

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ВИРОБНИЦТВА ПАРТІЇ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ**Д. В. Ковтун**

Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат

вул. Будівельників, 16, м. Горішні Плавні, 39802, Україна. E-mail: d_kovtun1982@ukr.net

Виробництво залізородних окатишів є складним багатонаменклатурним дискретним виробництвом яке включає ряд виробничих операцій які виконуються досить тривалий час. Більшість з цих операцій носить імовірнісний характер внаслідок впливу на виробництво неконтрольованих чинників. В результаті процес виробництва окатишів вимагає постійного корегування оперативних планів і прийняття оперативних рішень. В роботі розглянуто один із шляхів підвищення ефективності виробництва окатишів який полягає в розробці методу оцінки середнього часу виробництва партії окатишів. За допомогою положень теорії черг і теорії обмежень отримані аналітичні вирази які дозволяють оцінити втрати часу виробництва при впливі збурюючих факторів різного роду. Запропонований метод дозволяє запобігти появі вузьких місць, оцінити втрати часу що виникають під впливом збурюючих факторів, визначити необхідність створення буферів матеріалів перед вузькими місцями.

Ключові слова: оперативне управління, теорія черг, теорія обмеження, залізородні окатиші.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ПРОИЗВОДСТВА ПАРТИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ**Д. В. Ковтун**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Строителей, 16, г. Горишние Плавни, 39802, Украина. E-mail: d_kovtun1982@ukr.net

Производство железородных окатышей является сложным многонаменклатурным дискретным производством которые включают в себя ряд производственных операций которые выполняются достаточно продолжительное время. Большинство из этих операций носит вероятностный характер вследствие влияния на производства неконтролируемых факторов. В результате процесс производства окатышей требует постоянного корректирования оперативных планов и принятия оперативных решений. В работе рассмотрен один из путей повышения эффективности производства окатышей который заключается в разработке метода оценки среднего времени производства партии окатышей. При помощи положений теории очередей и теории ограничений получены аналитические выражение позволяющие оценить потери времени производства при влиянии возмущающих факторов различного рода. Предложенный метод позволяет предотвратить появление узких мест, оценить возникающие под влиянием возмущающих факторов потери времени, определить необходимость создания буферов материалов перед узкими местами.

Ключевые слова: оперативное управление, теория очередей, теория ограничений, железородные окатыши.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Процес виробництва окатишів відноситься до числа складних, багатомірних технологічних процесів; протікає в умовах великого числа збурюючих впливів: зміна хіміко-мінералогічного, гранулометричного складу компонентів шихти; умов зволоження, дозування, змішування і т.п. Не зважаючи на те що процес виробництва автоматизований, системи управління процесом виробництва окатишів на сучасних виробництвах не дозволяють забезпечити максимальну продуктивність і сталість високої якості вихідного продукту. У зв'язку з цим необхідно удосконалювати методи і системи оперативного управління виробництвом залізородних окатишів.

Виробництво залізородних окатишів можна розглядати як сукупність послідовно пов'язаних окремих виробничих процесів. Через складність такого виробництва, його стохастичного характеру, наявності невизначеності щодо деяких його елементів завжди будуть існувати відхилення фактичного стану виробництва в кожен окремий момент часу від його розрахункового стану. Це і обумовлює необхідність оперативного регулювання ходу виробничого процесу.

Однією з причин, які гальмує підвищення ефективності систем оперативного управління виробни-

цтвом, є універсальний характер наявного прикладного математичного забезпечення управління, яке орієнтоване на широке коло завдань, без урахування специфічних особливостей виробництва та запобігання проявам зовнішнього середовища. Такий підхід призводить до некоректної постановки задач, побудови неадекватних математичних моделей і отримання неефективних планових і управлінських рішень.

Метою роботи є розробка методу оцінки середнього часу виробництва партії залізородних окатишів який дасть змогу знизити час виконання замовлень та скоротити запаси матеріалів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Виробництво залізородних окатишів можна розглядати як дискретне багатонаменклатурними виробництвом. Для такого виробництва характерна ситуація коли час очікування обробки чергової порції матеріалу визначається часом обробки попередньої партії. Це дозволяє використовувати для аналізу часу очікування теорію черг.

У той же час в загальноприйнятому вигляді теорія черг застосовується для аналізу ситуацій, коли завантаження агрегатів постійно протягом деякого проміжку часу (так званий стаціонарний режим). Така ситуація складається в тому випадку якщо чер-

гова порція матеріалів надходить в той час коли оброблена порція залишає агрегат.

Вочевидь, що для підтримки розміру черги незмінним, необхідно вживати заходів для приведення процесу виробництва залізорудних окатишів до стаціонарного режиму. В цьому випадку необхідним стає умова створення такого завантаження агрегатів, яка не створює коливаль, тобто завантаження i -го агрегату (ρ_i) повинно бути постійним протягом усього робочого циклу.

Для вирішення цього завдання необхідним є умова запуску чергової партії матеріалу в обробку відповідно до початком виробничого такту, відповідно до рекомендацій Toyota Production System (TPS) [1], або ритму роботи системного обмеження, відповідно до теорії обмеження Голдратта (TOC) [2].

І в першому і в другому випадку необхідно визначити середню кількість партій окатишів які необхідно виготовити за одиницю часу. При цьому за одиницю часу можна взяти одну зміну. Очевидно, що час такту визначиться відношенням загального обсягу окатишів який планується випустити протягом планового періоду до числа днів у плановому періоді. Таким чином можна вважати, що час такту - середня швидкість виробництва партій окатишів.

Як показано в [2] появі черг передують подача заявок на опрацьований матеріал. Потім ці заявки обробляються, і якщо під час обробки подати нову заявку то черга збільшується. В цьому випадку необхідно припинити формування нових заявок. В роботі [2] запропоновано метод динамічного виробничого буфера, в роботі [1] для вирішення цієї проблеми використовуються так звані картки Канбан. Це дозволяє вирівняти швидкість надходження заявок на вхід агрегатів і вихід оброблених матеріалів, таким чином, щоб виробничий режим набув стаціонарні ознаки.

Переведення виробництва в стаціонарний режим дозволяє в деякій мірі оцінити, де і в який час знаходиться матеріал призначений для обробки. Як показано в роботі [3] імітаційні моделі дискретного виробництва які використовуються в даний час не можуть супроводжувати виробничий процес в реальному масштабі часу. Дані моделі в основному використовуються для перевірки правильності прийняття рішень.

Досвід виробництва залізорудних окатишів показує що реальні виробничі ситуації призводять до відхилень планових завдань від завданих значень. Використання методу шість Сигм [4], в основі якого лежить статистична оцінка фактів, технічних даних процесів, систематичний пошук і розробка заходів щодо підвищення рівня виходу готової продукції, а також подальший аналіз безпомилковості процесів показує, що при стабільному технологічному процесі середнє значення може становити плюс мінус 1,5 Сигма. У той же час якщо процес є статистично неконтрольованим, то даний параметр є непередбачуваним.

Виробництво окатишів, яке розглядається у даній роботі, зручно аналізувати, використовуючи методи статистичного управління виробничими процесами, при цьому необхідно враховувати, що

задовільні результати можуть бути отримані тільки в тому випадку, якщо процес виробництва стабільний.

Одним із способів забезпечення стабільності параметрів виробничих процесів є використання так званих компенсаторів, або іншими словами використання матеріальних запасів. Величина цих запасів безпосередньо залежить від відхилення виробничого процесу від заданих параметрів.

В роботі [5] пропонується використовувати динамічні буфери, що дозволяють здійснювати автопідрозстроювання системи під зовнішні або внутрішні обурення. Розмір такого буфера буде відповідати розміру компенсатора, який використовується для компенсації збурень різного роду. Очевидно, що для зниження тривалості виробничого циклу розмір динамічних буферів слід знижувати. Одним з вирішень даного завдання є визначення так званих вузьких місць. В роботі [6] запропоновано здійснювати пошук вузьких місць шляхом візуального огляду виробничих ділянок і визначати незавершене виробництво.

В умовах виробництва залізорудних окатишів такий метод візуального огляду не дозволяє ефективно вирішити задачу пошуку вузьких місць, що пов'язано зі складнощами візуального визначення даних місць, і тим фактом що вузькі місця з'являються при виробництві окатишів не є стаціонарними.

Автор роботи [7] пропонує визначати вузькі місця порівнюючи пропускну здатність обладнання і необхідність його завантаження протягом планового періоду. Можна записати, що вузьке місце виникає в тому випадку, якщо не виконується наступна нерівність:

$$T_k \geq \sum_{l=1}^n t_{lk} \times x_l, \quad (1)$$

де T_k – дійсний фонд робочого часу k -го агрегату в плановому періоді; t_{lk} – нормативні витрати робочого часу на одиницю випуску партії матеріалу l виду на k -м агрегаті; x_l – програма випуску партії матеріалу l виду.

Значення T_k визначається з урахуванням тривалості робочої зміни, кількості змін у добі, повного завантаження агрегатів за вирахуванням часу необхідного на обслуговування агрегату. У тому випадку, якщо нерівність (1) не виконується, то вважається що агрегат який аналізується створює вузьке місце.

Даний метод визначення вузьких місць не враховує непланові зупинки роботи агрегатів, збоїв в постачанні сировини та ряд інших факторів.

Розглянемо критерій появи вузького місця у вигляді максимального розміру черги перед даним вузьким місцем. Для оцінки такого критерію використовуємо теорію черг, прийнявши що замість обслуговування заявок, черга агрегатів обробляє партію матеріалів.

З урахуванням [8] можна записати такі вирази, що характеризують розглянуту чергу:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (2)$$

де ρ – коефіцієнт завантаження операції; λ – інтенсивність (число подій припадає на одиницю часу); μ – кількість партій матеріалу які обробляє один агрегат в одиницю часу.

У свою чергу значення λ і μ можна визначити як:

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{сід}}}, \quad (3)$$

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{ска}}}, \quad (4)$$

де $t_{\text{сід}}$ – час між обробкою чергових партій матеріалу, $t_{\text{ска}}$ – час обробки однієї партії матеріалу.

Розглянемо ситуацію, коли час обробки різних партій матеріалу однаковий. У цьому випадку, відповідно до теорії черг, прихід заявок можна розглядати по одній і обсяг різних партій виробів постійний. Таку ситуацію можна розглядати як стаціонарну, при якій вхідний потік партій матеріалів підтримується регулярним а також регулярним є час обробки. Партії надходять на опрацювання об'ємом рівним N . Розглянутий регулярний потік партій матеріалів важко аналізувати за допомогою теорії черг, оскільки він не є найпростішим.

Припустимо, що при надходженні партії матеріалу на обробку до агрегату її мінімальний обсяг дорівнює N . В процесі обробки партій довжина черги зменшується до нуля. Таким чином середня кількість партій в черзі дорівнює $N/2-1$. З огляду на те, що агрегат працює в стаціонарному режимі з повним завантаженням протягом планованого періоду довжину черги при фактичного завантаження агрегату можна виразити таким виразом:

$$L = \left(\frac{N}{2} - 1\right) \times \rho. \quad (5)$$

Середнє число заявок на обробку партій можна отримати шляхом підсумовування довжини черги із середнім числом обслуговуваних заявок.

$$L' = L + \rho = \frac{\rho N}{2}. \quad (6)$$

Час яке буде втрачено партією в очікуванні обробки, відповідно до [9] можна виразити через вираз:

$$T = \frac{L}{\lambda} = \frac{\left(\frac{N}{2} - 1\right) \times \rho}{\lambda}. \quad (7)$$

Середній час яке проводити заявка в черзі можна виразити наступним чином:

$$T' = \frac{L'}{\lambda} = \frac{\rho N}{2\lambda}. \quad (8)$$

Припустимо, що потік партій виробів на обробку довільний, і час обробки чергової партії матеріалу також довільний. В цьому випадку можна вважати що потік є марковським. Тоді можна використовувати вираз який дозволяє оцінити середню довжину черги [10] у вигляді:

$$L'_{\text{іт}} = \frac{\rho^2(v_{\lambda}^2 + v_{\mu}^2)}{2(1-\rho)}, \quad (9)$$

де v_{λ} – коефіцієнт зміни інтервалів часу між обробками партій виробів; v_{μ} – коефіцієнт зміни часу обробки партії матеріалів.

У свою чергу v_{λ} описується як:

$$v_{\lambda} = \frac{\sigma_{\lambda}}{m_{\lambda}} \geq 0, \quad (10)$$

де σ_{λ} – відхилення часу між надходженнями партією матеріалів на обробку; m_{λ} – стандартне математичне очікування

$$m_{\lambda} = \frac{1}{\lambda} = t_{\text{ітд}} \cdot \text{ітдд}, \quad (11)$$

v_{μ} можна виразити таким чином:

$$v_{\mu} = \frac{\sigma_{\mu}}{m_{\mu}} \geq 0, \quad (12)$$

де σ_{μ} – відхилення часу обробки партії матеріалу; m_{μ} – математичне очікування

$$m_{\mu} = \frac{1}{\mu} = t_{\text{ітд}} \cdot \text{ітдд}. \quad (13)$$

Змінимо вираз (9) з урахуванням середнього числа партій в черзі таким що дорівнює $N/2-1$ і напишемо наступне:

$$L'_{\text{іт}} = \frac{\rho^2(v_{\lambda}^2 + v_{\mu}^2)}{2(1-\rho)} \times \frac{N}{2} \quad (14)$$

напишемо

$$L'_{\text{ітд}} = L'_{\text{іт}} + L' = \left(\frac{\rho^2(v_{\lambda}^2 + v_{\mu}^2)}{2(1-\rho)} + \rho \right) \times \frac{N}{2}. \quad (15)$$

Тоді час перебування партії матеріалів в черзі можна визначити відповідно до [11] наступним чином:

$$\begin{aligned}
 T'_{\text{пєєє}} &= \rho^2 \times \frac{(v_\lambda^2 + v_\mu^2) \times N}{4(1-\rho) \times \lambda} + \\
 &+ \frac{\rho \times N}{2} = \rho^2 \times \frac{v_\lambda^2 \times N}{4(1-\rho) \times \lambda} + \\
 &+ \rho^2 \times \frac{v_\mu^2 \times N}{4(1-\rho) \times \lambda} + \rho \times \frac{N}{2 \times \lambda}
 \end{aligned} \quad (16)$$

У цьому виразі додатки характеризують різні ситуації, зокрема:

$$\rho^2 \times \frac{v_\lambda^2 \times N}{4(1-\rho) \times \lambda} - \text{характеризує нерегулярність}$$

надходження заявок на обробку;

$$\rho^2 \times \frac{v_\mu^2 \times N}{4(1-\rho) \times \lambda} - \text{характеризує нерегулярність}$$

часу обробки заявок а так-же різним часом на обробку заявок;

$$\rho \times \frac{N}{2 \times \lambda} - \text{характеризує задержки поступлення}$$

партий матеріалів.

Припустимо, що частота надходження партій матеріалу на обробку до установки і частота обробки партій визначаються випадковими величинами. Тоді, якщо відхилення є випадковими, коефіцієнт відхилення дорівнює одиниці. З урахуванням сказаного вираз (16) можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 T'_{\text{пєєє}} &= \rho^2 \times \frac{N \times I^2}{4(1-\rho) \times \lambda} + \\
 &+ \rho^2 \times \frac{N \times I^2}{4(1-\rho) \times \lambda} + \frac{\rho \times N}{2 \times \lambda} = \\
 &= \rho^2 \times \frac{N}{2(1-\rho) \times \lambda} + \rho \times \frac{N}{2 \times \lambda}
 \end{aligned} \quad (17)$$

звідки

$$\begin{aligned}
 T'_{\text{пєєє}} &= \left(\frac{\rho}{1-\rho} + 1 \right) + \\
 &+ \frac{\rho \times N}{2 \times \lambda} = \frac{\rho \times N}{2 \times \lambda (1-\rho)}
 \end{aligned} \quad (18)$$

Реальний процес не може здійснюватися без впливу різних факторів які призводять до відхилення процесу від стаціонарного. У таких випадках необхідно використовувати метод динамічного буфера. Дане рішення дозволить регулювати завантаження агрегатів ρ . Таким чином шляхом створення запасів незавершеного виробництва запобігає які не заплановані простой і досягається зменшення коефі-

цієнта зміни інтервалів часу між обробками партій виробів до значення $v_\lambda = 0$.

У разі відсутності пропонованого буферного запасу перед вузьким місцем інтервал надходження партій матеріалу на обробку може придбати випадковий характер, що призведе до збільшення черги партій які очікують обробки на агрегаті. Причиною такої нестабільності може бути зміна інтенсивності роботи агрегату, поломки різного виду, випадкових втрат часу.

ВИСНОВКИ. 1. Розроблено метод оцінки середнього часу виробництва партії залізорудних окатишів, який на відміну від існуючого враховує витрати часу які трапляються під впливом різних збурюючих факторів, що дало змогу знизити час виконання замовлень та скоротити запаси матеріалів; 2. Запропонований метод дозволяє запобігти появі вузьких місць, оцінити втрати часу які виникають під впливом збурюючих факторів, визначити необхідність створення буферів матеріалів перед вузькими місцями. 3. Аналіз середнього часу виробничого циклу виробництва залізорудних окатишів показує, що максимальне завантаження агрегатів може призвести до непередбачуваності термінів виконання обробки партій окатишів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Liker. K. The Toyota Way: The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. K., 2004. 352 p.
2. Шрагенхайм Э. Теория ограничений в действии: Системный подход к повышению эффективности компании. 2014. 286 с.
3. Туровцев О. Г. Организация производства и управление предприятием. – М: ИНФРА-М, 2004. 528 с.
4. Dave N. How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. Quality Progress. 2002. № 35. PP. 73–80.
5. Goldratt. E.M. What is the thing called theory of constraints and how should it be implemented? Crotonon-Hudson. NY: North River Pres. 1990. 620 p.
6. Watson. K.J., Blackstone J.H., Gardiner S.C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. Journal of Operations Management. 2007. № 25. PP. 387–402.
7. Такеда Х. Синхронизированное производство. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2008. 288 с.
8. Хемди А. Т. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
9. Sundarapandian V. Probability, Statistics and Queueing Theory. New Deli: PHI Learning, 2009. 809 p.
10. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. М.: РУДН, 1997. 530 с.
11. Leon-Garcia A. Probability, statistics, and random processes for electrical engineering. New York: Prentice Hall, 2008. 580 p.

**DEVELOPMENT OF METHOD FOR ESTIMATING THE AVERAGE TIME
FOR PRODUCTION OF IRON ORE PELLET CONSIGNMENT**

D. Kovtun

Poltava mining and processing plant

vul. Budivel'nikov, 16, Horishni Plavni, 39802, Ukraine. E-mail: d_kovtun1982@ukr.net

Purpose. To research the process of pellet production among the number of complex, multi-dimensional technological processes. Despite the fact that the production process is automated, pellet production control systems in modern industries do not allow to provide maximum productivity and constancy of high quality of the original product. In this regard, it is necessary to improve the methods and systems of operational management of the production of iron ore pellets. The development of a method for estimating the average time of production of consignment of iron ore pellets that will help to reduce the time of execution of orders and reduce inventory of materials. **Methodology.** We have used well-tested positions of the theory of mass service (theory of queues) and theory of constraints. Methods of mathematical modeling and statistical processing of results were also used. **Originality.** We have proposed a method for estimating the average production time of iron ore pellet consignment. Unlike existing ones this method takes into account unplanned stopping of aggregates, failures in the supply of raw materials, and a number of other factors. **Practical value.** Analysis of the average time of the production cycle of iron ore pellets shows that the maximum loading of aggregates can lead to unpredictable duration of execution of the processing of batches of pellets. The results of the work can be implemented at enterprises of various industries where the process is of a discrete nature. **Results.** We have developed the method of estimating the average time of production of a batch of iron ore pellets. This method makes possible reducing of the time of execution of orders and reducing inventory of materials. Also the method helps to prevent the appearance of bottlenecks, to estimate time losses that arise under the influence of perturbing factors and to determine the need to create buffers of materials in front of bottlenecks. Analysis of the average time of the production cycle of iron ore pellets shows that the maximum loading of aggregates can lead to unpredictability of the timing of the processing of batches of pellets. References 11.

Key words: operational management, theory of queues, theory of constraints, iron ore pellets.

REFERENCES

1. Liker, K. (2004), "The Toyota Way: The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer" 352 p.
2. Shragenhaym, E. (2014), *Teoriya ogranicheniy v deystvii: Sistemnyiy podhod k povyisheniyu effektivnosti kompanii* [Theory of constraints in action: A systematic approach to improving the efficiency of a company], p. 286.
3. Turovtsev, O.G. (2004), *Organizatsiya proizvodstva i upravlenie predpriyatiem* [Organization of production and enterprise management], M: INFRA-M, p. 528.
4. Dave, N. (2002), "How to compare six sigma, lean and the theory of constraints", *Quality Progress*, no. 35, pp 73–80.
5. Goldratt, E.M. (1990), *What is the thing called theory of constraints and how should it be implemented*, Croton-on-Hudson. NY: North River Pres. 620 p.
6. Watson, K.J., Blackstone, J.H., Gardiner, S.C. (2007), "The evolution of a management philosophy: The theory of constraints", *Journal of Operations Management*, no.25, pp. 387–402.
7. Takeda, H. (2008), *Sinhronizirovannoe proizvodstvo* [Synchronized production], M, Institut kompleksnyih strategicheskikh issledovaniy, 288 p.
8. Khemdi, A.T. (2007), *Vvedeniye v issledovaniye operatsiy* [Introduction to Operations Research] M, Vil'yams, 912 p.
9. Sundarapandian, V. (2009), "Probability, Statistics and Queueing Theory", New Deli, PHI Learning, 809 p.
10. Bocharov, P.P., Pechinkin, A.V. (1997), *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queueing Theory], M, RUDN, 530 p.
11. Leon-Garcia, A. (2008), *Probability, statistics, and random processes for electrical engineering*, New York, Prentice Hall, 580 p.

Стаття надійшла 16.04.2018.