

© І.В. Новицький¹, В.В. Слесарев¹, Ю.О. Шевченко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ДВОСТАДІАЛЬНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЛІНІЯМИ

© I. Novitskyi¹, V. Sliesariiev¹, Y. Shevchenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

SYSTEM APPROACH IN OPTIMAL MANAGEMENT PROBLEMS FOR TWO-STAGE TECHNOLOGICAL LINES

Метою цієї роботи є дослідження та оптимізація процесів проектування та оперативного управління двостадіальною технологічною лінією.

Методика дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовано комплексний підхід, який полягає у формалізації та аналізі задач оперативного управління та проектування технологічних ліній. Для визначення оптимального співвідношення між граничними пропускними здібностями стадій технологічних ліній застосовані методи теорії ймовірностей, що передбачають обробку математичних моделей випадкових величин.

Результати дослідження. Обґрунтовано необхідність використання системного комплексного підходу при управлінні двостадіальними технологічними лініями, що передбачає спільний розгляд задач проектування та оперативного управління. Розглядаються три оптимізаційні завдання, що розрізняються у своїй постановці вихідними даними, цілями та параметрами оптимізації. Це завдання конструкторської оптимізації при створенні обладнання, завдання оптимального проектування технологічних схем та завдання оптимального оперативного управління. Для досягнення глобального оптимуму за економічним критерієм ці три види завдань слід розглядати комплексно, у взаємному зв'язку. У цій роботі виконано у загальному вигляді формалізація подібного комплексного завдання для двостадіальних технологічних схем та зазначено підходи до її вирішення. Запропоновано методику вирішення таких задач засновану на інформації про питомі витрати ресурсу та про характеристики потоку матеріалу, що переробляється.

Наукова новизна. Виконано постановку комплексної задачі оптимізації функціонування двостадіальних технологічних ліній, що враховує проблеми вибору складу обладнання та оперативного управління та запропоновано підхід до її вирішення.

Практичне значення. Запропонований підхід дозволяє знайти оптимальне рішення комплексної задачі управління та проектування двостадіальних технологічних ліній з погляду економічного критерію.

Ключові слова: системний підхід, двостадіальна технологічна лінія, оптимальне керування, комплексний підхід, питомі експлуатаційні витрати, оперативне управління.

Формулювання проблеми. Найбільш об'єктивно ефективність функціонування технологічної лінії можна оцінити економічними критеріями. Наприклад, при проектуванні може ставитись задача забезпечення мінімуму питомих експлуатаційних витрат при обмеженнях на продуктивність і якість готової продукції. При створенні складних технологічних структур, що працюють в

умовах дії випадкових факторів, вирішення подібних задач не очевидне і може бути отримане лише на основі комплексного підходу [1 – 8].

Задача створення технологічної лінії у загальному випадку зводиться до трьох етапів: 1) розробка конструкції окремих апаратів технологічної лінії; 2) вибір складу апаратів лінії з наявного ряду (найчастіше за продуктивністю) і з'єднання їх в єдину структуру; 3) оперативне управління технологічною лінією.

На жаль, перераховане часто розглядають як відокремлені задачі, що не дозволяє виконати оптимізацію процесу створення технології за глобальним критерієм. Тому розглянемо спрощену двостадіальну структуру (рис. 1), характерну для низки галузей промисловості: хімічної, гірничорудної, харчової тощо.

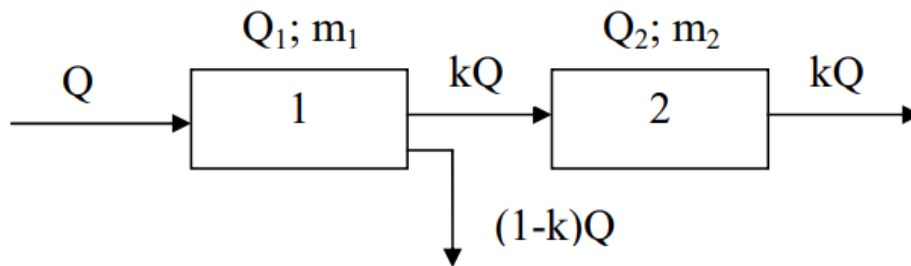


Рис.1. Спрощена двостадіальна структура технологічної лінії.

Постановка та розв'язання задачі. На вхід лінії надходить потік матеріалу Q [т/год.], який потребує певної переробки за двостадіальною схемою. На першій стадії (блок 1) крім перетворення якісних характеристик потоку відбувається його поділ на дві частини – kQ та $(1-k)Q$ за певною ознакою. Значення коефіцієнта поділу ($0 < k < 1$) залежить від показників вихідного потоку матеріалу. Апарати першої та другої стадій характеризуються граничною пропускною здатністю Q_1 та Q_2 [т/год.] (зазвичай це така продуктивність, при якій не відбувається неприпустимих втрат якості), а також експлуатаційними витратами R_1 та R_2 [грн/год.]. Чим більша продуктивність апарату, тим вищі експлуатаційні витрати. Спрощено припускати лінійний зв'язок між параметрами, тобто:

$$\begin{aligned} R_1 &= Q_1 m_1; \\ R_2 &= Q_2 m_2. \end{aligned}$$

Коефіцієнти пропорційності m_1 та m_2 [грн/т] мають сенс питомих експлуатаційних витрат за максимальної продуктивності. Розмір цих коефіцієнтів визначає ефективність конструкції відповідних апаратів.

Нехай у спрощеній постановці задачі критерієм ефективності є сумарні питомі експлуатаційні витрати за наступних обмежень на продуктивність апаратів першої та другої стадій:

$$\begin{aligned} J &= \frac{R_1}{Q} + \frac{R_2}{(kQ)} = \frac{Q_1 m_1}{Q} + \frac{Q_2 m_2}{(kQ)} \rightarrow \min; \\ Q &\leq Q_1 \\ kQ &\leq Q_2. \end{aligned} \quad (1)$$

Незважаючи на просту структуру задача (1) вказує на зв'язок між трьома етапами створення технологічної лінії: розробку конструкції апаратів, проектування лінії та оперативне керування нею.

Оптимізація конструкції апаратів полягає у мінімізації m_1 та m_2 ; оптимізація при проектуванні - у виборі співвідношення між Q_1 і Q_2 (або у виборі Q_2 при заданому Q_1); оптимізація оперативного управління полягає у визначенні Q .

Виконаємо аналіз задачі (1). Очевидно, що оптимальне значення Q визначається як

$$Q^{onm} = \min \{Q_1; Q_2 / k\}$$

Якщо значення k відоме і стале, то задача вибору співвідношення між Q_1 і Q_2 також має очевидне рішення:

$$Q_2^{onm} = kQ_1^{onm}$$

Отже, для сталого k рішення задачі (1) наступне:

$$Q^{onm} = Q_2^{onm} = kQ_1^{onm}$$

Однак у реальних умовах коефіцієнт поділу k є випадковою величиною, розподіленою за певним законом в інтервалі від 0 до 1. Зазвичай закон розподілу k залежить від якісних властивостей вхідного потоку матеріалу, що переробляється, тобто від Q . У цьому випадку критерій J також буде випадковою величиною і задача (1) буде мати вигляд:

$$M(J) = M \left(\frac{Q_1 m_1}{Q} + \frac{Q_2 m_2}{(kQ)} \right) \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Q &\leq Q_1 \\ kQ &\leq Q_2 \end{aligned}$$

де $M(\cdot)$ – оператор математичного сподівання; k – випадкова величина з відомим законом розподілу; m_1, m_2, Q_1 – постійні параметри.

Знайти точне аналітичне розв'язання задачі (2) у загальному випадку не можна. Її можна вирішити приблизно методом статистичних випробувань, який є універсальним і успішно може бути застосований для оптимізації і складніших багатостадійних структур.

Наближено задачу (2) можна вирішити, ґрунтуючись на наступному висновку: чим більш витратний технологічний переділ (чим більше $m_i, i = 1, 2$), тим більше він повинен бути завантажений.

Окрім задачі оперативного управління обладнанням слід звернути увагу на не менш актуальну задачу вибору співвідношення між гранично допустимими Q_1 та Q_2 . Така задача виникає на етапі проектування технологічної лінії. Нехай гранична продуктивність Q_1 задана та необхідно визначити Q_2 . З урахуванням зв'язку $Q_1 = kQ_2$, ця задача зводиться до визначення значення коефіцієнта k^* , де $Q_1 = k^*Q_2$.

Очевидно, що оптимальне співвідношення між Q_1 і Q_2 визначається коефіцієнтом поділу k , який є випадковою величиною і в основному залежить від властивостей потоку вихідного матеріалу Q . При цьому можливі значення k лежать в деякому діапазоні $k_{min} - k_{max}$ ($0 < k_{min} < k_{max} < 1$) і підпорядковуються деякому закону розподілу ймовірностей.

Якщо цей закон відомий, наприклад, у вигляді диференціальної функції $f(k)$, то оптимальне значення k^* визначається з урахуванням питомих експлуатаційних витрат для першої m_1 і другої m_2 стадій (рис. 2):

$$\int_{k_{min}}^{k^*} f(k) dk = \frac{m_1}{m_1 + m_2}.$$

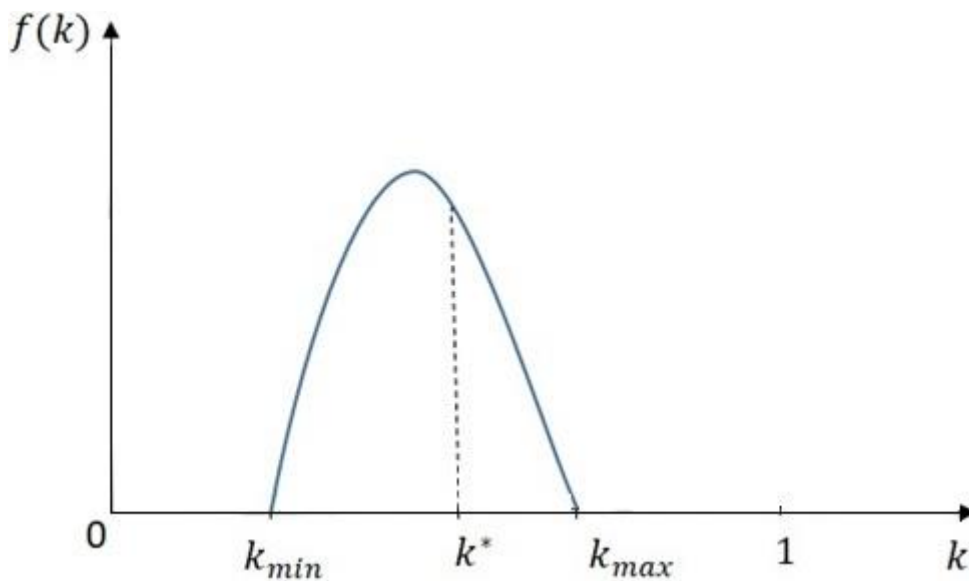


Рис. 2. Щільність розподілу випадкової величини k .

В якості прикладу розглянемо фрагмент технологічної лінії збагачення залізних руд, що складається з млина з класифікуючими по крупності агрегатами в першій стадії на рисунку 1 (блок 1) та кількох магнітних сепараторів у другій стадії (блок 2). Коефіцієнт поділу k у цьому випадку буде залежати від режиму роботи млина і, в основному, від характеристик руди, що надходить на подрібнення. Нехай закон розподілу k близький до нормального в діапазоні $k_{min} - k_{max}$. Тоді параметри закону розподілу k :

$$M(k) = \frac{k_{min} + k_{max}}{2} - \text{математичне сподівання};$$

$$\sigma(k) = \frac{k_{max} - k_{min}}{6} - \text{середнє квадратичне відхилення}.$$

Припустимо, що питомі експлуатаційні витрати пропорційні питомій витраті електроенергії, яка для млинів мокромо самоподрібнення типу ММС 70*23 становить приблизно 10 кВт·ч/т. Цей показник для протиточних магнітних барабанних сепараторів мокромо збагачення становить близько 0,3 кВт·ч/т. Тоді оптимальне значення k^* визначиться за умови:

$$\int_{k_{\min}}^{k^*} f(k) dk = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{10}{10 + 0,3} = 0,97.$$

Вирішуючи останнє рівняння, знайдемо:

$$k^* \approx M(k) + 2,45 \cdot \sigma(k)$$

Отриманий результат означає, що у цьому випадку продуктивність і кількість сепараторів потрібно вибирати, орієнтуючись на максимальне значення коефіцієнта поділу. Це визначається тим, що питомі витрати на подрібнення значно перевищують аналогічний показник для магнітної сепарації.

Висновки та результати: При створенні двостадіальних технологій переробки необхідний комплексний системний підхід: задачі оптимального оперативного управління слід розглядати спільно із задачами проектування технологічної схеми та вибору обладнання. При цьому відповідно до запропонованої методики необхідно враховувати інформацію про питомі експлуатаційні витрати для кожної стадії переробки та якісні показники потоку сировини, що переробляється.

References

1. Сокур, М.І., Білецький, В.С., Відмідь, І.А., & Робота, Є. М. (2020). *Рудопідготовка (дроблення, подрібнення, класифікація): монографія*. Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського.
2. Новицький, І. В., & Ус, С. А. (2017). *Сучасна теорія керування: навч. посіб.* Національний гірничий університет. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150797>
3. Попович, М. Г., & Ковальчук, О. В. (2007). *Теорія автоматичного керування: підручник*. Київ: Либідь.
4. Гнеденко, Б. В. (2010). *Курс теорії ймовірностей*. Київський університет.
5. Білецький, В. С. (2013). *Мала гірнича енциклопедія*. Донецьк: Східний видавничий дім.
6. Сдвижкова, О.О., Бугрим, О.В., Бабець, Д.В., & Іванов, О.С. (2015). *Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики в гірництві: : навч. посіб.* Національний гірничий університет. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/146618>
7. Новицький, І. В., Слесарев, В. В., & Малієнко, А. В. (2021). Основні принципи організації пошукових процедур при управлінні процесом самоздрібнювання в барабанних млинах. *Збірник наукових праць НГУ*, 66, 245-253. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/66.245>
8. Novitskiy I., & Shevchenko Y. (2018). Method of extreme control for ore self-crushing mills. *Contemporary Innovation Technique of the Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry 2017 (CITEPTMTI'2017)*, 1(4), 207-211. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/156579>

ABSTRACT

Purpose of work is to research and design process optimization and optimal operational management for a two-stage technological line.

Methodology. To achieve the goal, we apply a comprehensive approach, which consists of the formalization and analysis of operational management tasks and technological lines designing. The methods of probability theory are used to determine the optimal level between the maximum bandwidths of the stages of the technological lines and for processing mathematical models of random variables.

Research results. The need for a system-wide approach to the management of two-stage technological lines is substantiated, which involves joint consideration of design and operational management tasks. Three optimization problems are considered, which differ in their formulation by initial data, goals and optimization parameters. This is the problem of design optimization when creating equipment, the problem of optimal design of technological schemes and the problem of optimal operational control. These three types of tasks must be considered comprehensively, in mutual connection to achieve a global optimum in terms of the economic criterion. The formalization of such a complex problem for two-stage technological schemes was carried out in a general form and approaches to its solution. The methodology for solving such problems is proposed, based on information about the specific consumption of the resource and the characteristics of the flow of the processed material.

Scientific novelty. The formulation of the complex optimization problem for the functioning of two-stage technological lines, including the choice of the equipment and a type of operational management, and a solving approach for the considered problem was provided.

Practical significance of work results. The proposed approach makes it possible to find the optimal solution to the problem of management and design of two-stage technological lines from the point of view of the economic criterion.

Keywords: *system approach, two-stage technological line, optimal management, specific operation cost, methodology, comprehensive approach, complex task.*