшій кількості класів зерна та показників якості;
- зменшення собівартості помельної суміші;
- налаштування параметрів моделі у відповідності до умов роботи підприємства;
- можливість використання різних критеріїв оптимізації, включаючи собівартість помельної суміші;
- оперативний розрахунок рецептів помельних сумішей;
- аналіз різних варіантів помельних сумішей.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Управління борошномельним виробництвом є комбінованою задачею, що складається з наступних завдань: планування виробництва (складання рецептів помельних партій з урахуванням наявних замовлень на виробництво в залежності від потреб ринку кількості та якості наявної сировини); розподіл ресурсів по окремим типам обладнання; календарне планування (послідовність здійснення технологічних операцій на виробництві). Взаємозв'язок перелічених завдань наведено на рис. 1.

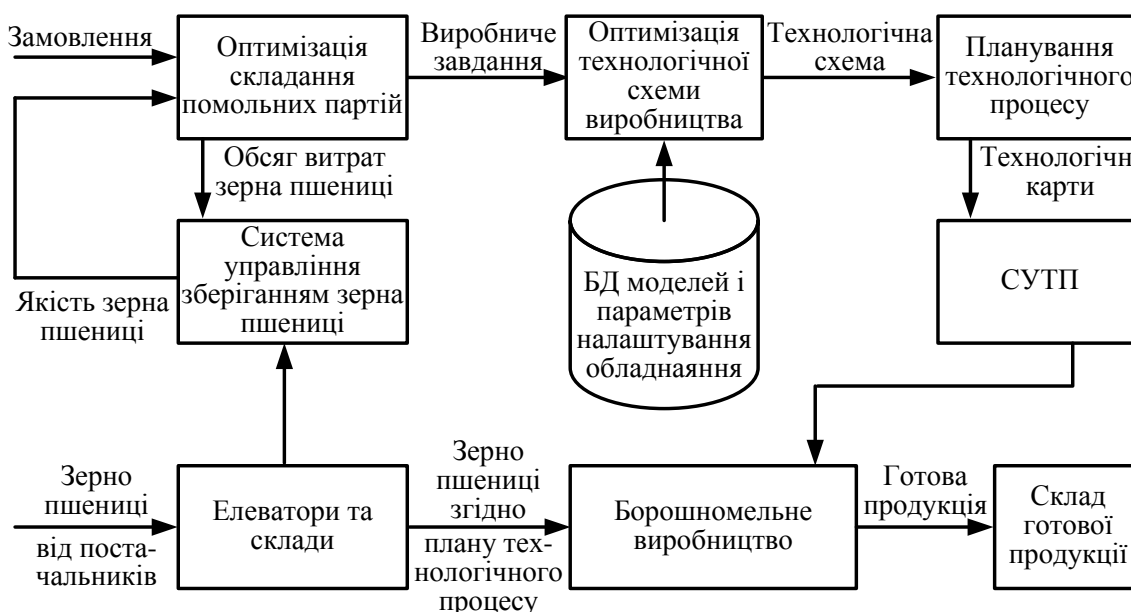


Рис. 1. Задачі управління борошномельним виробництвом

Для розв'язання такої задачі необхідно використовувати відповідні стандартні методи оптимізації рецептур помельних партій із заздалегідь відомими параметрами якості та планування технологічного процесу, а також впроваджувати автоматизовані системи планування помельних партій.

Оптимальний склад продукції і планування технічного завдання доцільно проводити методами лінійного програмування [3]. Залежність між показниками, які характеризують якість сировини у складі помельної партії, визначається методами сучасної математичної статистики. Визначивши показники кожного з компонентів, обирається така характеристика залежності, що потрібна для одержання окремої властивості в готовій продукції. Залежно від кількості властивостей багатоконпонентної помельної партії складається система лінійних рівнянь або нерівностей, що є математичною моделлю суміші для вирішення задачі виготовлення борошна із заданими показниками властивостей у наступному вигляді

$$\begin{aligned} b_1x_{1j} + b_2x_{2j} + b_3x_{3j} + \dots + b_Mx_{Mj} &\geq B_j; \\ k_1x_{1j} + k_2x_{2j} + k_3x_{3j} + \dots + k_Mx_{Mj} &\geq K_j; \\ p_1x_{1j} + p_2x_{2j} + p_3x_{3j} + \dots + p_Mx_{Mj} &\geq P_j; \\ x_{1j} + x_{2j} + x_{3j} + \dots + x_{Mj} &= T_j; \\ 0 \leq x_{ij} \leq T, \quad i = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (3)$$

де b_i – вміст білка, k_i – клейковини, p_i – число падіння для пшениці відповідного класу; B_j – вміст білка, K_j – клейковини, P_j – число падіння для борошна відповідного сорту; T_j – маса помельної партії, x_{ij} – частка пшениці окремого класу у загальній помельній партії.

При цьому необхідно знайти значення, при яких додержуються задані вимоги до якості борошна та забезпечується мінімум витрат на його виробництво

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Рівняння системи (4) представляє собою лінійну цільову функцію, мінімум якої треба знайти, вважаючи, що коефіцієнти c_i (вартість пшениці відповідного класу) є відомими, заданими величинами.

Рівняння (3) визначають допустиму множину рішень. Коефіцієнти b_i, k_i, p_i , які входять в ці рівняння і праві частини рівнянь B_j, K_j, P_j, T_j , що задають обмеження, передбачаються відомими величинами. Їх значення, а також мінімальний вміст в борошні різних сортів білку, сирій клейковини, число падіння борошна та такі ж показники якості чотирьох класів пшениці та їх вартість наведені в табл.1.

Таблиця 1

Показники якості та вартість пшениці та борошна

Показник якості	Клас пшениці				Сорт борошна		
	Перший	Другий	Третій	Четвертий	Вищий	Перший	Другий
Білок, %	$b_1 = 15$	$b_2 = 14$	$b_3 = 12$	$b_4 = 11$	$B_1 = 14$	$B_2 = 13$	$B_3 = 12$
Клейковина, %	$k_1 = 32$	$k_2 = 28$	$k_3 = 23$	$k_4 = 18$	$K_1 = 30$	$K_2 = 28$	$K_3 = 25$
Число падіння, с	$p_1 = 200$	$p_2 = 200$	$p_3 = 150$	$p_4 = 100$	$P_1 = 185$	$P_2 = 180$	$P_3 = 150$
Собівартість, грн/т	$c_1 = 3950$	$c_2 = 3900$	$c_3 = 3800$	$c_4 = 3700$	$C_1 = 7066$	$C_2 = 6624$	$C_3 = 6250$

Для розв'язання задач лінійного програмування традиційно застосовують симплекс-метод [4], який дозволяє здійснити цільовий перебір допустимих рішень та отримувати оптимальне. Доцільно розраховувати помельні партії для борошна будь-якого ґатунку за трьома показниками якості: вміст білку, вміст клейковини та число падіння за допомогою автоматизованої системи розрахунку оптимальних рецептів помельних сумішей.

При створенні помельної партії використовується зерно чотирьох різних класів. Для отримання борошна вищого ґатунку, потрібно забезпечити зазначені у табл.1 показники якості, при мінімальних затратах коштів на виробництво, враховуючи показники якості зерна пшениці відповідних класів.

Позначимо x_1, x_2, x_3, x_4 – частки зерна першого, другого, третього і четвертого класів в помельній суміші. Цільова функція представляє собою вартість суміші, яка

повинна бути мінімальною. Використовуючи позначення ця умова може бути записана у вигляді

$$3950x_1 + 3900x_2 + 3800x_3 + 3700x_4 \rightarrow \min.$$

Для побудови математичної моделі потрібно до умови мінімальності додати обмеження по вмісту якісних показників в окремій партії, умову невід'ємності змінних x_1, x_2, x_3, x_4 і умову балансу, при якій сума всіх часток дорівнює одиниці. Тоді обмеження для виробництва борошна вищого ґатунку із заданими показниками властивостей продукції мають вид

$$15x_1 + 14x_2 + 12x_3 + 11x_4 \geq 14;$$

$$32x_1 + 28x_2 + 23x_3 + 18x_4 \geq 30;$$

$$200x_1 + 200x_2 + 150x_3 + 100x_4 \geq 185;$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100;$$

$$0 \leq x_1 \leq 100, 0 \leq x_2 \leq 100, 0 \leq x_3 \leq 100, 0 \leq x_4 \leq 100.$$

Цільова функція та обмеження в цій моделі лінійні, тому це задача лінійного програмування, для вирішення якої було розроблено автоматизовану систему розрахунку оптимальних рецептів помельних сумішей у середовищі Guide MatLAB, екранний кадр якої наведено на рис. 2. Оптимальний склад помельних сумішей фіксується у векторі $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ і складає для борошна вищого ґатунку $X_{\text{vii}} = (85.71, 0, 0, 14.29)$, першого ґатунку – $X_{\text{ii}} = (50, 30, 0, 20)$, другого ґатунку – $X_{\text{iii}} = (50, 0, 0, 50)$ при заданій масі помельної партії – 100 тонн.

За результатами розрахунку помельних партій ручним методом та за допомогою автоматизованої системи розрахунку рецептів помельних сумішей складено таблицю 2 для порівняння якості та вартості борошна.

Таблиця 2

Загальна таблиця порівняння показників якості та цін для різних ґатунків борошна

	Вищий ґатунок		Перший ґатунок		Другий ґатунок	
	Ручний метод	Автоматичний метод	Ручний метод	Автоматичний метод	Ручний метод	Автоматичний метод
Блок, %	14,5	14,5	13,7	13,9	12,8	13
Клейковина, %	30	30	28	28	25	25
Число падіння, с	200	185,7	182,24	180	170	150
Собівартість, грн/т	3925	3914,3	3883,4	3880	3840	3825

З табл. 2 видно, що помельні партії, розраховані автоматичним методом задовольняють показникам якості борошна, наведеним в табл. 1, при цьому, на відміну від розрахунку ручним методом, собівартість борошна вищого ґатунку менша на 10,7 грн/т, першого – на 3,4 грн/т, другого – 15 грн/т., що при об'ємі виробництва 400 тонн за добу забезпечує економію коштів від 40,8 до 180 тисяч гривень на місяць.

Технологія борошномельного виробництва є розгалуженою і складною системою, а виробництво продукції різної якості, відповідно до вимог замовника, потребує частого переналаштування обладнання. Для оптимізації функціонування підприємства в цілому необхідно

організувати одночасне виробництво борошна різних сортів на одному технологічному обладнанні, що відрізняються часом обробки, для скорочення загального часу виробництва замовлення. Оптимізація технологічного процесу має скоротити час простою обладнання з урахуванням термінів переналаштування машин технологічної схеми. Розрахунок оптимального графіка обробки помельних партій при одночасній роботі обладнання можна здійснювати за модифікованими алгоритмами Джонсона [5]. Результатом розв'язання задачі планування є карта технологічного процесу з докладним перерахуванням послідовності і часових термінів функціонування та переналаштування кожної одиниці обладнання

виробничого процесу. Технологічні карти мають передаватися в систему управління технологічним процесом

(СУТП), яка здійснює контроль і оперативне управління ходом технологічного процесу та станом обладнання.

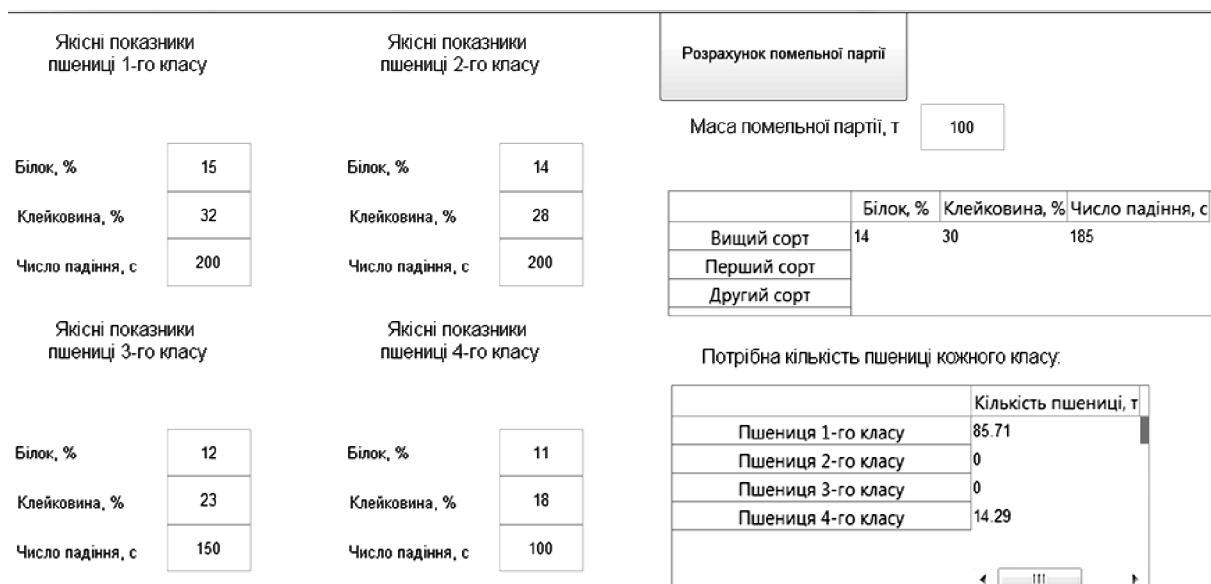


Рис. 2. Екранний кадр автоматизованої системи розрахунку оптимальних рецептів помельних сумішей

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

в результаті використання розробленої автоматизованої системи розрахунку оптимальних рецептів помельних сумішей отримуємо ряд переваг: раціональне використання зерна; зменшення собівартості продукції за

умови виходу продукції потрібної якості; зменшення об'єму робіт по переналаштуванню борошномельного обладнання на підприємстві; можливість розрахунку помельних сумішей спеціалістами різного рівня кваліфікації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Technologichni vlastyivosti zerna, boroshna i tista / O.M. Safonova, L.M. Tishhenko, T.V. Gavrysh [ta in.]. – X.: Virovecz A.P. «Apostrof», 2012. – 252 s.
2. Osokina N.M. Teknologiya zberigannya i pererobky zerna / N.M. Osokina, O.P. Gerasymchuk, N.P. Matviyenko. – Uman: Knyga - plyus, 2012. – 317 s.
3. Bandi B. Osnovy linejnogo programmirovaniya / B.Bandi – M.: Radio i svyaz, 1989. – 176 s.
4. Panteleev, A. V. Metody optimizacii v primerax i zadachax: Ucheb. posobie/A. V. Panteleev, T. A. Letova. – 2-e izd., ispravl. – M.: Vyssh. shk., 2005. – 544 s.
5. Osnovy avtomatizacii upravleniya proizvodstvom: Ucheb. pos. dlya stud. texn. vuzov / Makarov I.M., Evtixiev N.N. i dr.; pod red. I.M. Makarova. – M.: Vyssh. Shkola, 1983. – 504 s.