

УДК 519.863

Г. Ю. Дерман; Т. М. Боровська, к. т. н., доц.; В. А. Северілов, к. т. н., доц.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ ЗА НАЯВНОСТІ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

Запропоновано трирівневу систему управління розвитком багатопродуктової виробничої системи, що не має аналогів. На першому рівні вирішується однокрокова задача оптимального розподілу ресурсів системи між виробничими елементами, на другому рівні – багатокрокова варіаційна задача розвитку. На третьому рівні на підставі даних підсистеми прогнозування визначаються параметри корекції стратегії розвитку. Використано алгебраїзацію задач динаміки та оптимізації.

Ключові слова: прогнозування, оптимальний розвиток, розподіл ресурсів, варіаційна задача, модель-предиктор, композитна модель, субмоделі, узагальнена виробнича система, алгебраїзація задач.

Постановка проблеми. Сучасні виробничі системи перебувають у стані постійних змін технології і продукції. Ідеї «кібернетичної корпорації» з моделлю цієї ж корпорації в контурі автоматизованої системи управління уже більше п'ятдесяти років. Сьогодні рівень реалізації цієї ідеї не став вищим. Надійно й ефективно реалізовано функції оформлення транзакцій, різного обліку і статистичного аналізу. Проте функції прогнозування й оптимального управління розвитком реалізуються топ-менеджерами на основі інтуїції й досвіду. Існують програми-роботи, які самостійно оптимізують портфелі цінних паперів за результатами аналізу фінансових ринків. Судити про реальний стан цього сектору науки важко через відсутність (з причин конфіденційності) інформації програми-предиктори, які використовуються, та системи бізнес-аналітики.

Розглянемо оптимальне управління процесом розвитку розподіленої технологічної системи у складному оточенні. Замість старого штампа «невизначеність» використовуємо новий – «складне оточення». Мається на увазі глобалізація: оточення – не пасивна «гаусівська стихія», а десятки «ближніх» і тисячі «дальніх» постачальників, споживачів і конкурентів. Позначення феномену – «глобалізація» є нестрогим і нечітким. Наявність фундаментальних робіт, велика кількість якісних монографій створюють ілюзію повної завершеності цього наукового напрямку. Однак сьогодні нові складні технічні задачі не тільки виникають частіше, але й «важать» значно більше. Сьогодні ігнорування нової технології у виробництві веде до втрати споживачів, потім – до втрати сегмента виробництва, а потім – до руйнування соціальної структури і виникнення чергової «недержави».

Термін «процес розвитку» біологічного походження, щодо виробництва – це виділення деякої оптимальної частини ресурсів виробничої системи на оновлення номенклатури, конструкції продукції і технології виробництва. Мета розвитку – стабільність і зростання ефективності. Щодо кількісного зростання, то сучасне виробництво завжди має певні межі зростання: технічно нескладно наситити потреби в комунікаторах, ноутбуках, засобах транспорту.

Постановка задачі – розробити математичну модель-предиктор, що базується на оптимальних за інтегральним критерієм процесах розвитку. Модель розвитку для всіх допустимих початкових умов, функцій освоєння, виробництва та збурень повинна розраховувати оптимальний процес. Інтерпретація інтегрального критерію – накопичений за плановий період ефект або накопичені витрати за відповідних обмежень. Маємо досить складну задачу, яку вирішуємо поетапно: обираємо й розробляємо функціональні модулі, збираємо з них необхідну модель. При цьому виникає термінологічна проблема: зібрана модель не може бути класифікована як система управління, де зв'язки між блоками мають характер «вхід-вихід». Це також і не ієрархічна система моделей [1 – 3] і не метамодель [4 – 5]. Назвемо структуру, яку розробляємо, «композитною моделлю».

Конструювання композитної моделі процесу розвитку

Визначення композитної моделі виконаємо на базі концепції моделей UML. У UML визначено *транзитивні діаграми комунікації і послідовності*, що виражають взаємодію, але показують її різними способами і з достатнім ступенем точності можуть бути перетворені одна в іншу. Діаграма комунікації (Communication diagram, у UML 1.x – діаграма кооперації, collaboration diagram) – діаграма, яка відображає взаємодії між частинами композитної структури або ролями кооперації. На відміну від діаграми послідовності, на діаграмі комунікації явно вказуються зв'язки між елементами (об'єктами), а час як окремий вимір не використано (застосовано порядкові номери викликів). Діаграма послідовності (Sequence diagram) – діаграма, на якій зображено впорядковану в часі взаємодію об'єктів. Зокрема, на ній зображено об'єкти, які беруть участь у взаємодії, і послідовність повідомлень, якими вони обмінюються.

Усі представлені моделі можна використовувати автономно. Функціональні субмоделі розширені і орієнтовані на конкретні сегменти виробництва. Очевидно, характеристики попиту на танкери й прогулянкові катери різні не тільки параметрично, а й структурно.

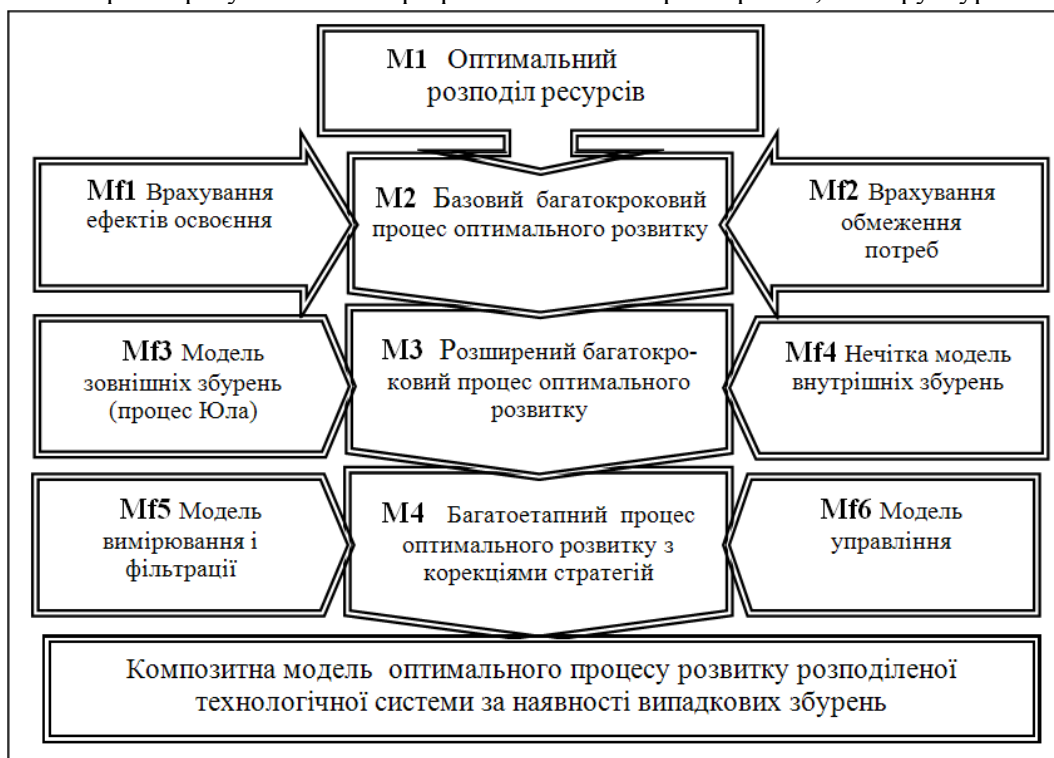


Рис. 1. Схема конструювання композитної моделі процесу розвитку

Інформаційна технологія конструювання моделі містить функціональну, структурну й редуційну декомпозиції, алгебраїзацію моделей динаміки й оптимізації, зведення складних багатовимірних нелінійних систем до псевдоодновимірної форми. Розглянемо послідовність моделей розвитку.

Модель оптимального розподілу ресурсів – однокроковий процес

Для компактного й цілісного представлення моделі оптимального розподілу ресурсів збираємо основні результати в інформаційний блок (рис. 2).

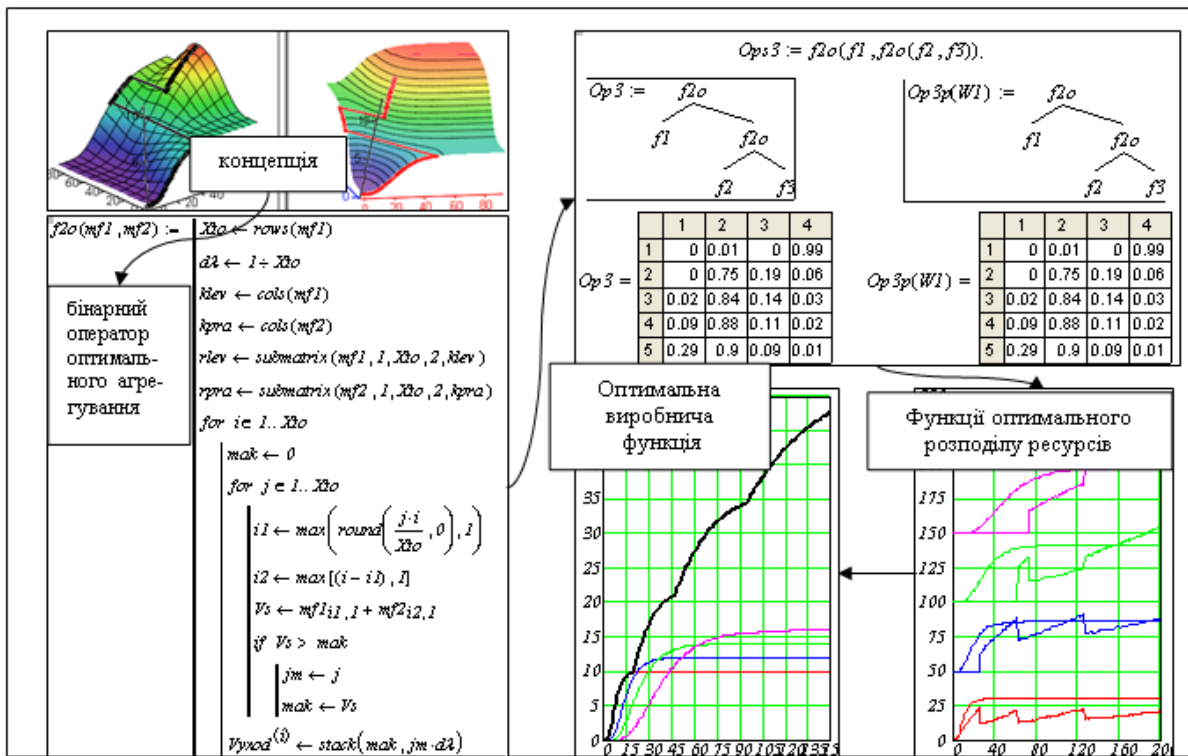


Рис. 2. M1 – модель оптимального розподілу ресурсів

Повний опис та обґрунтування моделі має великий обсяг. Ця модель істотно відрізняється від аналогів і є ключовою для всієї розробки. Суть методу оптимального агрегування – заміна багатовимірної задачі нелінійного програмування послідовністю одновимірних задач оптимізації. Результат методу – еквівалентний оптимальний одновимірний виробничий елемент. Переваги методу оптимального агрегування як методу розв'язання задач нелінійного програмування – відсутність обмеження видів цільових функцій типу диференційованість, опуклість і оберненість операції агрегування. Програмний модуль оптимального агрегування реалізує бінарний оператор (рис. 2), асоціативний і комутативний для об'єктів – дискретних виробничих функцій. У підсумку задача нелінійного програмування зводиться до простої алгебраїчної задачі.

Модель оптимального розподілу ресурсів – багатокроковий процес

Дискретний процес розвитку можна представити як багатокроковий процес прийняття рішень, що оптимізують деякий критерій – суму функцій від стану динамічної системи на кожному кроці. Метод принципу максимуму Л. Понтрягіна дозволяє замінити одну задачу знаходження екстремуму функціоналу на послідовність задач знаходження максимуму функції Гамільтона на кожному кроці прийняття рішень. Для агрегованої моделі це функція однієї або двох змінних управління.

На рис. 3 подано інформаційний блок моделі розвитку M2. Звернемо увагу на тривимірний графік, складений з функцій Гамільтона, для кожного кроку моделювання процесу. На цей графік накладено траєкторію максимумів функції Гамільтона. Вид зверху (оптимальна стратегія) – пропорція розподілу ресурсів системи між накопиченням і розвитком. Оптимальна стратегія – складна, негладка, немонотонна функція часу.

У результаті варіаційну задачу для багатопродуктової системи зведено до еквівалентної одномірної варіаційної, яку в кінцевому підсумку зведено до форми «оптимальний процес розвитку (параметризований)».

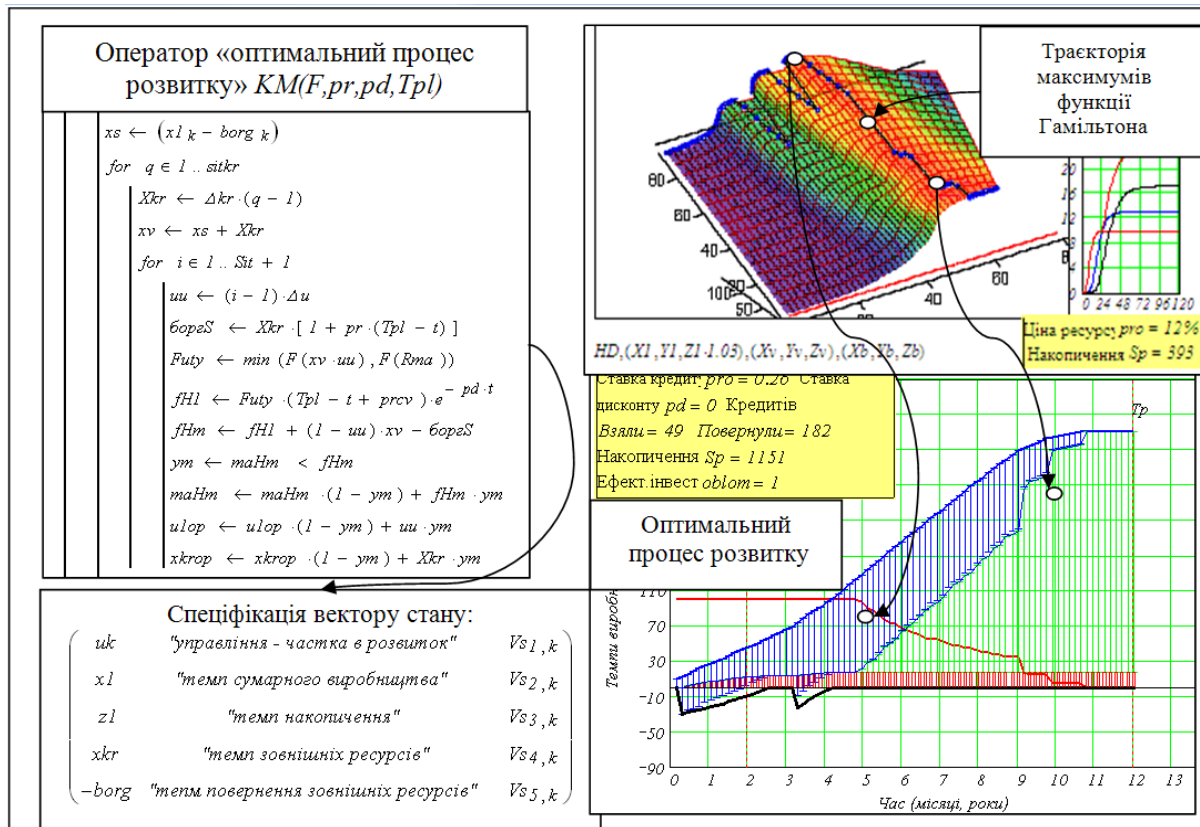


Рис. 3. M2 – модель оптимального розподілу ресурсів у процесі розвитку

Розширена модель оптимального розподілу ресурсів – багатокроковий процес

Одна з істотних переваг це простота модифікації базової моделі розвитку. Первинні зміни входять у розширену систему рівнянь динаміки (з включенням рівняння для критерію). Потім ці зміни проходять через процедури формування й розв'язання системи диференціальних рівнянь для спряжених функцій і отримання виразу для функції Гамільтона. Нездоланні для аналітичних методів задачі – рішення системи нелінійних диференціальних рівнянь і знаходження максимуму функцій Гамільтона – обходимо, використовуючи чисельні методи для отримання відповідних параметризованих виразів. На основі аналізу цих точних рішень можна отримати ефективні наближення (у просторі стратегій, а не просторі функцій Гамільтона). У результаті, рішення варіаційної задачі для модифікованої моделі стає справді «конструюванням».

Розглянемо типові розширення моделі на рівні формування наближення функції Гамільтона. Враховуємо у критерії вартості виробничих потужностей у кінці планового періоду. Записуємо вирази для модифікованого критерію (1) і два вирази для функції Гамільтона – вихідний і модифікований (2).

$$JN = \int_0^T [x(t) \cdot (1 - u(t)) + fin(x(t) \cdot u(t)) \cdot pr \cdot cov \cdot ar] dt; \quad (1)$$

$$H(x, u) = x(t) \cdot (1 - u(t)) + fin(x(t) \cdot u(t)) \cdot (T - t) \quad (2)$$

$$H(x, u) = x(t) \cdot (1 - u(t)) + fin(x(t) \cdot u(t)) \cdot (T - t + pr \cdot cov \cdot ar).$$

У виразі для критерію під інтегралом з'явився додатковий складник – це прирощення виробничих потужностей помножено на $pr \cdot cov \cdot ar$ – приведений коефіцієнт вартості фондів.

Врахування використання зовнішніх ресурсів. У цьому випадку використовуємо те, про що часто забувають теоретики-схоласти, – змістовну інтерпретацію функції Гамільтона:

зовнішні ресурси, узяті в поточний момент, зменшують значення критерію за рахунок повернення боргу і збільшують його за рахунок введення й використання нових технологій, марок продуктів і нових виробничих потужностей.

$$H(x, u, xkr) = xs(1-u) + \text{fin}(xs \cdot u, p) \cdot (T-t + \text{prcv}) - xkr \cdot [1 + \text{prc}(T-t)], \quad (3)$$

де $xs(t) = x(t) + xkr(t)$ – сумарні поточні ресурси; $x(t)$ – поточні виробничі потужності; $u(t)$ – поточна частка ресурсів для розвитку; $xkr(t)$ – поточна величина зовнішніх ресурсів; prc – ціна ресурсу (зокрема – ставка кредиту); $\text{fin}(\cdot)$ – функція віддачі інвестицій; T – плановий період; prcv – приведений коефіцієнт кінцевої вартості фондів.

Врахування дисконтування потоків ресурсів. У нашій моделі нескладно врахувати дисконтування потоків ресурсів. Модифікуємо критерій оптимізації процесу розвитку виробничої системи.

$$JN = \int_0^T xs(t) \cdot \text{unak}(t) \cdot e^{-pt} dt. \quad (4)$$

Врахування інерційності й запізнювань у виробничій системі. Зазвичай інвестиції дають віддачу у вигляді певного темпу випуску нового продукту з певним запізнюванням, зумовленим поставками, будівництвом, монтажем обладнання, залежуванням продукції на складах та ін. Має місце також інерційне запізнювання віддачі витрат на розвиток. Відобразимо це в моделі, модифікуємо рівняння динаміки виробничих потужностей.

$$\frac{d}{dt} x(t) = \text{fin}(y(t)) \Rightarrow \frac{d}{dt} xp(t) = \text{fin}(y(t-\tau)); \quad \frac{d}{dt} xd(t) = \text{Kob}(xp(t) - xd(t)), \quad (5)$$

де t – запізнювання, xp – номінальний (потенціальний) приріст фондів, xd – дійсний поточний приріст фондів, Kob – коефіцієнт. У стандартному вигляді модель інерційного запізнювання:

$$\text{Tos} \cdot \frac{d}{dt} xd(t) + xd(t) = xp(t), \quad \text{Tos} = \frac{1}{\text{Kob}},$$

де Tos – постійна часу.

Врахування ефектів освоєння виробництва. У нашій моделі ми розділили підсистеми і моделі власне виробництва, розширення й освоєння виробництва. Реальні процеси можна нечітко розділити на: освоєння інвестиційне (відносно швидкий процес освоєння встановленого обладнання), освоєння виробниче (довгострокове, протягом усього життєвого циклу вдосконалення виробу й виробництва). У цій роботі враховуємо ефект масштабу виробництва та освоєння такою моделлю

$$xc(t) = \text{fct} \left(xd(t), t, \int_0^t xd(t) dt \right). \quad (6)$$

Словесна інтерпретація виразу (6): наведений темп створення ресурсу $xc(t)$ дорівнює деякій функції від поточного випуску (темпу), часу і накопиченого випуску.

Врахування потреб і конкуренції. Нескладно створити модель споживання зошитів, книг, батарейок, ноутбуків, телевізорів, програм прогнозування. Перехід від одного продукту й виробника до кількох вимагає зовсім інших підходів до моделювання, а самі моделі стають складнішими – стохастичними, нечіткими. У рамках цієї роботи обираємо таку модифікацію моделі виробництва [6]:

$$\frac{d}{dt} x(t) = \text{fin}(y(t)) \Rightarrow \frac{d}{dt} x(t) = ef \cdot x(t) \left(\frac{\text{Ryn}(t) - \text{Sus}(t, x(t))}{\text{Ryn}(t)} \right) \cdot y(t), \quad (7)$$

де $x(t)$ – темп випуску продукції, $y(t)$ – темп інвестицій, ef – показник ефективності інвестицій у розвиток (залежить від енерго- і фондоемності виробництва, досвіду і якості персоналу, стану інвестиційного клімату); $Ryn(t)$ – потреби (попит), $Sus(t, x(t))$ – задоволення потреб (заповнення ринку). Перші три множники – це коефіцієнти, що характеризують поточну ефективність перетворення інвестицій $y(t)$ у приріст темпу потужностей.

Модель оптимального управління за наявності невизначеностей – багатоетапний процес

Для виробничих систем існує «горизонт прогнозування», зумовлений інерційним характером і кореляціями невизначеностей. «Горизонт прогнозування» можна збільшити за рахунок витрат часу й ресурсів на отримання інформації. На основі цього запропоновано спосіб управління за наявності невизначеностей, що складається з періодичних корекцій оптимального управління. Загалом, процес розбито на інтервали – етапи з фіксованими параметрами оптимальної стратегії. На рис. 4 представлено схему розбиття процесу розвитку.

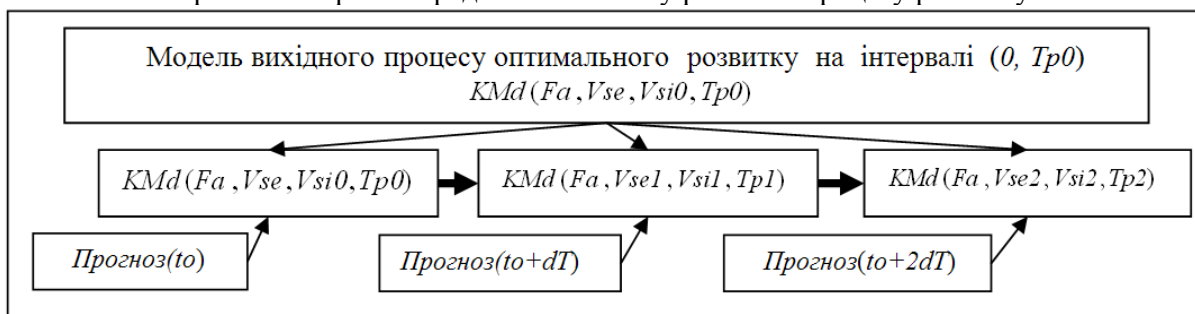


Рис. 4. Схема розбиття оптимального процесу розвитку в багатоетапний процес

Теоретична основа для розбиття процесу в послідовність етапів – представлення математичної моделі у вигляді алгебраїчного об'єкта $KMd(Fa, Vse, Vsi0, Tp0)$ з визначенням на ньому операціями розбиття та композиції. Загальне рішення задачі корекції стратегії виходить за рамки цієї статті.

Приклад оптимального процесу розвитку за наявності невизначеностей. На рис. 5 подано приклад процесу розвитку, де для наочності етапи процесу показано в розгорнутому вигляді так, як би кожен етап ділився до кінця планового періоду. Стрілками показано початок і кінець етапу з фіксованою стратегією. Кінцевий стан попереднього етапу стає початковим для наступного етапу.

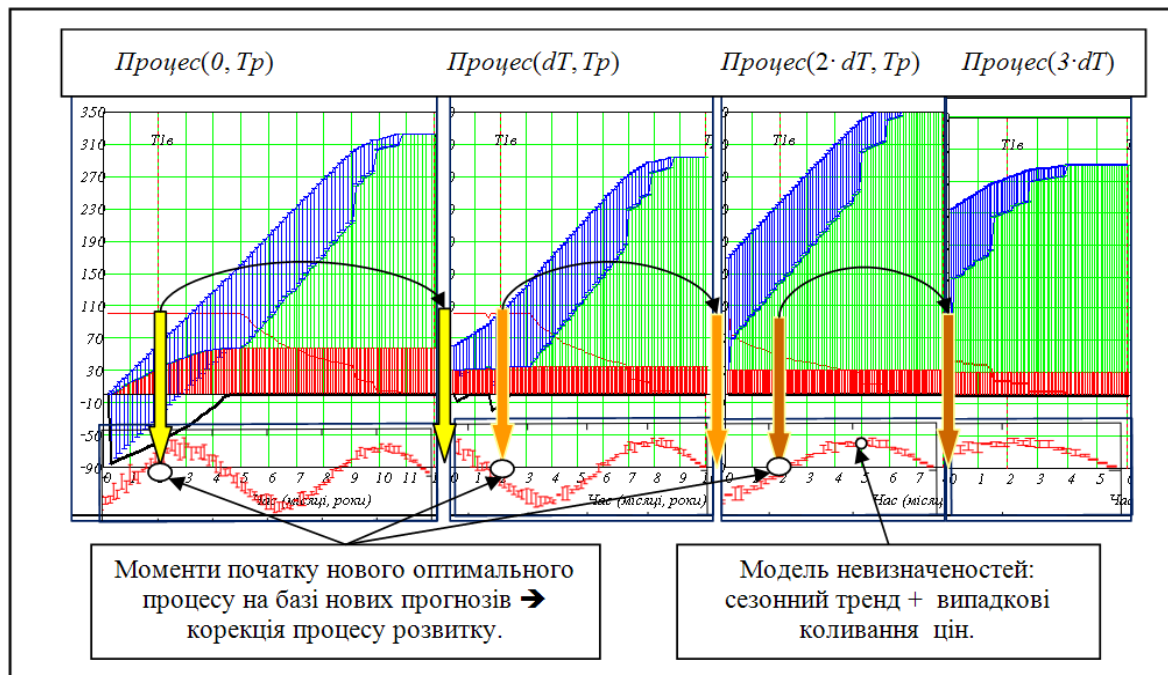


Рис. 5. Приклад багатоступінчастого оптимального процесу розвитку в умовах невизначеностей

Висновки. Побудовано робочу композитну модель процесу розвитку технологічної системи. Запропоновано дворівневу систему оптимального управління процесом розвитку, де на першому рівні визначається оптимальне управління розвитку для детермінованої задачі, а на другому рівні вибираються момент і величина корекції оптимальної стратегії на підставі аналізу прогнозування невизначеностей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глушков В. М. Моделирование развивающихся систем / В. М. Глушков, В. В. Иванов, В. М. Яненко. – М.: Наука, 1983. – 353 с.
2. Беллман Р. Некоторые вопросы математической теории управления / Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс. – М.: Издат. иностр. литер., 1962. – 233 с.
3. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
4. Боровська Т. М. Декомпозиційні структури для прикладних програм синтезу регуляторів / Т. М. Боровська // "Вісник ВПІ". 2000. – № 1. – С. 12 – 18.
5. Боровська Т. М. Нечітка оптимізація розподілу обмеженого ресурсу у виробничій системі при неопуклих виробничих функціях елементів / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 5. – С. 36 – 41.

Дерман Галина Юрійвна – магістр кафедри комп'ютерних систем управління.

Боровська Тайса Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри комп'ютерних систем управління; інститут автоматизації, електроніки та комп'ютерних систем управління. Вінницький національний технічний університет.

Северілов Віктор Андрійович – к. т. н., доцент. Вінницький соціально-економічний інститут відкритого міжнародного університету розвитку людини "Україна"