

11. Терещенко О.О. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання. Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2003. – 554 с.
 12. Філіна Г.І. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання. Навч. посібник. – К.: Центр навч. л-ри, 2007. – 320 с.
 13. Бюджетирование: шаг за шагом / Е. Добровольский и др. – СПб.: Питер, 2008. – 448 с.

УДК 658:519.8

С. В. КОБЕРГА, І. М. ГЕРАСИМЕНКО

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ ДонНТУ, Макіївський економіко-гуманітарний інститут

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВИРОБНИЦТВА

У статті на основі логістичного підходу розглянуто ієрархічну модель сучасних виробничих процесів як складну мережу взаємозалежних за технологічним потоком етапів виробництва. Структура виробничої системи описана у вигляді математично орієнтованого графа. Доведено необхідність врахування флуктуації при побудові лінійної регресії. Для апроксимації нелінійних складових моделі запропоновано скористатися структурами виробничих функцій, перетворених до виду адитивних доданок.

In the article on the basis of logistic approach the hierarchical model of modern productive processes as difficult network of the interdependent after technological stream stages of production is considered. The structure of the productive system is described as the mathematically oriented count. The necessity of account of fluctuation is well-proven at the construction of linear regression. For approximation of nonlinear constituents of model it is suggested to take advantage of structures of productive functions, regenerated to the kind of additions.

Постановка проблеми. Управління більшістю сучасних виробництв в умовах конкурентної боротьби здійснюються на основі принципу “зниження витрат шляхом виключення втрат”, спрямованого на усунення перевищення мінімуму необхідного устаткування, запасів матеріалів і комплектуючих виробів, а також числа робітників. У цьому зв'язку необхідно дотримуватися логістичних підходів, які розглядають всі стадії виробничо-комерційної діяльності як єдиний безперервний процес трансформації й руху матеріальних потоків.

Аналіз невирішених питань, що є частиною загальної проблеми. Моделюванню й оптимізації технологічних зв'язків у сучасному виробництві присвячено деякі роботи вітчизняних та закордонних вчених, таких як А.Г. Некрасов [1], П.А. Аркин [2], А.К. Погодаев [3], Л.А. Кузнецов [4], Л.Б. Миротин [5], В.Н. Панькова [6], Б.К. Плоткин [7], В.И. Шинкаренко [8].

Критичний аналіз різних точок зору з приводу моделювання й оптимізації технологічних зв'язків виробництва приводить нас до думки про те, що дотепер деякі питання залишаються відкритими. Найбільш часто виникають проблеми, пов'язані з вибором критеріїв структурних складових і урахуванням флуктуацій або погрішностей моделей.

Мета статті. З цих позицій метою статті є висвітлення та пошук шляхів розв'язання проблем, що ускладнюють процес формування адитивних моделей складних процесів виробничих систем.

Основний матеріал. Логістичний підхід до сучасних виробничих процесів дозволяє описувати їх як ієрархічно складні системи, у яких кожен об'єкт являє собою систему, що, у свою чергу, складається з об'єктів більш низького рівня ієрархічного подання, має власну структуру й до того ж є частиною якоїсь більш загальної виробничої системи [2].

Ієрархічна модель складного виробництва не накладає обмежень на ступінь деталізації представлених у ній об'єктів. Скоріше, ступінь деталізації залежить від можливості виділення у всьому процесі елементарних об'єктів виробництва. Як правило, окремим об'єктам відповідають окремі агрегати, верстати або робочі місця, на основі яких визначаються самостійні технологічні операції. Такий розподіл називають поділом по виробничих операціях.

У технологічних виробничих системах звичайно виділяють наступні класи об'єктів [3]: клас агрегатів, у яких відповідно до технології має місце цілеспрямована зміна стану продукції, внутрішньої будови, форми й т.п.; клас складів, які призначені для зберігання й переробки вантажів, вирівнювання матеріалопотоків за часом, обсягом й асортиментам, підготовки до транспортування; клас контролерів, у яких досліджується стан продукції, наприклад, випробування, контроль, тестова перевірка й т.п., що впливають на траєкторію проходження заготівель, напівфабрикатів і готової продукції.

У загальному випадку кожному технологічному агрегату і складу передують транспортно-логістична операція, керована з урахуванням інформації, що надходить з постів контролю. Оцінка стану може впливати, наприклад, на організацію черги проходження продукції на обробку, на настроювання технологічних параметрів агрегату, що впливає за складом продукції й т.п. Таким чином, процеси складування (очікування), контролю стану продукції й транспортно-логістичну операцію по її доставці можна об'єднати в рамках єдиного об'єкта “склад”.

Агрегати беруть участь в обробці продукції, що надходить із об'єктів “склад”, залежно від її проміжного стану. При цьому агрегати можуть виконувати різні технологічні операції, кожної з яких відповідає об'єкт “агрегат”.

Модель взаємодії виділених об'єктів “склад” і “агрегат” може бути представлена у вигляді структури нового об'єкта (етапу виробничого процесу) [3, 4]. Виробничий процес являє собою сукупність взаємозалежних

етапів. Для його опису потрібно відшукати єдине подання не тільки одного етапу, але й повної моделі виробництва, причому створити можливість деталізації об'єктів і їхньої згортки відповідно до ієрархічної структури системи. Для побудови структурної моделі всього процесу може бути використана об'єктна модель виробництва (рис. 1).

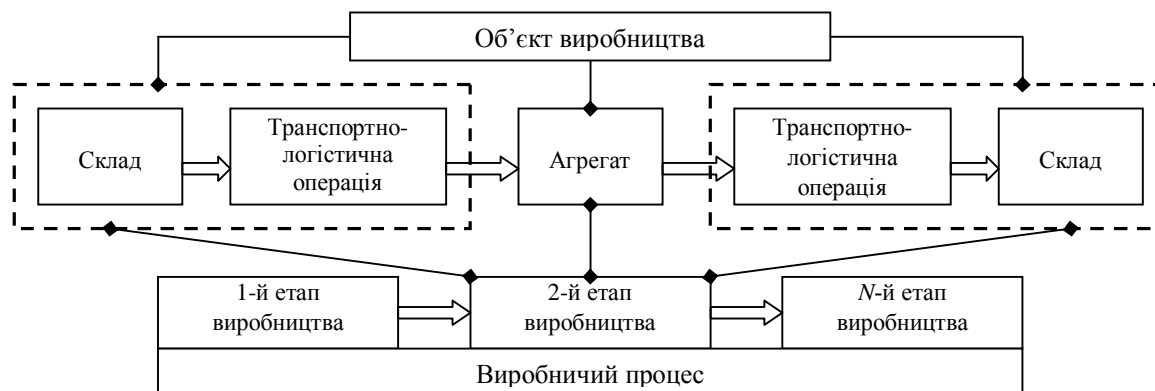


Рис. 1 – Об'єктна модель виробничого процесу

З рис. 1 видно, що об'єкти “склад” і “агрегат” завжди є частиною об'єктів більш високих рівнів. У найпростішому випадку вони об'єднані “етапом виробництва”. Звідси, схема будь-якого рівня ієрархічної моделі виробництва являє собою мережу. При цьому можливо об'єднання в єдині мережі об'єктів з різних рівнів ієрархічної моделі виробництва. Структурна модель виробничого процесу являє собою складну мережу взаємозалежних за технологічним потоком етапів виробництва. Типи структурних взаємодій між етапами можуть бути послідовні, паралельні або зі зворотним зв'язком.

Послідовне з'єднання етапів. Два об'єкти E_1 й E_2 з'єднані послідовно, якщо вихід першого об'єкта безпосередньо впливає на вхід другого (рис. 2, а). Послідовне з'єднання з k об'єктів – найпоширеніша форма структурної організації технологічних виробничих систем.

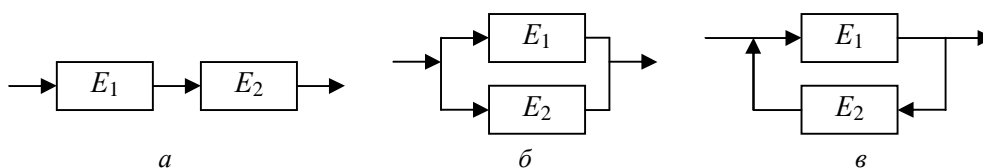


Рис. 2 – Взаємодія етапів: а – послідовне; б – паралельне; в – зі зворотним зв'язком

Паралельне з'єднання етапів. Два об'єкти E_1 й E_2 з'єднані паралельно, якщо поєднуються відповідно входи й виходи цих об'єктів (рис. 2, б). Паралельне з'єднання об'єктів у технологічних виробничих системах застосовується для збільшення інтенсивності обробки матеріального потоку на різних етапах виробництва.

Структура зі зворотним зв'язком. Два об'єкти E_1 й E_2 утворюють структуру зі зворотним зв'язком, якщо вихід E_1 подається на вхід E_2 і навпаки, вихід E_2 з'єднується із входом E_1 (рис. 2, в).

Комплексні структури. Реальні виробничі системи в загальному випадку мають комплексну структуру, тобто таку структуру, у якій поєднуються всі три типи розглянутих вище з'єднань об'єктів.

Беручи до уваги всі можливі структурні взаємодії етапів виробництва і структуру самого етапу (див. рис. 1), одержуємо можливість структурного опису виробничої системи. Потік продукції рухається за етапами обробки за схемою “ $S[i] \rightarrow A[i] \rightarrow S[i+1]$ ” (“склад \rightarrow агрегат \rightarrow склад”), де i – номер виробничого етапу. Стани продукції можуть містити “фіктивні склади”, що використовуються для формалізації структурної моделі, якщо для якого-небудь реального етапу виробництва відсутні об'єкти складування або контролю за станом продукції (найчастіше таке можливо для виробничих процесів з безперервним характером технології). Така структура може бути описана у вигляді орієнтованого графа з вершинами, що позначають склади, і ребрами, навантаженими агрегатами.

Математично орієнтований граф легко описується за допомогою матриці інцидентностей. Структура виробничої системи у вигляді графа використовується для наочного зображення й оцінки обсягів необхідної інформації для її подання в ЕОМ. Для зберігання інформації про структуру виробничого процесу досить масиву інформації розміром $\{m_S, n_A\}$, де m_S – кількість складів (станів), n_A – кількість агрегатів, а елементами масиву будуть числові значення з безлічі $\{0, +1, -1\}$, що характеризують характер зв'язку об'єктів системи. Елемент матриці $\{m_i, n_j\}$, що дорівнює $+1$ позначає, що i -й склад формує потік продукції для j -го агрегату. Якщо з j -го агрегату після обробки передається продукція для складування (аналізу стану) на i -й склад, то відбувається передача об'єктів обробки на наступний етап процесу. У всіх інших випадках, коли склади і агрегати не зв'язані технологічним потоком, елементи матриці інцидентностей дорівнюють нулю.

Для дотримання коректності подання виробничого процесу у вигляді послідовності “склад” → “агрегат” → “склад” всі зворотні зв’язки повинні бути позначені об’єктом типу “агрегат”. Якщо в реальному технологічному процесі, при поверненні продукції на попередній етап обробки, не відбувається ніяких технологічних дій, то в системі для формалізації вводиться фіктивний агрегат.

При моделюванні технологічних зв’язків складних виробництв, як правило, викликає утруднення відсутність інформації про точний закон спільного розподілу великої кількості випадкових величин і говорити навіть про напівемпіричні моделі в даній ситуації не доводиться. На практиці звичайно апроксимують набір експериментальних даних лінійної по параметрах моделлю $y = f^T(x)\beta$ (відгук). Флуктуація або погрішність моделей, що виникає при її побудові, звичайно вводиться у вигляді добавки ψ :

$$y = f^T(x)\beta + \psi, \quad (1)$$

Широке застосування такі моделі одержали завдяки своїй простоті й надійному, теоретично обґрунтованому математичному забезпеченню для їхньої побудови, наявному в розпорядженні дослідників [3, 4].

Слід зазначити, що в контексті з положеннями математичної статистики питання впливу флуктуації ψ на адекватність лінійних регресійних залежностей реальним даним і її урахування до цього часу залишаються відкритими. При практичній реалізації методів побудови лінійної регресії погрішністю ψ , як правило, зневажають, вважаючи, що її математичне очікування дорівнює нулю й значення ψ й y незалежні. Ідеї таких методів, до яких відноситься й покрокова регресія, засновані на послідовному включенні в модель факторів, що мають найбільш тісний кореляційний зв’язок з відгуком доти, поки статистичні оцінки адекватності моделі, одержувані після кожного кроку виконання цієї процедури, не почнуть погіршуватися. При цьому вважають, що не включені в модель фактори не впливають (або негативно впливають) на її адекватність.

Однак лінійна за параметрами залежність, побудована традиційними способами, не завжди задовольняє вимогам точності прогнозу. Припускається, що не включені в цю залежність фактори мають з відгуком нелінійний зв’язок, оцінити який методами кореляційно-регресійного аналізу важко, і має сенс допускати, що такі зв’язки погіршують лінійну модель за рахунок своєї неявної присутності у параметрі ψ . Більш того, фактори, що ввійшли в лінійну модель, можуть мати і невраховані складові, що допускають тільки нелінійний за параметрами облік [5–7].

Розглядаючи завдання із цих позицій, флуктуацію ψ можна представити у вигляді двох складових:

$$\psi = \bar{f}(x, \bar{\beta}) + \tilde{\epsilon}, \quad (2)$$

де $\bar{f}(x, \bar{\beta})$ – адитивна добавка до вихідної моделі, що відбиває нелінійні по нових параметрах $\bar{\beta}$ зв’язки;

$\tilde{\epsilon}$ – погрішність, викликана неточністю вимірів технологічних величин, помилками округлення обчислювальних розрахунків, наявністю інших неврахованих факторів і т.д., який можна зневажити. Таким чином, коректно підібравши функцію $\bar{f}(x, \bar{\beta})$, можна істотно розширити можливості по поліпшенню регресійної залежності. При виявленні нелінійних зв’язків труднощі полягають у багатофакторності й невизначеності структури функції, що апроксимує набір реальних даних.

Для апроксимації нелінійних складових моделі можна скористатися структурами виробничих функцій, що зустрічаються в багатьох практичних завданнях технічного та економічного характеру [6], перетворених до виду адитивних добавок:

$$\bar{f}(x, \bar{\beta}) = y_0 \exp\left\{\sum_{i=1}^k \beta_i x_i\right\}, \quad (3)$$

$$\bar{f}(x, \bar{\beta}) = y_0 \prod_{i=1}^k x_i^{\beta_i}, \quad (4)$$

$$\bar{f}(x, \bar{\beta}) = y_0 \left(\sum_{i=1}^k \beta_i x_i^{\beta_{k+1}}\right)^{\beta_{k+2}}, \quad (5)$$

$$\bar{f}(x, \bar{\beta}) = y_0 \left(\sum_{i=1}^k \left(\frac{x_i}{\beta_i}\right)^{\beta_0}\right)^{\frac{1}{\beta_0}}, \quad (6)$$

де $\bar{\beta} = (y, \beta)$ – вектор параметрів. Таким чином, остаточно модель із уведеними в неї адитивними добавками буде мати структуру:

$$y = \sum_{d=1}^D \left[f_d^T(x) \beta_d + \overline{f}_d(x, \overline{\beta}) \right], \quad (7)$$

де D – число етапів технологічної траєкторії обробки продукту.

Для коректного опису обчислювальних процедур побудови такої моделі будемо дотримуватися наступних понять, що стосується її структури: складової моделі – структурні одиниці одного типу, сукупність яких утворить частина моделі (наприклад, лінійна або нелінійна по параметрах частина); факторні включення – набори факторів, що є присутнім у складовій моделі.

При ідентифікації (7) виникають завдання, пов'язані з вибором критеріїв структурних складових моделі й факторів, у неї вхідних. Для рішення цих завдань можна використати алгоритм, обчислювальні процедури якого описуються наступною послідовністю. При розрахунку оцінок параметрів структурних складових і набору факторних включень моделі можна використати рекурентні методи покрокової або блокової ідентифікації. При цьому, якщо в які-небудь структурні складові вводиться лише один параметр доцільно скористатися для формування цих складових формулами Гревеля, якщо число параметрів, що вводяться, більше 1 – формулами Клайна. Результатом обчислень алгоритму є модель із оцінками параметрів $(\beta, \overline{\beta})$, для лінійно незалежних базисних функцій $f^{(i)}(x)$ й нелінійних складових $\overline{f}(x, \overline{\beta})$.

На кожному кроці алгоритму формуються d -складові і факторні включення цих складових. При цьому розрахунок параметрів на кожному кроці формування чергової d -складової зводиться до рішення завдання найменших квадратів, що у загальному виді можна сформулювати наступним чином:

$$\varepsilon = \min_{\beta \in \Omega^0} \left\| \sum_{d=1}^D \left[f_d^T(x) \beta_d + \overline{f}_d(x, \overline{\beta}) \right] - y \right\|^2, \quad (8)$$

Оскільки критерії адекватності лінійних моделей не придатні для оцінки точності залежностей нелінійної структури, то для останніх основної й, власне кажучи, єдиною характеристикою їхньої точності є оцінка функції не в'язання ε , що обчислюється за формулою (8).

Умовою присутності факторів в d -складовій є виконання відомих критеріїв кореляційно-регресійного аналізу (наприклад, збільшення коефіцієнтів кореляції, виключення лінійно-залежних факторів і т.д.), а максимальне число адитивних добавок визначається граничним убунанням ε [3].

Висновки. Результатом структурного моделювання є декомпозиція виробничого процесу до необхідного рівня ієрархічного подання, виділення необхідної схеми для аналізу, формування орієнтованого графа, описуваного матрицею інцидентностей складів й агрегатів, що включає в себе набори реальних і фіктивних об'єктів виробництва. Важливість вибору апарата моделювання обумовлюється необхідністю одержання адекватних формул прогнозу зміни властивостей продукції від зміни умов її виробництва. Тому удосконалення математичного апарата виробничої системи потребує подальшого доопрацювання.

Література

1. Некрасов А.Г. Новые подходы к управлению ресурсами в логистических цепочках поставок // Материалы V Моск. междунар. логистического форума "Бизнес и логистика – 2003". – М., 2003. – С. 17–22.
2. Аркин П.А. Методология логистических подходов структуризации хозяйственных субъектов / Дис... д-ра экон. наук. – СПб., 1998. – 347 с.
3. Погодаев А.К., Блюмин С.Л. Адаптация и оптимизация в системах автоматизации и управления: Монография. – Липецк: ЛЭГИ, 2003. – 128 с.
4. Кузнецов Л.А., Объектно-ориентированный подход к моделированию сложных производств / Издательство вузов. Черная металлургия / А.К. Погодаев, В.Г. Гостеев, 2001. – № 7. – С. 55–58.
5. Миротин Л.Б., Некрасов А.Г. Управление логистическими цепочками поставок ресурсов на базе международных стандартов СПЕС-2000 / Материалы V Моск. междунар. логистического форума "Бизнес и логистика–2003". – М., 2003. – С. 38–44.
6. Панькова В.Н. Математическая модель производственной функции промышленного предприятия как эколого-экономической системы: Препринт В.Н. Панькова. – Новосибирск: НГУЭУ, 2004.
7. Плоткин Б.К. Эконометрические основы логистики и маркетинга. Учебное пособие. – СПб, 1992. – 64 с.
8. Шинкаренко В.И. Структурная адаптация алгоритмов на основе полиморфизма / В.И. Шинкаренко // Математичні машини і системи, 2009. – № 2. – С. 28–44.