

*ЖУРАКОВСЬКИЙ Я.Ю.,
ЖУРАКОВСЬКА О.С.*

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ У СИСТЕМАХ MRP II, ERP, APS

В статті розглянуто принципи побудови систем MRP II, ERP, APS та проаналізовано математичні моделі та методи, що знаходять застосування в таких системах. Зокрема, сформульовано ряд задач теорії розкладів, що виникають на різних рівнях планування вказаних систем.

Principles of construction of the MRP II, ERP, APS systems are considered in the article. Mathematical models and methods which are used in such systems are analyzed. The row of tasks of Scheduling theory which presents at different levels of planning is formulated.

1. Принципи побудови систем MRP II, ERP, APS

В останні десятиліття у зв'язку із зростанням складності промислового виробництва, підвищенням вимог до якості продукції виникла потреба в удосконаленні методології та технології управління, а також у застосуванні обчислювальної техніки до підтримки розв'язання цих задач. Сучасні системи управління спираються на методологію планування, що охоплює коло задач управління промисловим підприємством на оперативному рівні, в основі якої лежить стандарт MRP II (Manufacturing Resource Planning). MRP II базується на таких принципах [3]:

- ієрархічність, тобто розділення планування на рівні, що відповідають різним ступеням управлінської відповідальності. Плани підприємства розробляються зверху вниз, при цьому передбачено забезпечення зворотного зв'язку;
- інтегрованість, тобто об'єднання на оперативному рівні основних функціональних сфер діяльності підприємства, пов'язаних із матеріальними та фінансовими потоками на підприємстві;
- інтерактивність, тобто можливість дослідження впливу ймовірних ситуацій на результати діяльності підприємства та його підрозділів на різних рівнях ієрархії планових рішень.

До основних обов'язкових модулів системи MRP II належать, зокрема:

Головний календарний план виробництва (Master Production Schedule, MPS), що описує план, виходячи із номенклатурних позицій незалежного попиту (що, коли та скільки виробляти). Решта планів базується на MPS, який, в свою чергу, розробляється на основі плану виробництва (плану продаж та операцій), а також детальних планів продаж для кожної номенклатурної позиції, включеної до MPS. Детальний план продаж визначає

пріоритети MPS, тобто порядок та терміни виробництва продукції в межах планового періоду. Розробка MPS є поєднуючою ланкою між різними функціями підприємства: маркетингом та збутом, виробництвом, а також конструкторсько-технологічною підготовкою виробництва;

Оперативне управління виробництвом (Shop Floor Control або Production Activity Control), або планування та диспетчеризація роботи цеху. Цей модуль дозволяє побудувати календарний план роботи цеху (поопераційно) та відстежувати його фактичне виконання. Графіки виконання виробничих замовлень (завдань) у розрізі технологічних операцій є найбільш деталізованим планом. Рівень деталізації цього графіка (по годинам, по хвилинам) залежить як від вимог виробництва у деталізації, так і від можливостей інформаційної системи.

Основними функціями запуску замовлень та диспетчеризації є такі [3]:

- управління пріоритетами замовлень;
- управління чергами замовлень до робочих центрів;
- планування та контроль вхідних/вихідних потоків на робочих центрах;
- формування та направлення послідовності замовлень;
- призначення робочим центрам виконання замовлень.

Управління пріоритетами замовлень є функцією призначення та модифікації пріоритетів виробничих замовлень відповідно до політики, що встановлена на підприємстві. Можливими критеріями для оцінки успішності системи управління пріоритетами можуть бути, наприклад, такі [3]:

- доля виконаних у відповідності із графіком замовлень;
- середнє запізнення замовлення (в днях);
- обсяг незавершеного виробництва;
- час простоювання робочих центрів;
- мінімізація підготовчого часу.

Управління чергами замовлень до робочих центрів є актуальним питанням, оскільки довжина черги безпосередньо впливає на обсяг незавершеного виробництва та тривалість виробничого циклу. Отже, ця задача зводиться до досягнення найбільш повного використання критичних робочих центрів.

Наступним кроком у розвитку систем планування та управління є створення ERP-систем (Enterprise resource planning). За визначенням [1], ERP є фінансово-орієнтованою інформаційною системою для визначення та планування ресурсів усього підприємства, необхідних для того, щоб прийняти, виконати, відвантажити та відобразити в обліку замовлення клієнтів.

Зокрема, ERP системи мають такі характеристики [4]:

- готове програмне забезпечення, розроблене для середовища клієнт-сервер (традиційного та побудованого на інтернет технологіях);
- інтеграція більшості бізнес-процесів;

- охоплення більшої частини ділових операцій організації;
- використання бази даних усього підприємства;
- забезпечення доступу до даних в режимі реального часу;
- в деяких випадках можливість інтеграції обробки ділових операцій та планування (наприклад, виробниче планування).

Узагальнено структуру управління в системах ERP подано на рис. 1.

Таким чином, фактично ERP система є розширенням системи MRP II, оскільки її мета – інтеграція управління усіма ресурсами підприємства, а не тільки матеріальними, як це було в MRP II.

Слід відзначити особливість ERP систем, яка полягає фактично у збереженні підходів до планування виробництва, прийнятих у MRP II. Основна причина цього полягає у тому, що на початковому етапі переходу від MRP II до ERP потужність обчислювальних систем була недостатньою для забезпечення широкого застосування методів моделювання та оптимізації.

Необхідно також відзначити, що ERP системи не позбавлені недоліків. Наприклад, підвищення стійкості оперативних планів не завжди можна досягти збільшенням тривалості виробничого циклу, оскільки це, в свою чергу, викликає зростання обсягу незавершеного виробництва, зростання запасів та черг. Із зростанням черг збільшується неточність графіків, що не дозволяє підвищити точність поставок продукції замовникам. Крім вказаного недоліку слід також відзначити, що модель планування сучасних ERP систем можна також представити як набір окремих процесів, що мають все більш деталізовані обчислення, але які не завжди базуються на достатньо точних даних, що надходять від процесів верхніх рівнів ієрархії.

Можна відзначити, що сучасним напрямком розвитку ERP систем є APS системи (Advanced Planning and Scheduling System). При впровадженні нових принципів організації та управління виробництвом виявляються недоліки існуючих систем управління, що формує потребу в нових, складніших системах для планування та прийняття рішень в ході управління виробництвом.

Потенціальний ефект від впровадження APS систем, що базуються на нових методах управління, може полягати в наступному:

- суттєво вища точність планування;
- скорочення запасів;
- значне покращення діяльності в сфері поставок продукції;
- краще використання основних фондів;
- підвищення завантаження ресурсів;
- гнучкіше реагування на вимоги, викликані конкуренцією.

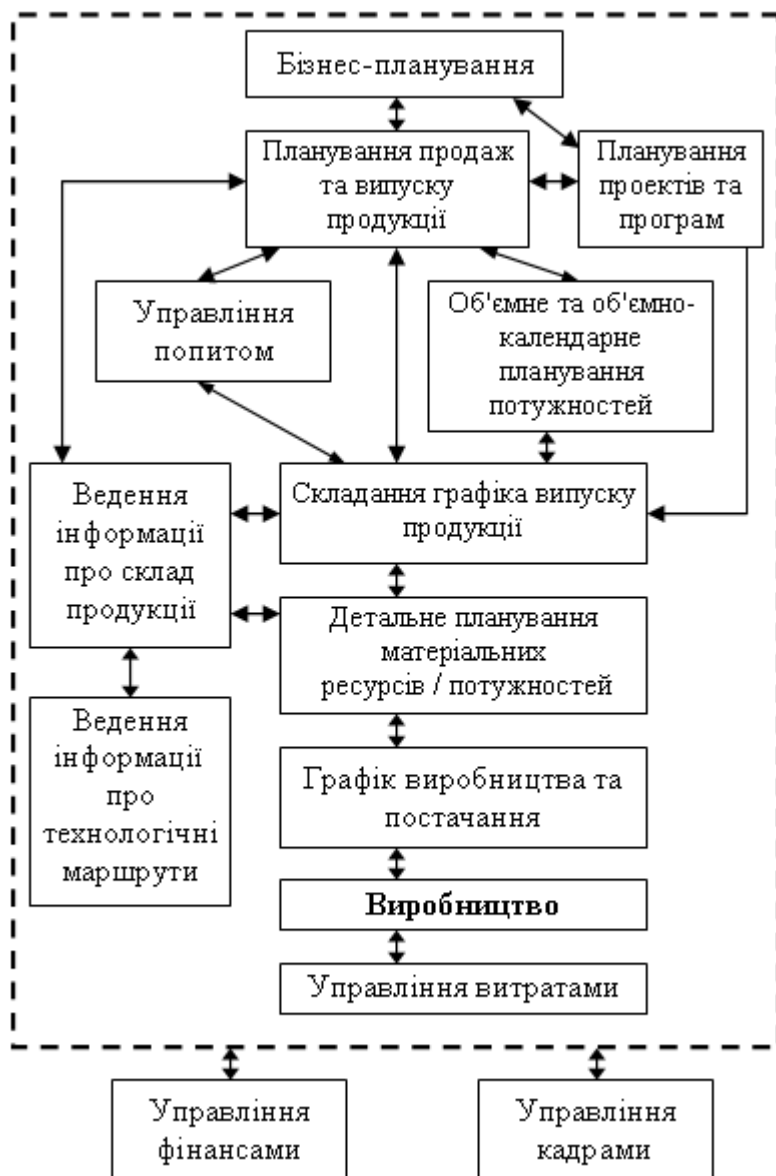


Рис. 1. Структура управління в системах ERP

Як правило, APS системи направлені на створення кращих планів з урахуванням усіх факторів, що обмежують можливості підприємства зі своєчасної поставки продукції. При цьому одночасно розглядаються ма-

теріальні потреби та виробничі потужності для оцінки існуючого плану та генерації нового. Деякі APS системи, крім цього, покращують цей план шляхом створення деталізованого виробничого графіку, що оптимізує черговість виконання робіт за критерієм пропускну здатності та обмеження на терміни виконання замовлень.

APS системи звичайно є композицією різних процесів, які використовують ті ж самі підходи до планування, але із різними обмеженнями та вхідними даними [5]. Структуру моделі APS зображено на рис. 2.



Рис. 2. Структура моделі APS

Найвищим рівнем планування в рамках розглянутої моделі є планування виробничого ланцюжка. Плани, що розробляються на цьому рівні, враховують обмеження на виробничі потужності по всьому виробничому ланцюжку.

Рівень планування діяльності підприємства об'єднує та оптимізує виконання функцій, що традиційно виконуються модулями: планування потреби в ресурсах; об'ємно-календарне планування потужностей; MPS; планування потреб розподільчої мережі; планування матеріальних потреб.

Модуль виробничого планування на підставі побудованого плану роботи підприємства розв'язує задачу календарного планування на більш деталізованому рівні з метою виконання термінів завершення замовлень.

Модуль оцінки можливості виконання забезпечує функціонування трьох попередніх рівнів. На цьому рівні використовується інформація із уже побудованого виробничого плану, а також дані про ресурси, необхідні для виробництва наявних, але не включених в план замовлень. Цей рівень підвищує точність визначення термінів виконання замовлень.

Необхідно відзначити, що оптимізація розв'язків є обов'язковою концепцією, закладеною в системи APS.

2. Математичні моделі та методи, що знаходять застосування в системах MRP II, ERP, APS

Оптимальне планування (в першу чергу в системах APS) може бути здійснено за допомогою економіко-математичних методів, під якими розуміємо комплекс математичних методів, що дозволяють знаходити оптимальні або наближені до оптимальних розв'язки економічних задач.

Вкажемо деякі з методів, що можуть застосовуватись для оптимального планування.

Лінійне програмування. В термінах лінійного програмування може бути сформульовано широке коло задач планування виробництва, фінансової діяльності, техніко-економічного планування, планування НДДКР.

Дискретне програмування. До таких задач можна віднести, наприклад, задачі розміщення обладнання, формування портфелю замовлень тощо.

У випадку, коли параметри моделі є випадковими величинами із відомими функціями розподілу, використовуються моделі *стохастичного програмування*.

Мережеві моделі та методи застосовуються, коли процес управління може бути представлений у вигляді графа, що описує взаємозв'язок робіт, ресурсів, часових витрат тощо.

Динамічне програмування. Моделі динамічного програмування можуть застосовуватись при розробці правил управління запасами, в процесі календарного планування виробництва або поточного та капітального ремонту складного обладнання та його заміни тощо.

Методи *багатокритеріальної оптимізації* дозволяють одержати розв'язок задачі за комплексом критеріїв, що відображають різні аспекти діяльності підприємства.

Методи *математичної статистики* застосовуються для розв'язання задач аналізу та прогнозування процесів на підприємстві.

Теорія управління запасами дозволяє визначати рівні запасів матеріалів, напівфабрикатів, виробничих потужностей та інших ресурсів в залежності від попиту на них.

Теорія розкладів є методологічною основою для розв'язання задач про впорядкування послідовності робіт. При цьому враховуються структура та параметри технологічного процесу. Оскільки більшість задач календарного планування, розв'язання яких необхідне для оптимального планування виробництва на різних рівнях планування в системах MRP II, ERP, APS, належать до задач теорії розкладів (ТР), то наведемо математичні постановки деяких із них.

3. Математичні постановки задач теорії розкладів

Для запису математичних постановок задач ТР будемо використовувати трьохпозиційну нотацію [2].

Для забезпечення сформульованих у розділі 1 вимог до планів, що формуються на різних рівнях планування системами MRP II, ERP, APS, доцільним є розгляд і розв'язання таких задач:

- однопроцесорні розклади:

$1 | prec; r_i | C_{\max}$ (максимальний час виконання);

$1 | r_i | L_{\max}$ (максимальне відхилення від директивних строків);

- 1 || $\sum T_i$ (сумарне запізнення відносно директивних строків);
- 1 | r_i | $\sum C_i$ (сумарний час виконання);
- 1 | $p_i = p$; r_i | $\sum \omega_i C_i$ (сумарний зважений час виконання);
- 1 || $\sum \omega_i T_i$ (сумарне зважене запізнення)
- 1 || $\sum \omega_i U_i$ (сумарна (зважена) кількість завдань, завершених із запізненням);
- 1 || $\sum \omega_i D_i$ (зважене випередження та запізнення відносно директивних строків);

- розклади для паралельних процесорів (без переривань):

$$Q | p_i = p ; r_i | C_{\max}, P | p_i = p ; \text{intree} | L_{\max}, Pm | p_i = p ; \text{tree} | \sum C_i,$$

$$Pm | p_i = p ; r_i | \sum \omega_i U_i, Q | p_i = p | \sum \omega_i T_i, P | p_i = p ; r_i | \sum \omega_i C_i, R || \sum C_i ;$$

- розклади для паралельних процесорів (з перериваннями):

$$P | \text{tree}; pmtn | C_{\max}, P | \text{intree}; pmtn | L_{\max}, P | p_i = p ; pmtn | \sum \omega_i C_i,$$

$$Q | p_i = p ; pmtn | \sum U_i, Q | p_i = p ; prec; pmtn; r_i | \sum C_i,$$

$$Qm | p_i = p ; pmtn; r_i | \sum \omega_i U_i, Rm | pmtn | \sum T_i, Q | p_i = p ; pmtn | \sum \omega_i T_i ;$$

- розклади для систем довільного типу (open shop):

$$O || C_{\max}, O | p_{ij} = 1; \text{outtree} | L_{\max}, O | p_{ij} = 1; r_i | \sum U_i,$$

$$O | p_{ij} = 1 | \sum \omega_i U_i, O | p_{ij} = 1; r_i | \sum \omega_i T_i ;$$

- розклади для поточного виробництва (flow shop):

$$F | p_{ij} = 1; \text{tree} | C_{\max}, F | p_{ij} = 1; \text{intree} | L_{\max},$$

$$F2 | p_{ij} = 1; \text{chains}; | \sum T_i, F2 | p_{ij} = 1; \text{chains}; | \sum \omega_i C_i,$$

$$F | p_{ij} = 1; \text{chains}; r_i | L_{\max}, F | p_{ij} = 1; \text{intree} | \sum C_i,$$

$$F | p_{ij} = 1; r_i | \sum \omega_i U_i, F | p_{ij} = 1; r_i |, \sum \omega_i T_i .$$

Висновки

Розглянуто принципи побудови систем MRP II, ERP, APS. Сформульовано вимоги до планів, що генеруються на різних рівнях планування вказаних систем. Наведено критерії, яким повинні задовольняти ці плани.

Наведено ряд математичних моделей та методів, що знаходять застосування у системах MRP II, ERP, APS з метою здійснення оптимального управління виробництвом.

Сформульовано математичні постановки задач теорії розкладів, які виникають на різних рівнях планування розглянутих систем, у відповідності до наведених критеріїв. Розв'язання цих задач необхідне для досяг-

нення мети побудови оптимальних планів в процесі управління виробництвом.

Список посилань

1. APICS Dictionary, 10th ed. American Production and Inventory Control Society, 2002.
2. Graham, R.L., Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.E.G.: Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey, *Ann. Discrete Math.* 5, 287–326, 1979.
3. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. 2-е изд.–СПб.:Питер, 2005.–416с.
4. О’Лири, Дэниел. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация/ Дэниел О’Лири; [Пер. с англ. Ю.И. Водяновой].– М.:ООО «Вершина», 2004.– 272с.
5. Рыбников А.И. Система управления предприятием типа ERP – М.: Аэроконсалт, 1999 – 214с.