УДК 658.336:004.451

ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФІНАНСУВАННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПРОЕКТІВ

Е.В. Лисенко, д-р техн. наук, О.С. Яшина

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Розглянуто проблему динамічного моделювання процесів фінансування науково-технічних проектів з позицій аналітичного та імітаційного моделювання. Запропоновано ряд моделей, на основі яких було створено комплексний метод аналізу динаміки фінансування проекту. Описано комп'ютерну систему аналізу динаміки фінансування.

* * *

Рассмотрена проблема динамического моделирования процессов финансирования научно-технических проектов с позиций аналитического и имитационного моделирования. Предложен ряд моделей, на основе которых был создан комплексный метод анализа динамики финансирования проекта. Описана компьютерная система анализа динамики финансирования.

* * *

The problem of scientific and technical projects financing dynamics is examined on analytical and simulation positions. The series of models was offered. On this base the complex method for scientific and technical projects financing dynamics analysis is created. The computer system for financing dynamics analysis is described.

Вступ. Розробка конкурентноспроможної наукомісткої продукції є одним з пріоритетних напрямків діяльності українських підприємств. Цей процес майже завжди проходить в умовах жорстких обмежень щодо термінів і витрат ресурсів. Найбільш перспективною сучасною формою організації робіт зі створення нових технічних систем (ТС) є управління проектами (УП).

Науково-технічним проектам і програмам (НТПП) притаманний високий ступінь невизначеності як проекту в цілому, так і окремих робіт, зумовлений впливом нестабільного зовнішнього середовища, значною мірою новизни окремих робіт і непередбаченими технічними складнощами [1]. Для опису невизначеності використовують імовірнісні мережі та інші моделі імовірнісного характеру.

Однією з найважливіших задач УП є управління обмеженими ресурсами [2]. Навіть за сприятливих економічних умов ресурсні обмеження суттєво впливають на виконання проекту. За умов обмеженого доступу до інвестицій та джерел позикового фінансування навіть тимчасовий дефіцит фінансування може істотно вплинути на виконання проекту. На жаль, більшість існуючих методів УП орієнтована на стабільну ринкову економіку і не враховує особливостей економіки України.

Витрати ресурсів усіх видів в кінцевому підсумку зводяться до фінансових показників і можуть досліджуватися за допомогою методів фінансового аналізу. Проте широко застосовані в фінансовому менеджменті методи аналізу грошових потоків мають занадто укрупнений характер і абстраговані від особливостей виконання реальних проектів.

Тому розробка моделей та методів прогнозування ходу виконання проекту на основі динамічного моделювання впливу ресурсного та фінансового забезпечення робіт є актуальною науковою задачею.

Постановка задачі. Кожен проект має вхідний та вихідний фінансові потоки. Для опису потоків зручно використовувати *фінансові профілі* — криві у просторі "час – витрати", що характеризують певний аспект руху грошових коштів. Вихідний грошовий потік будемо характеризувати двома кумулятивними профілями витрат $Z^{EST}(t)$ і $Z^{LST}(t)$, які відображають накопичену до моменту t суму витрат за умов початку робіт відповідно у найбільш ранні та найбільш пізні строки. Вхідний потік характери-

© Е.В. Лисенко, О.С. Яшина

зується кумулятивним профілем надходжень $S(t)$. У загальному випадку $Z^{EST}(t)$, $Z^{LST}(t)$ та $S(t)$ є випадковими процесами. Між фінансовими профілями можуть існувати розбіжності, які будемо називати неузгодженостями. Можна вказати два види неузгодженостей: тимчасово вільні кошти $R(t)$ та дефіцит фінансування $D(t)$.

З кожним із цих видів неузгодженостей пов'язаний набір чинників, що впливають на виконання проекту. Склад цих чинників суттєво залежить від типу проекту. З кожним таким чинником x пов'язана певна величина втрат коштів ΔS^x і часу ΔT^x (у випадку тимчасово вільних коштів ці величини можуть бути негативними). Витрати на виконання проекту збільшуються на величину втрат, зумовлених впливом неузгодженостей.

Задача полягає в моделюванні динаміки фінансування проекту із залученням різних математичних методів. У результаті аналізу необхідно отримати прогноз ходу робіт проекту з урахуванням впливу динаміки фінансування, а також прогноз накопичення втрат, зумовлених різними чинниками, в ході виконання проекту.

Якщо окремі параметри проекту піддані впливу чинників невизначеності, профіль витрат є випадковим процесом. Це потребує залучення досить складного математичного апарату для його аналізу.

Аналіз стохастичного мережного графіку. Найбільш повну інформацію про виконання НТПП можна отримати шляхом аналізу графіку робіт у формі стохастичної мережі. Найбільший інтерес становить знаходження закону розподілу (ЗР) окремих параметрів розробки. Існує декілька аналітичних методів розрахунку імовірнісних характеристик стохастичних мереж, основаних на виявленні типових фрагментів мережі та заміни їх еквівалентними роботами [3]. Майже всі існуючі методи орієнтовані на аналіз тривалості розробки. В нашому випадку треба враховувати не тільки часові, а й вартісні параметри робіт. ЗР процесів витрат типових мережних фрагментів можна оцінити за формулами:

Для послідовної підмережі з *n* робіт

$$G_I(t,x) = \sum_{i=1}^{n} p_i(t) F_{Z_i}(t),$$

де $p_i(t)$ – імовірність того, що до моменту t виконано рівно *i* робіт

$$p_i(t) = F_{T_i}(t)\left[1 - F_{T_1}(t)\right], 1 < i < n;\ p_n = F_{T_n},$$

$F_{T_n}(x)$ – функція розподілу (ФР) загальної тривалості і робіт; визначається шляхом згортки індивідуальних ЗР тривалостей окремих робіт.

Для паралельної підмережі

$$G_{II}(t,x) = \sum_{Q \in P} p_Q(t) F_{Z_Q}(t),$$

де P – множина робіт підмережі; $Q \subseteq P$ – деяка підмножина множини *P*; сумування проводиться по всіх можливих підмножинах; $p_Q(t)$ – імовірність того, що до моменту *t* виконані ті і тільки ті роботи, що входять до множини Q

$$p_Q(t) = \prod_{i \in Q} F_{\tau_i}(t) \cdot \prod_{j \in W} \left[1 - F_{\tau_j}(t)\right],\ W = R \setminus Q,$$

$F_{\tau_i}(t)$ – ФР моменту закінчення роботи *i*.

Хоча визначення ЗР процесу витрат $G(t,x)$ істотно розширює можливості застосування аналітичних методів до моделювання динаміки фінансування, однак знаходження закону $G(t,x)$ для мережі довільної структури є складною задачею.

Застосування імітаційного моделювання. Найбільш універсальним методом аналізу стохастичних мережних моделей є імітаційне моделювання. Основа для аналізу – календарний план проекту, переважно у формі сітьового графіку, із зазначенням обсягу витрат в грошовому або натуральному виразі, фінансовий план проекту, а також інформація про додаткові витрати та надходження.

Моделювання починається з побудови фінансових профілів. Слід враховувати залежність між

тривалістю і вартістю робіт. Для цього множина ресурсів R, необхідних для виконання роботи, розбивається на три підмножини: R^I – множина нескладованих основних ресурсів, що безпосередньо впливають на тривалість роботи; R^{II} – множина нескладованих забезпечуючих ресурсів; R^{III} – множина складованих ресурсів.

Тривалість роботи k визначається обсягом виділених основних ресурсів

$$\tau_k = \max\{\tau_{ki}\}, \quad \tau_{ki} = \frac{q_{ki}}{r_{ki}}, \quad i \in R^I. \qquad (1)$$

де q_{ki}, r_{ki} – відповідно потрібний та виділений обсяг ресурсу i-го виду для роботи k.

Витрати на роботу визначаються шляхом сумування витрат ресурсів усіх видів з урахуванням тривалості роботи

$$C_k(\tau) = \tau_k \sum_{i \in R^I} c_i r_{ki} + \tau_k \sum_{j \in R^{II}} c_j r_{kj} + \sum_{m \in R^{III}} c_m r_{km}, \qquad (2)$$

де c_i – вартість одиниці ресурсу виду i.

В умовах виникнення неузгодженості плану робіт з його фінансовим забезпеченням на НТПП впливає ряд чинників, які можуть привести до змін у ході проекту. Слід розглянути такі чинники. У випадку наявності тимчасово вільних коштів: можливість прискорення робіт за рахунок залучення додаткових ресурсів, наслідки тимчасового замороження коштів. У випадку дефіциту фінансування: можливість залучення позикового фінансування або наслідки тимчасового призупинення робіт, а саме: наслідки простоїв, наслідки фізичного старіння матеріальних об'єктів, наслідки морального старіння проектних рішень. За кожним чинником необхідно оцінити втрати коштів і часу, а також оцінити їх вплив на параметри робіт [4].

Оцінка впливу інфляції $\Delta S^{інф}$ та оцінка вартості позикового фінансування $\Delta S^{поз}$ здійснюється загальновживаними методами на основі дисконтування.

Більш складними є випадки, коли неузгодженості в фінансуванні змінюють умови виконання робіт і впливають на їхні параметри.

У випадку призупинення (за наявності дефіциту) або форсування проекту (за наявності тимчасово вільних коштів) змінюються параметри окремих робіт. Слід перерахувати тривалості робіт за формулою (1) та їхні вартості за формулою (2). Після цього потрібно перебудувати календарний план шляхом перерахунку сітьового графіка. Витрати фінансових коштів оцінюються як сумарна зміна вартостей робіт, що потрапили на період існування тимчасово вільних коштів або дефіциту

$$\Delta S = \sum_i \left[C_i(\hat{\tau}_i) - C_i(\tau_i) \right], \qquad (3)$$

де $\tau_i, \hat{\tau}_i$ – запланована та прогнозована тривалість роботи i.

У випадку форсування робіт витрати, оцінені за формулою (3), можуть бути негативними. Це свідчить про можливість економії коштів при скороченні тривалості проекту.

Витрати через фізичне старіння оцінюються на основі норми амортизації або нормативного строку служби матеріальних об'єктів.

Найскладніше оцінити втрати через моральне старіння. Для цього необхідно залучати моделі технічної еволюції, що описують тенденції у зміні характеристик даного виду техніки. Проект описується вектором $\vec{X}$ тактико-технічних характеристик (ТТХ). Новизну та перспективність нового виробу оцінюють шляхом зіставлення його ТТХ з параметрами перспективних виробів, що очікуються на момент завершення розробки. Для їх визначення часто застосовують прогнозування за огинаючими кривими, які, як правило, мають експоненціальну форму $X_i(t) = A + Be^{Ct}$.

Якщо розробка призупиняється, термін її закінчення віддаляється. Це потребує переоцінки технічного рівня проекту, який, очевидно, виявиться ниж-

чим, ніж передбачалося. Внаслідок цього проект може втратити конкурентоспроможність.

Витрати, необхідні для відновлення перспективності проекту, оцінюються за допомогою моделей технічної еволюції $X_i(t)$ та моделей прогнозування витрат на досягнення заданого рівня ТТХ $S(X)$. Як правило, це різного роду регресійні залежності.

Запропоновані часткові моделі були поєднані в єдину імітаційну модель ресурсного та фінансового забезпечення проекту. На основі створеної моделі було розроблено метод прогнозування ходу виконання проекту в умовах заданої динаміки фінансування. Сценарій прогнозування показано на рис. 1.

Запропонований метод прогнозування ходу виконання проекту поширено на стохастичний випадок. Для аналізу проекту в умовах невизначеності застосовується комбінація методів детермінованого аналізу проекту й статистичного моделювання. За допомогою генераторів випадкових чисел будується випадкова реалізація фінансових профілів проекту. Виконується аналіз динаміки фінансування тим самим методом, що й для детермінованих профілів. Моделювання повторюється задану кількість разів. За допомогою статистичних методів визначається найбільш імовірний прогноз ходу проекту і евристичні закони розподілу втрат [5].

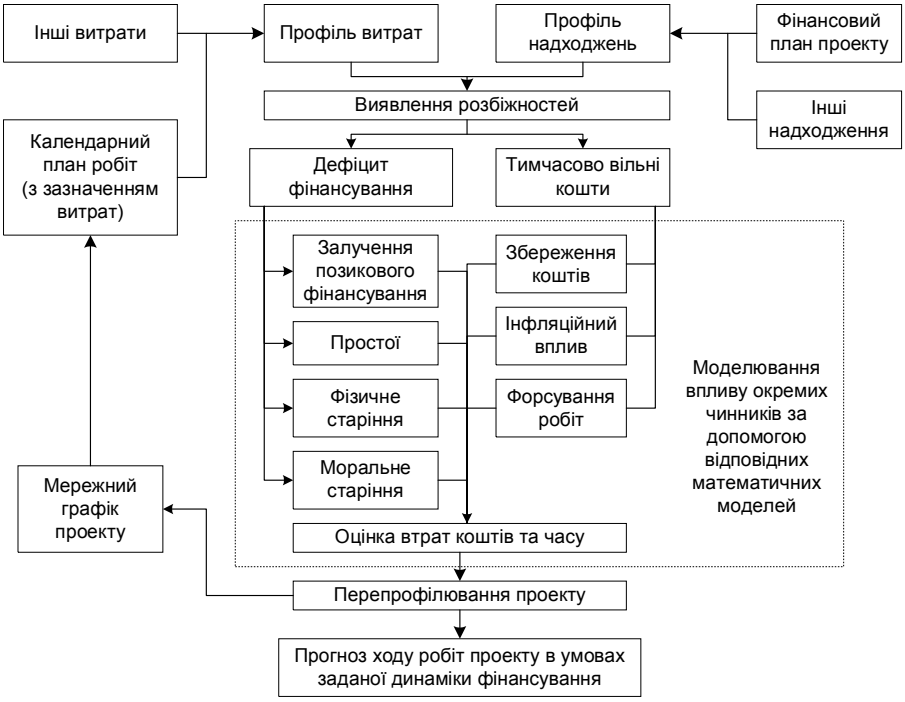

Рис. 1. Сценарій прогнозування ходу виконання проекту

Об'єктно-орієнтований аналіз ресурсного та фінансового забезпечення. Модель ресурсних і фінансових потоків НТПП описано з використанням методології об'єктно-орієнтованого моделювання. На рис. 2 показано діаграму класів системи, створену з використанням уніфікованої мови моделювання UML [6]. Центральною ланкою моделі є фінансові профілі. Виділено кілька класів фінансових профілів. *Деталізований профіль* являє собою елементарний фінансовий профіль, що характеризує один з складників фінансового потоку. *Агрегований профіль* утворюється шляхом об'єднання декількох фінансових профілів. *Кумулятивний профіль* будується на основі якого-небудь фінансового профілю проекту, шляхом підрахунку суми, накопиченої до даного моменту. *Профіль неузгодженостей* являє собою неузгодженості між заданими двома кумулятивними профілями. *Профіль втрат* являє собоюпроцес втрат, обумовлених дією одного з чинників.

Моделювання впливу різних чинників здійснюється за допомогою об'єктів класу *Профіль втрат*. Кожному чиннику відповідає один екземпляр такого об'єкта, операція побудови якого реалізує процедуру моделювання відповідного чинника (розрахунок втрат і внесення змін до плану робіт).

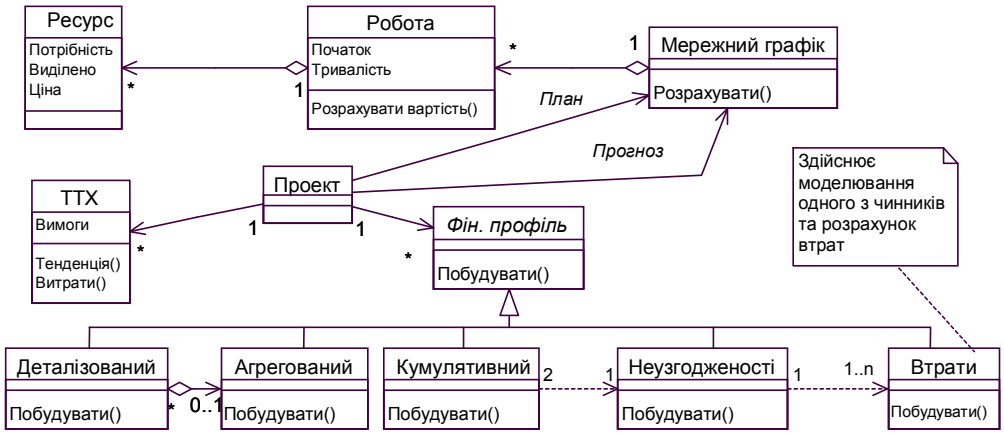

Рис. 2. Об'єктна модель ресурсного та фінансового забезпечення НТПП

Комп'ютерна система аналізу динаміки фінансування НТПП. Запропоновані методи та моделі були реалізовані програмно. Результатом стала комп'ютерна система аналізу динаміки фінансування проекту.

Архітектуру системи розроблено на основі об'єктно-орієнтованого підходу. Система ґрунтується на об'єктній моделі ресурсного та фінансового забезпечення проекту, яка описана вище.

Застосування системи дозволяє впровадити запропоновані методи аналізу динаміки фінансування в практику УП. Зокрема, з її допомогою було проаналізовано кілька проектів, пов'язаних зі створенням та експлуатацією авіаційної техніки. На рис. 3 показано приклад аналізу проекту створення дистанційно-пілотованого літального апарата.

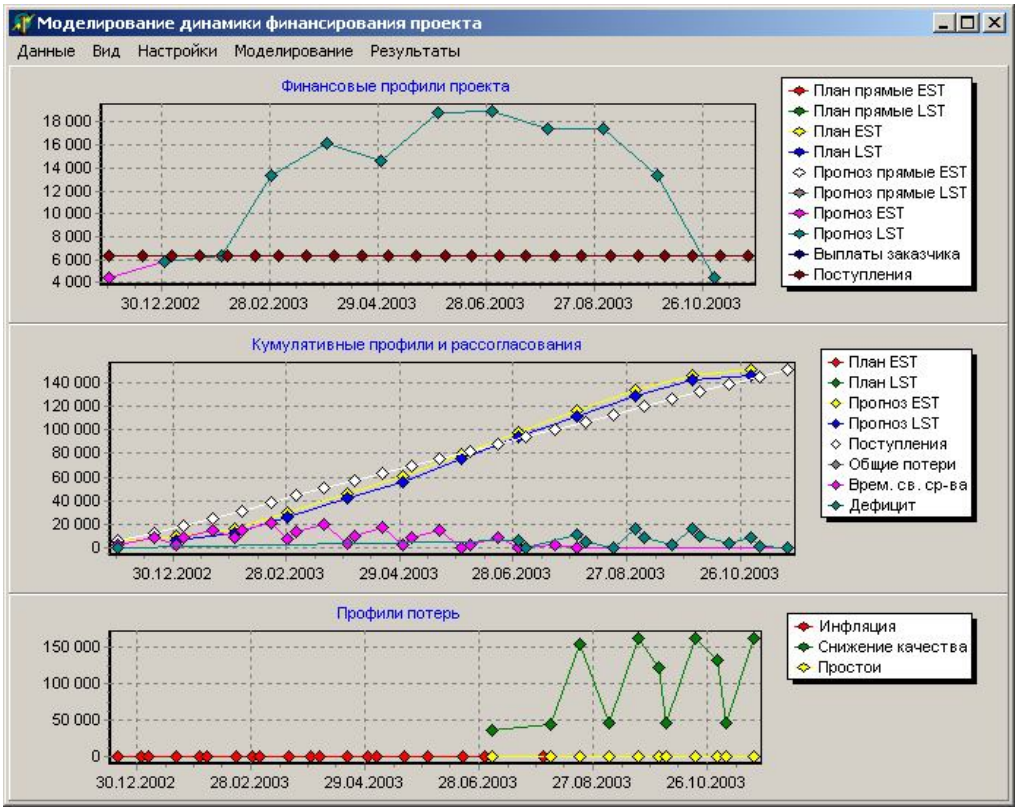

Рис. 3. Приклад аналізу динаміки фінансування проекту

У верхній частині рисунка показано графіки витрат та надходжень. З них видно, що виплати здійснюються рівномірно, в той час як витрати в середині планового періоду значно вищі, ніж на початку та в кінці.

В середній частині рисунка наведено кумулятивні фінансові профілі та профілі неузгодженостей. З них видно, що в першій половині планового періоду існують тимчасово вільні кошти, а в другій – спостерігається дефіцит фінансування.

В нижній частині рисунка показано профілі втрат для кожного з чинників. Було проаналізовано вплив трьох чинників: інфляція, зниження якості й простої. Кожному чиннику відповідає свій профіль втрат. З графіка видно, що проект несе невеликі втрати через інфляцію та простої й досить значні втрати, пов'язані зі зниженням якості, обумовленим фізичним і моральним старінням проектних рішень під час призупинення робіт.

На основі результатів моделювання менеджер може прийняти рішення про доцільність зміни графіка фінансування проекту для запобігання призупиненню робіт.

Висновки

В роботі запропоновано ряд методів аналізу динаміки фінансування НТПП за допомогою аналітичного та імітаційного моделювання. Запропоновано метод аналізу динаміки фінансування проекту на основі імітаційного моделювання. Проаналізовано чинники, що впливають на виконання НТПП в аспекті динаміки фінансування. Запропоновано методи моделювання впливу окремих чинників. Виконання проекту в аспекті динаміки фінансування проаналізовано з позицій об'єктно-орієнтованого підходу. Розроблено комп'ютерну інформаційно-моделюючу систему динамічного аналізу ресурсного та фінансового забезпечення проекту.

Література

1. Автономов В.Н. Создание современной техники: Основы теории и практики. – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.

2. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др. Справочное пособие / Под ред. И.И. Мазура и В.Д. Шапиро. – М.: Высш. шк., 2001. – 875 с.

3. Голенко Д.И., Лившиц С.Е., Кеслер С.Ш. Статистическое моделирование в технико-экономических системах (управление разработками). – Л.: ЛГУ, 1977. – 264 с.

4. Луханин М. И., Яшина Е.С., Комаров В.С. Моделирование последствий временной остановки проекта // Авіаційно-космічна техніка і технологія.– Вип. 21. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2000. – С. 40 – 45.

5. Дружинин Е.А., Яшина Е.С., Комаров В.С. Моделирование процесса финансирования проекта в условиях воздействия случайных факторов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Вип. 24. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2001. – С. 187 – 194.

6. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 432 с.

Поступила до редакції 08.04.03

Рецензенти: канд. техн. наук, професор Попов В.О., Національний аерокосмічний університет "ХАІ", м. Харків; канд. техн. наук, директор управління надійності та ресурсу Поліщук С.М., ТОВ "Енергоатом Харків проект", м. Харків.