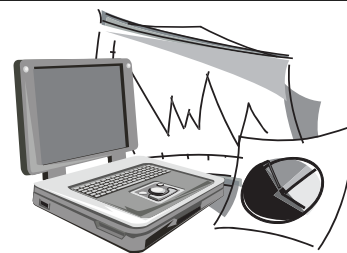


---

# ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



УДК 65.01:519.8:621

**Паршина О.А.**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ СТВОРЕННІ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОЇ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ**

У статті розглянуті питання дослідження функціонування виробничої системи при створенні конкурентоспроможної продукції машинобудівного підприємства. Запропонована методика виявлення прихованих виробничих резервів виробничо-економічної системи сприяє підвищенню ефективності використання виробничих ресурсів.

Questions of research the functioning of the production system during the creation of competitive products at machine-building enterprise are considered in the article. The offered method of the hidden production reserves exposure is instrumental in the efficiency increase of the production resources usage.

Процес виробництва продукції машинобудівного підприємства, як відомо [1], характеризуються комплексом техніко-економічних показників. Конкурентоспроможність таких виробів безпосередньо залежить від упровадження різноманітних комплексних технологій [2], що сприяють підвищенню якості продукції.

Виготовлення складних виробів машинобудівного підприємства, відповідно світовим показникам якості, пов'язане з поставкою на підприємство дефіцитних дорогих ресурсів. При впровадженні комплексних або інтегрованих інноваційних технологій іноді спостерігаються зайві витрати виробничих ресурсів, тому питання використання таких ресурсів мають надзвичайно важливе значення.

Щодо підвищення ефективності сучасного виробництва при впровадженні інтегрованих технологій щодо забезпечення конкурентоспроможності нових видів машинобудівної продукції, надзвичайно важливе значення має дослідження функціонування виробничо-економічної системи підприємства.

Постановка проблеми полягає у проведенні комплексного дослідження процесу функціонування виробничо-економічної системи підприємства та розробці механізму визначення й використання виробничих резервів виробництва, що буде сприяти ефективному використанню усіх ресурсів.

Розглянемо виробничу ситуацію, коли для забезпечення конкурентоспроможності деталей машинобудівного виробництва використовуються різні інтегровані технології (табл. 1).

Таблиця 1

**Варіанти інтегрованих технологій**

Шифр	Інтегровані технології
A1	Зі злитків Мартену + 2-га термообробка + механообробка
A2	Зі злитків Мартену + 2-га термообробка + термообработка (масловани) + механообробка
A3	Зі злитків ЕСПЦ + 2-га термообробка + механообробка
A4	Зі злитків ЕСПЦ + 2-га термообробка + термообработка (масловани) + механообробка
A5	Зі злитків Мартену + 2-га термообробка + 3-я термообробка + механообробка
A6	Зі злитків ЕСПЦ + 2-га термообробка + 3-я термообробка + механообробка

Для визначення оптимального плану виробництва продукції типу валів з врахуванням варіанту інтегрованої технології сформуємо початкові дані для розробки оптимізаційної економіко-математичної моделі та моделювання процесу функціонування виробничо-економічної системи (табл. 2).

Таблиця 2

**Початкові дані по витратам виробничих ресурсів, грошових одиниць  
(сформовані згідно інформації [1, с. 229, с. 232, с. 236])**

Ресурси	Варіанти інтегрованих технологій					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Метал	830.95	830.95	279.36	279.36	830.95	279.36
Газ	164.23	164.23	164.23	164.23	219.39	219.39
Електроенергія	0.07	28.95	0.07	28.95	0.07	0.07
Труд.ресурси	22.41	25.75	22.41	25.75	32.02	32.02

Використовуючи дані по витратам виробничих ресурсів було розроблено економіко-математичні моделі прямої (1 – 3) та двоїстої задачі (4 – 6).

Представимо узагальнену постановку економіко-математичної моделі виробництва виробів машинобудівного підприємства. Практично задача формалізується у наступному вигляді: необхідно знайти такий оптимальний план випуску продукції  $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , при якому прибуток виробництва продукції досягає максимального значення. Запишемо цільову функцію:

$$F(X) = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \rightarrow \max, \tag{1}$$

де  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) – кількість одиниць продукції, яку заплановано до випуску з використанням  $j$ -ї інтегрованої технології;

$c_j$  – прибуток від реалізації одиниці продукції, яку виготовлено з використанням  $j$ -ї інтегрованої технології.

Так як виробництво продукції здійснюється в умовах обмежених виробничих ресурсів, тому слід врахувати наявні ресурси на підприємстві та сформулювати систему обмежень:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i, \tag{2}$$

де  $b_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) – обмеження  $i$ -го виробничого ресурсу;

$a_{ij}$  – кількість одиниць  $i$ -го ресурсу, що витрачається на виготовлення одиниці продукції  $P_j$  (числа  $a_{ij}$  називаємо також технологічними або витратними коефіцієнтами відповідної інтегрованої технології).

Результати маркетингових досліджень ринкової ситуації дозволяють записати обмеження щодо максимального і мінімального обсягу виробництва продукції за відповідною інтегрованою технологією, так як кожна з них передбачає отримання відповідних показників якості й конкурентоспроможності:

$$x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max}; \dots; x_{n\min} \leq x_n \leq x_{n\max}, \tag{3}$$

де  $x_{\max}$  і  $x_{\min}$  – відповідно максимальні та мінімальні обсяги випуску продукції.

Таким чином, сформовано оптимізаційну задачу, вирішення якої здійснено з використанням оптимізаційних методів [2, 3], що дозволило виявити оптимальні варіанти інтегрованих технологій, визначити відповідні їм обсяги виробництва продукції та прибуток виробництва (табл. 3).

Таблиця 3

**Результати оптимізації**

Варіант інтегрованої технології	Обсяги виробництва, т	Прибуток, грошових одиниць
A1	90.69	23242.27
A2	0.64	

Надалі проведено аналіз використання виробничих ресурсів, для чого вважаємо доцільним використання об'єктивно обумовлених оцінок або так званих двоїстих оцінок [2, 3].

Отримання цих оцінок було здійснено у наслідку постановки та вирішення двоїстої задачі. Запишемо цільову функцію:

$$g(y) = \sum_{i=1}^m b_i \cdot y_i \rightarrow \min, \tag{4}$$

де  $y_i$  – об'єктивно обумовлена оцінка  $i$ -го виробничого ресурсу.

Система обмежень, та умови зміни об'єктивно обумовлених оцінок наступні:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot y_i \geq c_j, \tag{5}$$

$$y_i \geq 0. \tag{6}$$

Відомо [2], що значення об'єктивно обумовленої оцінки може бути позитивним  $y_i > 0$ , або її значення може дорівнювати нулю  $y_i = 0$ . Позитивне значення цієї оцінки дозволяє зробити висновок про дефіцитність відповідного ресурсу, що свідчить про те, що цей ресурс повністю використовується у виробничому процесі. Якщо ж значення об'єктивно обумовленої оцінки дорівнює нулю, тоді ресурс вважається недефіцитним, і такий ресурс не повністю використовується у виробництві. Представимо в табл. 4 результати аналізу використання виробничих ресурсів.

**Аналіз використання виробничих ресурсів**

Ресурси	Обсяги ресурсів на виробництві	Необхідні обсяги ресурсів для виконання оптимального плану	Залишки ресурсів	Об'єктивно обумовлені оцінки виробничих ресурсів
Метал	75895.09	100000.00	24104.91	0
Газ	15000.00	15000.00	0.00	1.549019521
Електроенергія	25.00	25.00	0.00	0.27891301
Труд.ресурси	2048.98	5500.00	3451.02	0

Аналіз використання виробничих ресурсів показав, що газ та електроенергію слід вважати дефіцитними ресурсами, так як ці ресурси мають позитивні значення об'єктивно обумовлених оцінок. При цьому залишки цих ресурсів, які отримані за результатами оптимізаційної задачі дорівнюють нулю, що також свідчить про повне використання цих ресурсів у виробництві.

Слід також відмітити, що має сенс також значення об'єктивно обумовлених оцінок цих ресурсів. Встановлено, що чим вища величина оцінки, тим вища ступінь дефіцитності і-го ресурсу. Отримані результати свідчать, що ступінь дефіцитності газу як ресурсу значно вищий, ніж електроенергії. Враховуючи аналогічні результати щодо інших ресурсів, слід відмітити, що трудові ресурси та метал є недефіцитними ресурсами.

Вважаємо, що дослідження дефіцитності мають економічний сенс у питаннях виявлення додаткових резервів виробництва. Зокрема, немає необхідності на плановий період здійснювати закупівлю недефіцитних ресурсів у первинному обсязі, і навпаки має сенс закупити більшу кількість дефіцитних ресурсів.

Але щодо визначення цих обсягів, вважаємо за необхідне визначити діапазони можливих змін виробничих ресурсів. Будемо називати ці діапазони – діапазонами маневрування. Для визначення діапазонів маневрування виробничих ресурсів пропонуємо виконання перетворень, які було описано у роботі для визначення діапазонів можливих змін ресурсів [3].

Визначимо діапазони маневрування виробничих ресурсів щодо нашої виробничої ситуації та представимо їх у табл. 5.

**Діапазони можливих змін виробничих ресурсів**

Ресурси	Діапазони зміни ресурсів $b_i^{\min} \leq b_i \leq b_i^{\max}$		
	$b_i^{\min}$	$b_i$	$b_i^{\max}$
Метал	75895.08616	100000	100000
Газ	141.822107	15000	19764.1254
Електроенергія	6.393472569	25	2644.157584
Труд.ресурси	2048.976438	5500	5500

Таким чином, по кожному ресурсу отримуємо діапазони маневрування:

$$b_i^{\min} \leq b_i \leq b_i^{\max}, \tag{7}$$

де  $b_i^{\min}$  – мінімальне значення обсягу  $i$ -го ресурсу, яке потрібне для виготовлення конкурентоспроможної продукції за оптимальним планом;

$b_i^{\max}$  – відповідно максимальне значення обсягу  $i$ -го ресурсу.

Використовуючи отримані діапазони, виконаємо оптимізацію за умови мінімальних меж недефіцитних ресурсів, зокрема металу та трудових ресурсів. Не дивлячись на те, що у наслідку оптимізації, оптимальний план не змінився, проте досягнуто повне використання усіх виробничих ресурсів (табл. 6).

Таблиця 6

### Аналіз використання виробничих ресурсів

Ресурси	Обсяги ресурсів на виробництві	Необхідні обсяги ресурсів для виконання оптимального плану	Залишки ресурсів
Метал	75895.08616	75895.08615	0.00
Газ	15000	15000	0.00
Електроенергія	25	25	0.00
Труд.ресурси	2048.98	2048.976438	0.00

Як відомо [3], величина об'єктивно обумовленої оцінки того або іншого ресурсу показує, наскільки може збільшитися максимальне значення цільової функції  $\Delta F(X)$ , якщо обсяг даного ресурсу збільшиться на величину  $\Delta b_i$ :

$$\Delta F(X) = y_i \cdot \Delta b_i. \quad (8)$$

Таким чином, використовуючи це – одне з основних положень теорії двоїстості та отримавши у наслідку виконаних досліджень значення об'єктивно обумовлених оцінок й діапазонів маневрування, визначимо найбільш впливовий виробничий ресурс. Зведемо результати обчислень можливого збільшення цільової функції при збільшенні обсягу відповідного ресурсу до табл. 7.

Отримані результати свідчать, що найбільш впливовим ресурсом є газ, так як при можливому збільшенні його обсягу у межах маневрування, отримано збільшення цільової функції на 31,75%. Електроенергію слід вважати менш впливовим ресурсом, так як при збільшенні її обсягу у межах маневрування досягається збільшення прибутку тільки на 3,14%. Таким чином, збільшення найбільш впливового ресурсу вважаємо прихованим резервом виробництва.

Таблиця 7

### Результати обчислень можливого збільшення цільової функції при збільшенні обсягу ресурсу

Ресурси	Об'єктивно обумовлені оцінки виробничих ресурсів	Обсяг збільшення ресурсу	Збільшення цільової функції
Газ	1.549019521	4764.125	7379.723
Електроенергія	0.27891301	2619.158	730.5171

Проте слід відзначити, що використання апарату теорії двоїстості дозволяє провести дослідження тільки з дефіцитними ресурсами, і тільки у межах маневрування. Для того, щоб визначити й використати усі приховані резерви виробництва та передбачити можливі зміни зовнішнього середовища, потрібен деякий додатковий апарат. Тим паче, що

виробнича ситуація може характеризуватися дефіцитом усіх ресурсів у наслідку можливої недопоставки цих ресурсів, або неефективним використанням ресурсів у виробництві.

Використовуючи результати оптимізації та значення діапазонів маневрування ресурсами, виконаємо на основі розробленої економіко-математичної моделі дослідження впливу поставок кожного з ресурсів, як основних чинників зовнішнього середовища і прибутку, як основної характеристики ефективності функціонування виробничо-економічної системи підприємства. Фактично виконаємо дослідження еластичності виробничо-економічної системи при реалізації плану виробництва конкурентоспроможної продукції.

Відомо [5], що під еластичністю плану у загальному випадку розуміється його здібність до певних «деформацій» без суттєвої втрати можливості реалізації кінцевої мети. Існують різні засоби характеристики еластичності планів [4, 5]. Один з них полягає в оцінці ступеня впливу забезпеченості яким-небудь (або усіма) ресурсами на випуск продукції [4].

Враховуючи, що для випуску конкурентоспроможної продукції потрібні ресурси, а прибуток є основною характеристикою ефективності функціонування виробничо-економічної системи підприємства, тому пропонуємо виявити залежність між відносним прибутком від реалізації одиниці продукції, яку виготовлено з використанням  $j$ -ї інтегрованої технології  $\Delta F_j/F_j$  та відносним неповним постачанням  $i$ -го ресурсу  $\Delta b_i/b_i$ . Будемо вважати таку залежність характеристикою еластичності плану по випуску конкурентоспроможної продукції за зв'язком  $F_j \leftrightarrow b_i$ .

Для отримання цих зв'язків проведемо численні комп'ютерні експерименти як у межах діапазонів маневрування ресурсами, так і більш широких діапазонів змін ресурсів, та отримаємо функції еластичності плану по випуску конкурентоспроможної продукції

$f\left[\frac{\Delta F_j}{F_j}, \frac{\Delta b_i}{b_i}\right]$ . За результатами розрахунків побудуємо функціональні залежності:

$$\frac{\Delta F_j}{F_j} = f\left[\frac{\Delta b_i}{b_i}\right]. \quad (9)$$

Для зіставлення отриманих взаємозв'язків щодо кожного ресурсу представимо їх у відносному виразі (рис. 1).

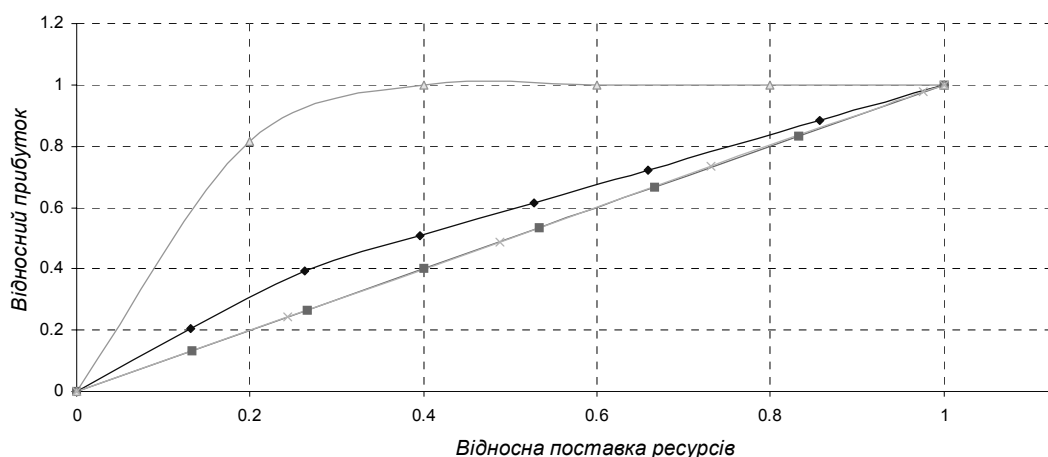


Рис. 1. Взаємозв'язок відносного прибутку і відносної поставки ресурсів

Для кількісної характеристики впливу ресурсів на прибуток виробництва отримаємо математичні моделі виявлених взаємозв'язків. Математичні моделі виявлених взаємозв'язків повинні відповідати всім вимогам точності, тому передбачено побудову декількох типів функціональних залежностей, зокрема: лінійної, параболічної, показової та ін. Параметри математичних моделей для кожної функціональної залежності було розраховано по методу якнайменших квадратів [4]. Надалі було здійснено комплексну перевірку адекватності кожної математичної моделі за декількома умовами: випадковості, нормальності, відповідності нулю математичного очікування та незалежності. Щодо оцінки точності отриманих математичних моделей розраховано сукупність показників: коефіцієнт збіжності, коефіцієнт детермінації, коефіцієнт кореляції та середня помилка апроксимації.

Таким чином, порівняння та вибір адекватної математичної моделі виявлених взаємозв'язків здійснено за комплексом показників точності. Величина порівняльної оцінки математичної моделі, коефіцієнт збіжності, стандартна помилка і середня помилка апроксимації повинні мати якнайменші значення, а коефіцієнти кореляції та детермінації – відповідно максимальні значення. Зведемо отримані математичні моделі виявлених взаємозв'язків відносного прибутку і відносної поставки ресурсів у табл. 8.

Таблиця 8

**Математичні моделі виявлених взаємозв'язків відносного прибутку  $\Delta F_j/F_j$  і відносної поставки ресурсів  $\Delta b_i/b_i$  ( $y = \Delta F_j/F_j$ ;  $x = \Delta b_i/b_i$ )**

Ресурс	Математична модель
Електроенергія	$y = -2,1487x^2 + 2,9425x + 0,1189$
Газ	$y = 0,9999x + 0,0002$
Трудові ресурси	$y = 1,0004x + 0,0001$
Метал	$y = 0,9569x + 0,0815$

За результатами отриманих результатів, тобто коефіцієнтів еластичності отриманих моделей, слід зробити висновок щодо ступеня впливу кожного ресурсу на прибуток виробництва. Найбільш вагомий вплив має електроенергія, потім трудові ресурси, та метал і газ відповідно. Цей висновок стосується значно більшого діапазону зміни ресурсів – від повної недопоставки до максимально можливого обсягу кожного ресурсу, який визначено діапазоном маневрування. Слід також відмітити, що це стосується конкретної виробничої ситуації, яку було досліджено.

Разом з дослідженнями взаємозв'язків відносного прибутку і поставок ресурсів, проведено дослідження взаємозв'язків відносного випуску конкурентоспроможної продукції за інтегрованою технологією А1 та відсною поставкою окремих ресурсів, які потрібні щодо її здійснення. На рис. 2 представлено результати дослідження такого взаємозв'язку.

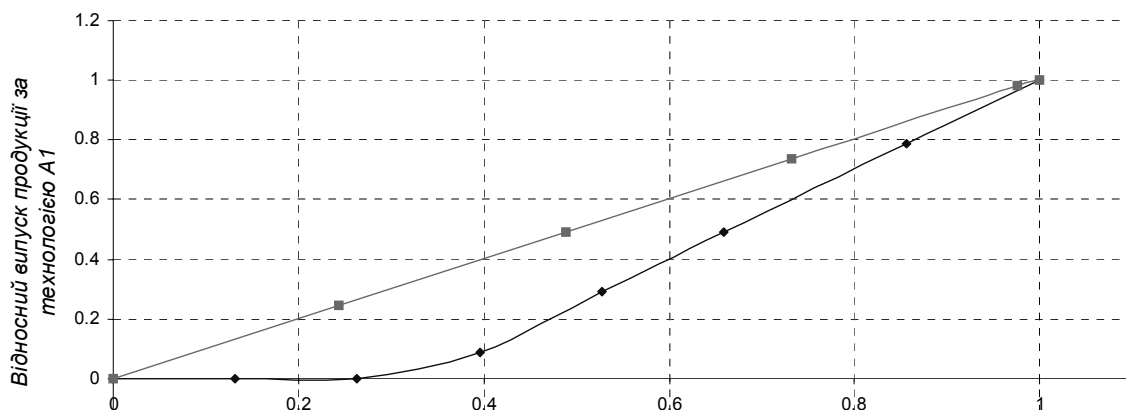


Рис. 2. Взаємозв'язок відносного випуску продукції за технологією А1 та відсною поставки трудових ресурсів і металу

Результати графічної інтерпретації наочно демонструють домінуючий вплив трудових ресурсів при реалізації множини виробничих й організаційних рішень.

Для отримання кількісної оцінки цих взаємозв'язків можна скористатися відповідними математичними моделями (табл. 9).

Таблиця 9

**Математичні моделі виявлених взаємозв'язків відносного випуску конкурентоспроможної продукції за інтегрованою технологією *A1* та відносної поставкою відповідних ресурсів**

Ресурс	Математична модель
Метал	$y = 1,0637x^2 + 0,0043x - 0,0273$
Трудові ресурси	$y = 1,0039x + 0,0011$

Таким чином, оцінку ступеня впливу забезпеченості яким-небудь ресурсом, а також усіма ресурсами на випуск продукції, пропонуємо виконувати на основі отриманих функцій еластичності.

Отримані математичні моделі виявлених взаємозв'язків дозволяють не тільки визначити найвпливовіші ресурси на функціонування виробничо-економічної системи, але й кількісно визначити невиконання плану по виробництву конкурентоспроможної продукції при можливому неповному постачанні кожного ресурсу. На рис. 3 представлено графічну інтерпретацію таких досліджень на підставі економіко-математичного моделювання.

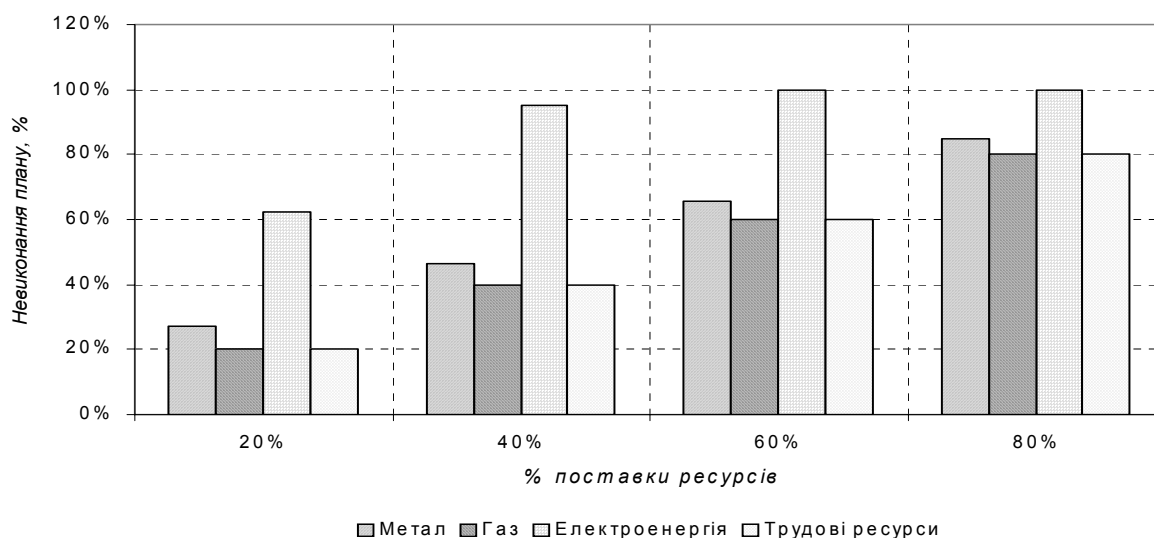


Рис. 3. Невиконання плану випуску конкурентоспроможної продукції унаслідок можливого неповного постачання ресурсів

За одержаними результатами можна встановити пріоритетність впливу кожного ресурсу на процес ефективного функціонування виробничо-економічної системи. Найвпливовішим ресурсом вважається електроенергія. Другий за пріоритетом – метал, і третій пріоритет практично розділяють між собою трудові ресурси та газ. Таким чином, на основі отриманих результатів можна оцінити можливі втрати виробництва при несприятливому стані зовнішнього середовища. Слід також відзначити, що у наслідку оцінки ефективності, технологія *A1* має найвищий та позитивний показник характеристики способу виробництва. Друга технологія *A2* менш ефективна, а решта технологій, які досліджуються для конкретних умов виробництва, отримали нульові оцінки. Використання характеристик засобів виробництва дозволяє таким чином виявити



найефективніші рішення для виробництва конкурентоспроможної продукції з урахуванням ефективності використання виробничих ресурсів.

За наслідками узагальнення численних експериментальних досліджень і результатів комп'ютерного моделювання запропоновано шляхи ефективного використання виявлених прихованих виробничих резервів виробничо-економічної системи (табл. 10).

Таблиця 10

## Виявлення прихованих виробничих резервів виробничо-економічної системи та напрямків їх ефективного використання

Тип ресурсу	Виробничий резерв	Результат використання виробничого резерву
недефіцитний	$R_i^{\text{змен}} = b_i - \Delta b_i^{\text{змен}}$	Зменшення витрат на ресурс в обсязі $R_i^{\text{змен}}$
дефіцитний	$R_i^{\text{збіл}} = b_i + \Delta b_i^{\text{збіл}}$	Отримання додаткового прибутку $F^{\text{max}} + \Delta F_i$ за рахунок збільшення дефіцитного ресурсу в обсязі $R_i^{\text{збіл}}$

Щодо виявлення прихованих виробничих резервів виробничо-економічної системи розроблено методика, яка складається з наступних основних етапів:

- 1-й етап – вивчення поведінки плану по виробництву конкурентоспроможної продукції як складної системи при можливих змінах виробничих умов;
- 2-й етап – визначення основних напрямків та областей існування нових шляхів розвитку виробничо-економічної системи;
- 3-й етап – виявлення виробничих резервів, розробка заходів щодо їх ефективного використання з метою підвищення ефективності функціонування виробничо-економічної системи при створенні конкурентоспроможної продукції.

Виявлені додаткові резерви підприємства пропонуємо розглядати як точки біфуркації, які здатні перевести систему на якісно новий рівень, що дозволяє таким чином виявити та використати синергетичний ефект виробничо-економічної системи.

Розроблений комплекс економіко-математичних моделей, технологія проведення економіко-математичного аналізу та комп'ютерного моделювання дозволяють на стадії запуску у виробництво оцінити ефективність пропонуваніх ресурсозберігаючих технологій та інноваційних рішень.

Запропонована методика виявлення прихованих виробничих резервів виробничо-економічної системи сприяє підвищенню ефективності використання виробничих ресурсів.

Пропоновані розробки планується покласти в основу створення системи управління конкурентоспроможністю продукції машинобудівного виробництва.

### Література:

1. Скударь Г.М. Управление конкурентоспособностью крупного акционерного общества: проблемы и решения. – К.: Наук. думка, 1999. – 496 с.
2. Проволоцкий А.Е., Паршина Е.А. Проблемы принятия решений при внедрении комплексных технологий изготовления изделий машиностроительного производства / В международном сб. научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк: ДонГТУ, 1999, Вып.8. – С. 173 – 176.
3. Горчаков А.А., Орлова И.В. Компьютерные экономико-математические модели: Учеб. пособие для вузов. – М.: Компьютер, ЮНИТИ, 1995. – 136 с.
4. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике: Учебник – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, Издательство ДИС, 1998. – 368 с.
5. Соколов В.Г., Смирнов В.А. Исследование гибкости и надежности экономических систем. – Новосибирск: Наука, 1990. – 253 с.

Рекомендовано до публікації  
д.е.н., проф. Галушко О.С. 25.09.08

Надійшла до редакції  
29.09.08