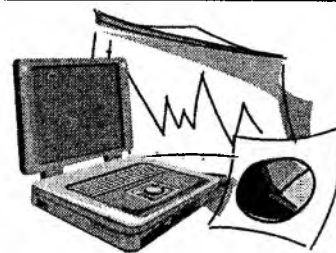

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



УДК 65.012:519.8

Соломаха С.А.

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ДИНАМІЧНОГО ПОРТФЕЛЮ ЗАМОВЛЕНЬ

Розглянуто питання формального представлення процесу формування динамічного портфелю замовлень. Побудована модель надає можливості визначити методи пошуку оптимального рішення поставленої задачі. Запропонований механізм пошуку рішення дозволяє отримати наблизений до оптимального результат.

The question of formal presentation of modeling the dynamical backlog is considered. The proposed dynamical backlog model gives the possibilities to evolve the methods of finding an optimal solution. The proposed mechanism of finding an optimal solution allows receive an optimal result.

Діяльність більшості сучасних виробничих економічних систем (ВЕС) здійснюється на основі сформованого портфелю замовлень. Так, процес планування виробництва фактично не має механізмів реалізації зворотного зв'язку при виконанні плану, що відображається на рівні її адаптивності та гнучкості. В процесі своєї діяльності ВЕС повинна мати можливість урахування змін в існуючому портфелі замовлень - появи нових замовлень, зміни терміну виконання зобов'язань, які були раніше прийняті, або навіть припинення їх виконання. Крім того, з часом оптимальність існуючого портфелю замовлень може викликати сумнів у зв'язку зі змінами, які відбулися. Таким чином дослідження у сфері планування виробництва, яким присвячено роботи багатьох вчених, зокрема Ю.Г. Лисенка, М.М. Лепи, Я.Г. Берсуцького, О.М. Тридеда, Дж. Бігеля та інших, є важливими для функціонування ВЕС.

Але сучасні економічні умови, що характеризуються нестабільністю та динамічністю, вимагають застосування нових підходів до управління замовленнями підприємств, які дозволили б, з урахуванням специфіки існуючого об'єкту, реалізувати механізм зворотного зв'язку у процесі виконання плану, та підвищити ефективність управління ВЕС. Одним з можливих рішень задачі підвищення ефективності виробничого планування може стати використання реалізованих у концепції динамічного портфелю замовлень (ДПЗ) механізмів адаптації характеристик виробничого плану до змін, що відбуваються. Основи концепції ДПЗ були закладені Ю.Г. Лисенко у роботі [1], а також у роботах цього вченого у співавторстві [2], [3].

Концепція синтезу адаптивного управління ВЕС, якій присвячено роботу [2], визначає загальну схему функціонування ВЕС в умовах нестабільного попиту на базі динамічного портфелю замовлень. У рамках синтезу системи ДПЗ особливо актуальними є формальне визначення процесу оптимального формування портфелю замовлень та методи знаходження цього оптимуму.

Метою роботи є рішення зазначених задач та аналіз моделі формування портфелю замовлень, розробленої на основі вивчення вхідних та вихідних інформаційних потоків

системи ДПЗ. Результати даного аналізу надали можливість визначити необхідні методи розв'язання поставлених задач, а також отримати оцінку трудомісткості їх реалізації.

Як зазначено у [2] до системи ДПЗ надходить два види інформаційних потоків:

- потік від системи маркетингу, що визначає заявки, які потенційно можна буде включити до портфелю замовлень (ПЗ);
- потік від системи моніторингу, який визначає можливості виробничого процесу - обмеження для задачі ДПЗ.

На базі цих інформаційних потоків система ДПЗ продукує рішення задачі розміщення заявок у портфелі замовлень і визначає сутність інформаційного потоку, який надходить до системи оперативного управління.

Розглянемо більш докладно вказані інформаційні потоки і побудуємо модель формування ДПЗ. Оскільки для кожного моменту часу, а точніше для кожного такту, необхідна постановка нової задачі розміщення заявок у ПЗ, то в моделі не враховується динаміка надходження замовлень. Розглянута модель є зрізом наявних замовлень й їх характеристик у деякий момент часу τ .

Згідно з [2] усі заявки, що надходять від системи маркетингу, можна розподілити, в залежності від джерела їх виникнення, на фактичні - зареєстровані в підсистемі обробки замовлень, та ймовірні - ті, що плануються в підсистемі обробки слабких сигналів і непрямих зв'язків. Кожна заявка повинна мати систему характеристик, на підставі оцінки яких буде ухвалюватися рішення щодо поповнення портфелю замовлень.

Таким чином, у деякий момент часу τ є певна кількість заявок $n: Z = \{z_i\}, i = \overline{1, n}$.

Кожна заявка $z_i \in Z$ визначається системою характеристик, кількість яких для всіх $z_i \in Z$ є однаковою, що гарантує побудову механізму впорядкування і вибору кращих варіантів на множині Z . В якості характеристик пропонується використання наступних показників:

Імовірність одержання заявки P_{z_i} . Очевидно, що для фактичних заявок імовірність надходження дорівнює 1. Для запланованих заявок імовірність надходження визначається на підставі даних, що надаються підсистемою обробки слабких сигналів і непрямих зв'язків системи маркетингу.

Ціна заявки (оплата за її виконання) Q_{z_i} . Даний показник є стандартним для всіх контрактів, що укладаються, і його одержання не містить особливих складностей.

Важливість заявки I_{z_i} – оцінка важливості виконання заявки, яка визначається на підставі думки експертів з урахуванням ситуації на ринку замовників і стратегії розвитку ВЕС. Ця характеристика також визначається присутністю заявки z_i у портфелі замовлень минулого періоду ($\tau - 1$).

У момент часу ($\tau - 1$) був також сформований оптимальний, з урахуванням ситуації, ПЗ. Це означає, що заявки цього портфелю замовлень було прийнято до виконання, укладено відповідні угоди. Таким чином, замовлення з портфелю, який було сформовано у минулому періоді, не можуть бути виключені з поточного портфелю, можлива лише зміна їх часових характеристик, точніше строків початку виконання. Характеристика I_{z_i} , областю значень якої є закритий інтервал $[0, 1]$, використовується для відображення інформації про присутність замовлення у портфелі минулого періоду (у

цьому випадку $I_{z_i} = 1$), й інформації про нову заявку, важливість включення якої в ПЗ задається оцінкою на інтервалі $[0,1]$.

Потреби у ресурсах визначаються формулою:

$$R_{z_i} = \{r_{z_i}^s\}, s \in S,$$

де S – множина розглянутих у моделі ресурсів.

При формуванні портфелю замовлень є можливим врахування витрат на роботи, пов'язані з початком певного виробництва. Ці витрати є доповненням до ресурсної потреби заявки і можуть бути задані у вигляді несиметричних матриць A_s , розмірність яких дорівнює $(n \times n)$. Перетин рядків і стовпців даних матриць визначає вартість налаштування обладнання після виконання i -го замовлення для виконання j -го.

Бажані терміни закінчення виконання замовлення: $T_{z_i}^{кон}$. Тривалість виконання, що визначається для кожного замовлення з урахуванням його специфіки нормативним методом: $T_{z_i}^{исп}$.

Для врахування витрат, пов'язаних зі зберіганням товару при його достроковому виробництві, премій за дострокове виконання замовлень і штрафів за невиконання замовлень у належний час, використовується показник D_{z_i} . Найчастіше на практиці виконання замовлення після визначеного в контракті строку є неприпустимим У цьому випадку даний показник виконує лише функції врахування вартості зберігання готової продукції і преміальних за дострокове виконання замовлення, якщо вони передбачені.

До характеристик замовлень у сформованому ПЗ належить і час початку його виконання $T_{z_i}^{нач}$.

У залежності від специфіки певної задачі список характеристик може бути скорочений або ж доповнений іншими елементами.

Зауважимо, що існує два типи задач розміщення заявок у ПЗ: задачі з нероздільними та розділеними у часі замовленнями. Очевидно, що задачі другого типу (так звані задачі з простоями) можна, не порушуючи вихідних характеристик даної задачі, привести до першого типу, представивши кожну частину розділеного у часі замовлення як самостійну заявку з власними характеристиками. Тому надалі, для спрощення викладу, будемо виходити з передумов про нероздільність замовлень.

Для кожного виду ресурсу із множини S система моніторингу визначає його фактичну наявність r^s . Очевидно, що ВЕС для виконання замовлень із ПЗ може придбати ресурси на відповідних ринках, тоді обмеження на досяжність ресурсів будуть представлені в моделі у вигляді функцій $r^s = F^s(\bullet), \forall s \in S$. Обмеження, пов'язані з потужністю виробничого потенціалу та фінансовими можливостями ВЕС на залучення ресурсів, можна враховувати як при визначенні вигляду функцій F^s , так й у явному вигляді: $r^s \leq a$.

На підставі даних системи моніторингу відбувається, крім того, визначення загального доступного обсягу часу \bar{T} для виконання замовлень, що може враховуватися при формуванні ПЗ.

Нехай $Z_{ПЗ}$ – портфель замовлень. Відзначимо, що $Z_{ПЗ} \subseteq Z$. Оптимальний ПЗ повинен забезпечувати: максимізацію прибутку; мінімізацію вартості налаштування обладнання, якщо воно необхідне; максимізацію премій (якщо вони передбачені) за дострокове виконання замовлень; ритмічність виробничого процесу, що функціонує на базі даного ПЗ і т.д.

Нехай також W – функція, що відображає сумарний прибуток від виконання існуючого ПЗ. Значення цієї функції буде залежати від:

– витрат, пов'язаних з виконанням замовлень із $Z_{ПЗ}$: $\sum_{\forall z_i \in Z_{ПЗ}} R_{z_i}$, у тому числі й

пов'язаних з налаштуванням обладнання, якщо таке має місце: $\sum_{\forall s \in S} OF_{Z_{ПЗ}}(A_s)$.

(Оператор $OF_{Z_{ПЗ}}()$ дає можливість, використовуючи матриці налаштування A_s , визначити необхідну кількість ресурсу s для певного ПЗ).

– сумарного розміру штрафів і премій, пов'язаних з виконанням замовлень раніше або пізніше бажаного терміну: $\sum_{z_i \in Z_{ПЗ}} D_{z_i}$.

– оплати виконання усіх заявок із ПЗ: $\sum_{\forall z_i \in Z_{ПЗ}} Q_{z_i}$.

Таким чином, функція W буде мати вигляд:

$$W = \sum_{\forall z_i \in Z_{ПЗ}} Q_{z_i} - \sum_{\forall z_i \in Z_{ПЗ}} R_{z_i} - \sum_{\forall s \in S} OF_{z_{ПЗ}}(A_s) + \sum_{z_i \in Z_{ПЗ}} D_{z_i} \quad (1)$$

Метою задачі формування оптимального ПЗ є максимізація сумарного прибутку від ПЗ ($W \rightarrow \max$), з урахуванням наступних обмежень:

1. На наявність ресурсів. Не порушуючи цілісності, з метою спрощення викладення матеріалу, будемо вважати, що ВЕС забезпечена ресурсами у повному обсязі весь час, протягом якого відбувається виконання замовлень із портфелю:

$$\sum_{\forall z_i \in Z_{ПЗ}} r_{z_i}^s \leq \bar{r}^s = F^s(\bullet), \forall s \in S \quad (2)$$

В іншому разі обмеження повинні бути представлені як інтервали, у яких доступність та кількість ресурсів є постійною.

2. На наявний час для виконання ПЗ (горизонт планування). Використання даного обмеження на практиці можливе, наприклад, для врахування планового ремонту обладнання, сезонних коливань попиту на продукцію й т.д. Таким чином, строки закінчення всіх заявок у ПЗ не повинні перевищувати позначку на шкалі часу, що характеризує горизонт планування

$$T_{z_i}^{нач} + T_{z_i}^{исп} \leq \bar{T}, \forall z_i \in Z_{ПЗ} \quad (3)$$

Рішенням задачі формування оптимального портфелю є така множина замовлень $Z_{ПЗ}$, при якій $W \rightarrow \max$ для (1) і виконуються обмеження (2-3). Для наведеної задачі з урахуванням особливостей області припустимих значень єдиним методом, що дозволяє одержати оптимальне рішення, є метод перебору. Оптимум у загальному випадку для таких задач може бути не знайдений за прийнятний час. Тоді використовуються наближені й евристичні методи, які дозволяють знайти рішення з визначеною похибкою за кінцевий час.

Задача (1-3) є NP - повною задачею, тобто кількість кроків, необхідних для її розв'язання має більшу, ніж поліноміальна, залежність від розмірності вхідного масиву даних. Доведемо дане твердження. Доказ NP - повноти задачі (1-3) надасть можливість визначити методи знаходження її наближеного рішення і вибрати найбільш прийнятний з них з погляду реалізації на кінцевому об'єкті.

Для розв'язання задачі з n замовленнями, які можуть починатися тільки в певний час (число термінів початку виконання замовлень дорівнює 1: $N_i = 1, \forall i = \overline{0, n}$),

необхідно оцінити $\sum_{k=0}^n C_n^k$ можливих варіантів, де C_n^k – сполучення з k елементів з

множини n . Знаходження суми по k дає можливість врахувати потрапляння до портфелю різних варіантів сполучень замовлень. Варіант, коли $k = 0$ означає, що жодне із замовлень не включається до портфелю. Врахування даного варіанту необхідно для одержання граничних оцінок портфелю, наприклад у СППР.

Для випадку, коли для будь-якого $i - 20$ замовлення можливе визначення кількох термінів початку його виконання N_i , а також з урахуванням того факту, що сполучення термінів виконання повинне бути тільки для різних замовлень, тобто варіант, коли те ж саме замовлення починає виконуватися кілька разів є неприйнятним, даний показник має

вигляд $N_i \sum_{k=0}^n C_n^k$.

Для множини замовлень, кожне з яких має фіксовану кількість термінів початку виконання N , кількість необхідних оцінок дорівнює, відповідно, $\left(N \sum_{k=0}^n C_n^k \right)^n$.

Індуктивно дійдемо висновку, що для безлічі замовлень із різними можливими термінами початку їх виконання кількість оцінок, які необхідно зробити дорівнює

$$\prod_{i=1}^n \left(N_i \sum_{k=0}^n C_n^k \right) \quad (4)$$

При фіксованому значенні n , тобто для тієї самої кількості замовлень із різними термінами початку виконання, значення множника $\sum_{k=0}^n C_n^k$ є константою, а при

збільшенні n даний множник, який дорівнює $\sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!(n-k)!}$, забезпечує експонентне зростання загального показника кількості необхідних оцінок. Дана дискретна функція апроксимується безперервною експонентною функцією $y = e^{0,6931x}$ з вірогідністю апроксимації $R^2 = 1$.

Крім того, експонентне зростання функції (4) забезпечується добутком по n для всіх значень N_i .

Таким чином, ми бачимо, що кількість необхідних оцінок залежить експонентно від кількості замовлень і можливих варіантів початку їх виконання.

Наведена у формулі (4) кількість необхідних оцінок значно збільшується при використанні функціоналів в якості обмежень в задачі (1 - 3).

У разі необхідності виконання пусконаладжувальних робіт, оцінка (4) приймає

вигляд $\prod_{i=1}^n \left(N_i \sum_{k=0}^n A_n^k \right)$, де A_n^k – розміщення по k елементах на множині n .

NP повнота задачі (1-3) визначає неможливість її розв'язання для великих вхідних масивів даних методами, заснованими на переборі й оцінці можливих варіантів з області значень. Враховуючи, що на практиці кількість замовлень і число термінів їх початку є доволі великим, пошук рішення задачі (1-3) пропонується проводити, на підставі детального й поглибленого вивчення предметної області, введення ряду додаткових умов, які дали б змогу зменшити трудомісткість задачі. Таким чином, є можливість від загальної NP повної задачі перейти до її окремого випадку, у якому вона, можливо, не буде характеризуватися NP повнотою. Для отриманої задачі необхідно знайти метод одержання оптимального, або близького до оптимального, рішення, який би задовольняв умовам допустимості відхилення результату і був би найбільш прийнятним з огляду реалізації кінцевого портфелю ВЕС.

Аналіз сутності задачі (1-3) дозволяє дійти висновку, що деякі комбінації сполучення термінів виконання замовлень можна виключити з розгляду. Так, наприклад, сполучення двох замовлень у випадку, коли час закінчення виконання першого знаходиться досить далеко від часу початку виконання другого, недоцільно з погляду ритмічності виробничого процесу. На підставі даного положення можливе визначення відношення часткового порядку на множині заявок Z , що дозволить включати в розгляд замовлення відповідно до даного порядку. Крім того, впорядкування вихідної множини замовлень із множини Z можливе також на підставі таких характеристик замовлень як: імовірність одержання заявки P_{z_i} , важливість заявки I_{z_i} .

Таким чином, пошук рішення необхідно проводити відповідно до введених евристичних правил, що обумовлюють перевагу додавання до портфелю тієї чи іншої заявки в певний момент часу.

Для рішення задачі (1-3) пропонується використання механізму, побудованого на принципі процедури Жадібного Випадкового Адаптивного Пошуку (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP)). GRASP є ітеративним процесом, у якому кожна ітерація складається із двох стадій [4], [5]: стадії конструкції, у якій будується можливе рішення, та стадії локального пошуку, у якій шукається локальний оптимум у близькості побудованого рішення. Краще рішення зберігається як результат роботи алгоритму.

У випадку великої кількості розгалужень скорочення варіантів можливе за рахунок застосування імовірнісних методів, тобто випадкового перебору найбільш підходящих замовлень із наступним відбором оптимального варіанту. Варіювання числа можливих варіантів даного вибору дозволить настроїти систему, побудовану для рішення даної задачі, на одержання прийняттого результату.

Таким чином, на підставі евристичних правил, задача (1-3) приводиться до задачі із заданим частковим (або, в окремому випадку, повним) упорядкуванням множини Z , для рішення якої необхідно використати модифікований метод жадібного випадкового адаптивного пошуку. Модифікація методу полягає у введенні додаткової умови відбору варіантів рішень із множини можливих на кожному кроці. Ця умова визначає вибір випадковим чином лише частини можливих рівнозначних на даному етапі варіантів. Оцінка кількості можливих варіантів ПЗ, які необхідно порівняти між собою, залежить від загальної потужності підмножин вихідної множини замовлень, для яких строго не встановлене відношення порядку на кожному етапі, й від кількості таких підмножин у множині замовлень. У загальному випадку оцінка трудомісткості наведеної задачі аналогічна вже проведеній оцінці трудомісткості задачі (1-3), однак наведена задача має наступні властивості:

1. Трудомісткість наведеної задачі менша або дорівнює (у випадку відсутності хоча б одного ланцюжка елементів множини замовлень, для яких встановлено відношення порядку) трудомісткості задачі (1-3).
2. Введення додаткових евристичних правил, що дозволяють упорядкувати за якоюсь ознакою наявну множину замовлень, або визначення способу багатокритеріального впорядкування, дозволить зменшити трудомісткість її вирішення.

Загальний алгоритм розв'язання поставленої задачі складається з наступних стадій:

1. Визначення вихідної множини замовлень Z
2. Визначення обмежень виконання даної множини замовлень.
3. Формулювання правил упорядкування на множині Z .
4. Формулювання правил відбору рішень при виборі варіантів, для яких не визначене відношення строгого порядку.
5. Побудова можливих рішень задачі й оцінка їх оптимальності.
6. Вибір оптимального рішення: набору замовлень і термінів їх початку $Z_{ПЗ}$.

Таким чином, розроблена на підставі аналізу інформаційних потоків у системі ДПЗ і заснована на принципах концепції ДПЗ модель формування оптимального портфелю замовлень, дозволяє здійснювати відбір замовлень у портфель відповідно до критеріїв його оптимальності. Дослідження NP повноти побудованої моделі підтвердило припущення про складність знаходження рішення задачі формування оптимального портфелю замовлень методом прямого перебору. Для пошуку рішення даної моделі пропонується використання евристичних припущень і механізмів жадібного випадкового адаптивного пошуку, що дозволяють одержати близький до оптимуму результат за прийнятний час.

Подальша реалізація запропонованого методу рішення задачі оптимального формування портфелю замовлень потребує побудови спеціалізованої інформаційної системи, яка дала б змогу накопичувати, зберігати та обробляти великі масиви вихідних даних, відносно характеристик замовлень та стану виробничого процесу.

Література

1. Лысенко Ю.Г. Модели управления хозрасчетным промышленным предприятием. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 208 с.

2. Лысенко Ю.Г., Соломаха С.А. Механизмы адаптивного управления портфелем заказов в условиях нестабильного спроса // Новое в экономической кибернетике: (Сб. научн. ст.) Под общ. ред. Ю.Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т. // Модели формирования портфеля заказов на предприятиях и в организациях. – Донецк: ДонНУ, 2005. – №2. – С. 14-26.
3. Кошеля Я.В., Тимохин В.Н., Совершенствование подходов к управлению материальными потоками предприятия // Модели управления в рыночной экономике: Сб. науч. тр. Общ. ред. и предисл. Ю.Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т. – Донецк: ДонНУ, Том 1, 2004. – №7. – С. 217-226.
4. Thomas A. Feo and Mauricio G.C. Resende, Greedy Randomized Adaptive Search Procedures // Journal of Global Optimization, vol. 6, 1995, pp. 109-133,
5. Leonidas S. Pitsoulis, Mauricio G.C. Resende, Greedy randomized adaptive search procedures // AT&T Labs Research Technical Report., 2001, – 20 p.

Рекомендовано до публікації
д.е.н., проф. Ковальчуком К.Ф., 28.09.05

Надійшла до редакції
12.09.05