

## ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА ТА ПРОСТОРОВО – КЛАСТЕРНИЙ БІЗНЕС

УДК 658.8:519.8:659

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА

DOI 10.30838/ P.ES.2224.290818.162.186

Волкова В. В., к.е.н.,

Огліх В. В., к.ф.-м.н.

*Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара*

Метою дослідження є підвищення ступеню рівномірності та ритмічності роботи підприємства за рахунок ефективного завантаження виробничої системи на засадах прийомів та методів математичного моделювання. У статті проаналізовано особливості функціонування підприємств з одиничним та дрібносерійним типом виробництва та з'ясовано, що підвищення результативності функціонування таких підприємств неможливе без ефективного завантаження їх виробничої системи. Визначено поняття ефективного завантаження виробничої системи. Сформульовано задачі ефективного завантаження виробничої системи підприємства в умовах послідовної та паралельної організації обробки продукції. Запропоновано етапи розв'язання відповідних задач та надано характеристику реалізації кожного з етапів. До переваг викладеного можна віднести: врахування потенційно відмінних вимог до використання обладнання виробничого підприємства в умовах паралельної або послідовної обробки продукції; передбачення можливості переходу від суто паралельної схеми організації обробки до частково-перехресної за рахунок визначення та подальшого врахування невикористаного доступного часу роботи обладнання підприємства на різних ділянках з метою випуску додаткових обсягів продукції; врахування вимог ринку до виробничої системи підприємства завдяки прогнозування попиту на продукцію та побудови гнучкої системи завантаження обладнання. Виконано практичну реалізацію моделей завантаження обладнання. Результати досліджень, представлені в роботі, можуть бути використані у практичній діяльності будь-якого підприємства з одиничним або дрібносерійним типом виробництва, яке має за мету підвищення ступеню рівномірності та збалансованості роботи за рахунок ефективного завантаження виробничої системи.

**Ключові слова:** виробниче підприємство, одиничний та дрібносерійний тип виробництва, ефективне завантаження виробничої системи, прогнозування попиту, підвищення ступеню рівномірності та збалансованості роботи, методи математичного моделювання.

UDC 658.8:519.8:659

**INCREASING THE EFFICIENCY OF LOADING THE ENTERPRISE PRODUCTION SYSTEM**

DOI 10.30838/ P.ES.2224.290818.162.186

**Volkova V., PhD in Economics**  
**Oglikh V., PhD in Physics and Mathematics**  
*Oles Honchar Dnipro National University*

The purpose of the study is to increase the degree of uniformity and rhythmicity of the enterprise due to the efficient loading of the production system on the basis of techniques and methods of mathematical modeling. The peculiarities of the functioning of enterprises with a single and small-scale type of production have been analyzed. It has been found that improving the performance of such enterprises is impossible without an effective load of their production system. The concept of the efficient loading of the production system has been determined. The tasks of the efficient loading of the production system of the enterprise under conditions of the consistent and parallel organization of product processing have been formulated. Stages for solving the corresponding tasks are proposed and their implementation is described. The advantages of the foregoing include: consideration of potentially different requirements for using the equipment of a manufacturing enterprise in conditions of parallel/sequential product processing; anticipation the possibility of transition from a purely parallel scheme of organization of processing to a partially cross-cutting one at the expense of determination and taking into account the unused available time for operating the enterprise's equipment at various areas in order to produce additional production volumes; take into consideration the market requirements to the production system of the enterprise due to the use of the values of the predicting demand for products and the construction of a flexible equipment loading system. Practical realization of loading models of equipment is attained. The results of the research presented in this article can be used in the practical activity of any enterprise with a single or small-scale type of production, which aims to increase the degree of uniformity and balance of work due to the efficient loading of the production system.

**Keywords:** production system, single and small-scale type of production, efficient loading of the production system, predicting demand, uniformity and balance of work increasement, mathematical modeling methods.

**Актуальність проблеми та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями.** В сучасній економіці підприємства функціонують в умовах посилення ринкової конкуренції, постійної боротьби за споживача, мінливих вимог споживачів щодо якості продукції та її дизайну. Все це призводить до необхідності пошуку підприємствами конкурентних переваг та нових джерел підвищення ефективності за рахунок: визначення оптимальних об'ємів випуску продукції з урахуванням попиту споживачів; мінімізації витрат при

використанні наявних виробничих потужностей та ресурсів; росту виробництва праці, відповідальності працівників за якість роботи; підвищення ефективності завантаження виробничої системи підприємства. Останнє завдання має за мету рівномірно завантажувати виробництво, отримувати прогнозований результат виробництва з точки зору співвідношення витрат і результату.

Таким чином, бажаючи досягти певного стану на ринку та отримання максимального прибутку, підприємства мають скоординувати в заданий проміжок часу можливості трудових ресурсів та обладнання. Тому питання організації діяльності виробничого підприємства набуває сьогодні неабиякої актуальності.

**Аналіз останніх наукових досліджень.** Незважаючи на те, що цьому питанню присвячені праці багатьох авторів, як зарубіжних, так і вітчизняних, серед яких Вумек Дж., Джонс Д. [1], Імаї М. [2], Голдрат Е., Марчвінські Ч., Оно Т., Лайкер Д. [3], Лотов А.В. [4], Полховська Т.М. [5], Адлер Ю.П. [6], Румянцев Н.В. [7], Туровцева О.Г. [8] та інші, деякі його аспекти вивчені недостатньо.

Зокрема, відчувається брак формалізованих інструментів, призначених для оптимізації процесу випуску продукції підприємств з одиничним або дрібносерійним типом виробництва. Такі підприємства випускають продукцію дрібними партіями, в процесі виготовлення якої мають бути враховані побажання клієнтів.

Умови функціонування вказаних підприємств характеризуються тим, що виготовлена на замовлення продукція оцінюється за параметрами якості, відповідності вимогам, обсягів поставок, рівня обслуговування клієнта. Це потребує від підприємства виконання широкого спектру разових робіт, обумовлених невеликими замовленнями, високої гнучкості організації виробництва з вільним плануванням, відкритого стилю керівництва.

Підвищення результативності функціонування підприємства з одиничним або дрібносерійним типом виробництва неможливе без ефективного завантаження виробничої системи. Під процесом ефективного завантаження будемо розуміти максимально можливе завантаження обладнання з одночасним виявленням існуючих резервів його використання під час виробництва певних видів продукції.

**Мета роботи** – підвищення ступеню рівномірності та ритмічності роботи підприємства за рахунок ефективного завантаження виробничої системи на засадах прийомів та методів математичного моделювання.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Вважатимемо, що асортиментний ряд підприємства складається з декількох видів виробів, які проходять певні точки обробки. На кожній ділянці є певні типи обладнання, на яких безпосередньо виконується обробка продукції, та які характеризуються різною продуктивністю. Відомі наступні технологічні параметри обробки: тривалість (трудомісткість) обробки та доступний робочий час для кожного виду продукції; час тривалості робочої зміни та їх кількість. Кожен з видів виробів  $i, i=1, \dots, m$ , має свій час такту  $P^i$ , що показує, з якою частотою потрібно виробляти одиницю продукції, щоб задовольнити існуючий на неї попит.

Завантаження виробничої системи реалізується залежно від умов організації: кожен вид продукції обробляється на певній ділянці (паралельна обробка); кожен вид продукції потребує обробки на кожній ділянці (послідовна обробка).

Маємо зазначити, що задачу ефективного завантаження виробничої системи в умовах паралельної обробки слід розв'язувати за схемою (рис.1).



*Рис.1. Етапи розв'язання задачі ефективного завантаження виробничої системи за паралельною схемою*  
Джерело: розроблено автором

Прогнозування попиту на кожен вид продукції  $i, i=1, \dots, m$ , величина якого потрібна для розрахунку часу такту  $P^i$ , пропонується здійснювати методом експоненціального згладжування лінійного тренду (модель Холта) [9]. Його обчислювальна процедура передбачає обробку всіх попередніх спостережень з урахуванням старіння інформації по мірі віддалення від прогнозного періоду через надання спадної ваги більш віддаленим спостереженням. Це реалізується згладжуванням ряду вихідних даних  $x_t$  експоненціальними середніми  $S_t$ . До переваг моделі Холта також слід віднести наявність компоненти  $T_t$ , що відповідає за моделювання тренда ряду:

$$S_t = \alpha * x_t + (1 - \alpha) * (S_{t-1} + T_{t-1}), \quad (1)$$

$$T_t = \beta * (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}, \quad (2)$$

$$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, \quad (3)$$

де  $\alpha, \beta$  – параметри згладжування, кожен з яких регулює процес адаптації до динаміки вихідних даних.

Розрахункове значення компонент ряду:

$$x_{t+1}^p = S_t + T_t, \quad (4)$$

Прогноз на період  $N+l$ , де  $N$  – кількість спостережень,  $l$  – номер періоду випередження, визначається наступним чином:  $x_{N+l}^p = S_N + T_N * l$ .

Розв'язання задач визначення оптимального закріплення обладнання за об'ємами випуску кожного виду продукції за умови максимально допустимого завантаження обладнання для кожної ділянки пропонується здійснювати на основі наступної економіко-математичної моделі [10]:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^m t_i^{kl} * y_i^{kl} \rightarrow \max \quad k=1, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m t_i^{kl} * y_i^{kl} \leq n * \sum_{i=1}^m \tau_i^{kl}, \quad k=1, \dots, K; \quad l=1, \dots, L \quad (6)$$

$$\min \{w_i^k / t_i^{kl}; n * \tau / P^i\} \leq \sum_{i=1}^m y_i^{kl} \leq n * \tau / P^i, \quad k=1, \dots, K; \quad l=1, \dots, L \quad (7)$$

$$y_i^{kl} \geq 0, \quad i=1, \dots, m; \quad k=1, \dots, K; \quad l=1, \dots, L, \quad (8)$$

$i$  – вид продукції,  $i=1, \dots, m$ ;

$k$  – номер ділянки,  $k=1, \dots, K$ ;

$l$  – тип обладнання,  $l=1, \dots, L$ ;

$n$  – кількість змін роботи;

$\tau$  – час тривалості зміни;

$y_i^{kl}$  – об'єм обробки продукції  $i$ -го виду  $l$ -м типом обладнання на  $k$ -й ділянці;

$t_i^{kl}$  – тривалість обробки продукції  $i$ -го виду  $l$ -м типом обладнання на  $k$ -й ділянці;

$\tau_i^{kl}$  – доступний робочий час обробки  $i$ -го виду продукції  $l$ -м типом обладнання на  $k$ -й ділянці;

$w_i^k$  – коефіцієнт завантаження  $k$ -ї ділянки виготовленням  $i$ -го виду продукції;

$P^i$  – час такту.

Розрахуємо час такту  $i$ -го виду виробу з використанням прогнозного попиту на нього  $x_i^p$ , знайденого на першому етапі розв'язання задачі ефективного завантаження виробничої системи:

$$P^i = \frac{n \cdot \tau}{x_i^p}, \quad (9)$$

де  $x_i^p$  – величина попиту на  $i$ -й вид виробу на день.

Коефіцієнт завантаження  $w_i^k$  ділянки за номером  $k$  виготовленням  $i$ -го виду продукції отримаємо з урахуванням часу такту  $P^i$  виробу  $i$ -го виду та тривалості його обробки  $t_i^{kl}$  типом обладнання  $l$  на відповідній ділянці:

$$w_i^k = \frac{\delta_i^k \cdot \sum_{l=1}^L t_i^{kl}}{P^i \cdot \sum_{i=1}^m \left( \frac{\delta_i^k \cdot \sum_{l=1}^L t_i^{kl}}{P^i} \right)}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m w_i^k = 1, \quad (11)$$

$\delta_i^k$  – булева змінна, яка визначає, приймає участь ( $\delta_i^k = 1$ ), або не приймає ( $\delta_i^k = 0$ )  $k$ -та ділянка в обробці виробу  $i$ -го виду.

Модель (5–8) дозволяє здійснити максимально допустиме завантаження обладнання для певної ділянки з урахуванням доступного робочого часу обробки продукції кожним типом обладнання та існуючого попиту на кожний вид продукції. Одержані таким чином величини  $y_i^{kl}$  випуску кожного виду продукції  $i$ , ( $i=1, \dots, m$ ), за якими оптимально закріплено обладнання  $l$ -го типу ( $l=1, \dots, L$ ) на кожній  $k$ -й ділянці ( $k=1, \dots, K$ ), використовуються для подальшого розрахунку резервів робочого часу.

Розрахунок резервів на кожній ділянці для кожного типу обладнання необхідно здійснювати задля визначення невикористаного

доступного часу їх роботи  $\Delta\tau_i^{kl}$ . Це дозволяє залучити обладнання з інших ділянок для випуску додаткових обсягів продукції. Тобто з'являється можливість переходу від суто паралельної схеми організації обробки до частково-перехресної.

Наступний етап реалізується шляхом розв'язання задачі згідно з моделлю (5–8), але обмеження (6) на доступний час роботи розширюється через залучення обладнання інших ділянок шляхом додавання виявлених на попередньому етапі резервів  $\Delta\tau_i^{kl}$ .

Формування остаточного плану виробництва здійснюється з урахуванням об'ємів випуску кожного виду продукції, отриманих на попередніх етапах розв'язання задачі ефективного завантаження виробничої системи, та фактичних величин ринкового попиту на цю продукцію.

Задачу ефективного завантаження виробничої системи в умовах послідовної обробки доцільно розв'язувати за схемою (рис.2).

Визначення оптимального закріплення обладнання на всіх ділянках за об'ємами випуску кожного виду продукції за умови максимально допустимого завантаження обладнання пропонується здійснювати на основі наступної економіко-математичної моделі:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^m t_i^{kl} * y_i^{kl} \rightarrow \max \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m t_i^{kl} * y_i^{kl} \leq n * \sum_{i=1}^m \tau_i^{kl}, k=1, \dots, K; l=1, \dots, L \quad (13)$$

$$\min \{w_i^k / t_i^{kl}; n * \tau / P^i\} \leq \sum_{i=1}^m y_i^{kl} \leq n * \tau / P^i, k=1, \dots, K; l=1, \dots, L \quad (14)$$

$$y_i^{kl} \geq 0, i=1, \dots, m; k=1, \dots, K; l=1, \dots, L. \quad (15)$$

Модель (12–15) дозволяє розв'язати задачу ефективного завантаження виробничої системи підприємства за послідовною схемою та отримати оптимальні значення величин випуску продукції  $y_i^{kl}$  ( $i=1, \dots, m$ ), обробка якої здійснюється на відповідному обладнанні  $l$ -го типу ( $l=1, \dots, L$ )  $k$ -ї ділянки ( $k=1, \dots, K$ ), з урахуванням існуючих виробничих можливостей та ринкового попиту на продукцію.

Розрахунок резервів доступного робочого часу обладнання підприємства в умовах послідовної схеми обробки має за мету визначити можливості додаткового випуску кожного виду продукції на випадок зростання попиту на неї.



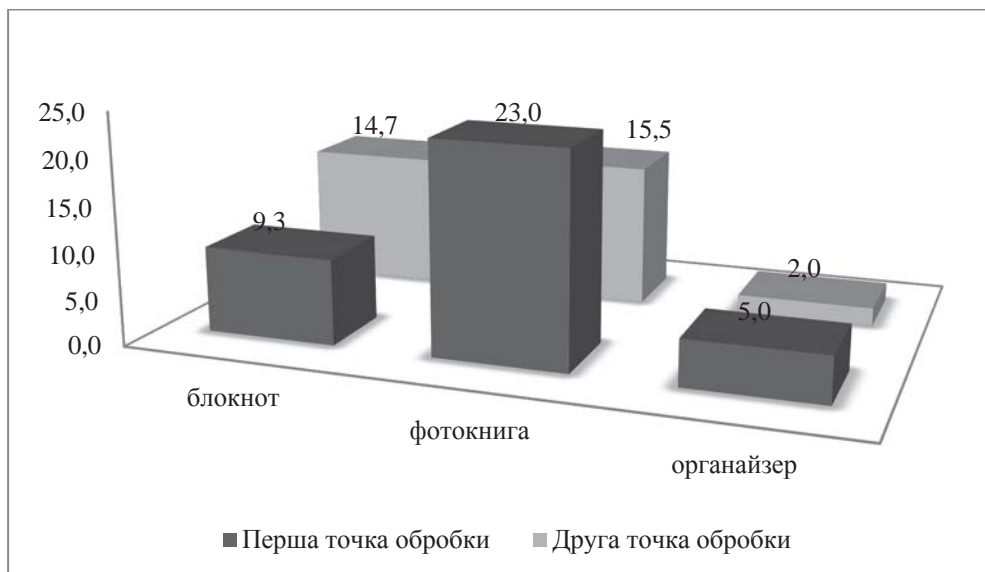
*Рис.2. Етапи розв'язання задачі ефективного завантаження виробничої системи за послідовною схемою*

*Джерело: розроблено автором*

Практичне застосування моделей ефективного завантаження виробничої системи здійснено на прикладі поліграфічного підприємства України, що займається діловою та рекламною поліграфією, широкоформатним друком, сувенірною продукцією та іншими типографічними видами послуг. Задля успішного існування підприємство вимушено враховувати сучасні вимоги ринку. Тому відмінними рисами його функціонування є випуск продукції дрібносерійними партіями, формування невеликих партій товару на замовлення, виробництво оригінальних окремих екземплярів продукції, зміна асортименту та номенклатури продукції відповідно до періодів року.

Все це вимагає не тільки чіткої організації виробництва, але й збалансованості виробничого процесу з метою досягнення максимальної продуктивності при постійному складі виробничих потужностей підприємства. Розрахунки згідно з моделями (5-8), (12-15) дозволили отримати для підприємства варіанти оптимального закріплення обладнання за необхідними об'ємами випуску продукції, що забезпечують максимальне допустиме завантаження цього обладнання. Розраховано резерви часу по видах продукції в рамках точок обробки (рис.3).





*Рис.3. Резерви часу по видах продукції в рамках точок обробки  
Джерело: розроблено автором*

Результати розрахунків показали, що рентабельність функціонування виробничої системи підприємства в разі впровадження запропонованого підходу може бути підвищена на 3-4%. Таке підвищення в першу чергу забезпечується за рахунок скорочення витрат, виникнення яких не пов'язано з додаванням цінності виробленої продукції.

**Висновки.** До переваг викладеного підходу щодо ефективного завантаження виробничої системи підприємства з одиничним або дрібносерійним типом виробництва, можна віднести наступні:

- враховано потенційно відмінні вимоги до використання обладнання виробничого підприємства в умовах паралельної або послідовної обробки продукції;
- запропоновано етапи розв'язання задачі ефективного завантаження виробничої системи в цих умовах;
- здійснена можливість переходу від суто паралельної схеми організації обробки до частково-перехресної за рахунок визначення та подальшого врахування невикористаного доступного часу роботи обладнання підприємства на різних ділянках з метою випуску додаткових обсягів продукції;
- запропоновано визначення та застосування прогнозних величин попиту для розрахунку часу такту для кожного виду виробу, що випускається підприємством;
- враховано вимоги ринку до виробничої системи підприємства

завдяки використанню величин прогнозного попиту на продукцію та побудови гнучкої системи завантаження обладнання.

Аналіз отриманих результатів показав, що запропонований підхід може бути використаний для будь-якого підприємства з одиничним або дрібносерійним типом виробництва, яке має за мету підвищення ступеню рівномірності та збалансованості роботи за рахунок ефективного завантаження виробничої системи.

Розробка та подальше застосування економіко-математичних моделей, що реалізують комбінований підхід до завантаження системи виробництва (одночасне поєднання паралельної та послідовної обробки), можуть стати предметом проведення подальших досліджень.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. Пер. с англ. – 7-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2013. 472 с.
2. Имаи М. Путь к снижению затрат и повышению качества. Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 346 с.
3. Лайкер Д. Дао Toyota. 14 принципов ведущей компании мира. М.: Альпина Паблишер, 2012. 372 с.
4. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. М.: Наука, 1984. 392 с.
5. Полховская Т.М., Адлер Ю.П., Назарова И.Г. и др. Отсутствие результативности системы менеджмента качества организации. В чем причины? Компетентность. 2006. №4. С.34–41.
6. Адлер Ю.П., Полховская Т.М., Шпер В.Л. Управление качеством. Часть 1: Семь простых методов. М.: МИСиС, 2001. 422 с.
7. Румянцев Н.В. Моделювання гнучких виробничо-логістичних систем. Донецьк: ДонНУ, 2004. 235с.
8. Туровцева О.Г., Родионова В.Н. Организация производства на предприятии: Учеб. пособие. М.: ИНФРА–М, 2005. 207 с.
9. Перхун Л.П., Яровенко Г.М. Прогнозування соціально-економічних процесів. Суми : ДВНЗ УАБС НБУ, 2012. 30 с.
10. Петренко О. Л., Левицький С.І. Моделювання вирівнювання завантаження потоку виробництва підприємства. Економічна кібернетика. 2007. № 3–4. С. 61–75.