

DOI: 10.15276/ETR.01.2026.8  
 DOI: 10.5281/zenodo.18946022  
 UDC: 330.46  
 JEL: C61, C63, D81, M11

## ПОБУДОВА ІНТЕГРОВАНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ДИНАМІЧНИХ ЗМІН

### DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED MODEL FOR BUSINESS PROCESS OPTIMIZATION UNDER UNCERTAINTY AND DYNAMIC CHANGE

Iryna Yu. Ivchenko, PhD in Economics, Associate Professor  
 Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine  
 ORCID: 0000-0002-1977-0342  
 Email: i.y.ivchenko@op.edu.ua

Received 27.11.2025

**Ф**ункціонування сучасного підприємства являє собою складну композицію різних бізнес-процесів, які є сукупністю взаємопов'язаних дій, спрямованих на створення цінності для кінцевого споживача. Бізнес-процеси підприємства формують структуровану сукупність операцій, що перетворюють вхідні ресурси (сировина, енергія, трудові ресурси, капітал) у готову продукцію або послуги. В умовах підвищеної конкуренції, обмежених ресурсів та динамічних ринкових умов управління бізнес-процесами набуває ключового значення.

Математичне моделювання і оптимізація бізнес-процесів дозволяють формалізувати внутрішні взаємозв'язки, кількісно оцінити наслідки управлінських рішень та обґрунтовано визначити оптимальні режими функціонування підприємства.

У сучасних дослідженнях з управління та економіко-математичного моделювання зростає інтерес до розгляду підприємства не лише як сукупності окремих видів діяльності – виробничої, інвестиційної, збутової, фінансової чи кадрової, але як цілісної системи взаємопов'язаних бізнес-процесів. На відміну від традиційного підходу, де види діяльності аналізуються ізольовано, концепція бізнес-процесів дозволяє розглядати підприємство через призму логічно впорядкованих потоків операцій, що створюють цінність для кінцевого споживача. Саме така процесна перспектива формує підґрунтя для застосування сучасних математичних методів і моделей оптимізації.

Аналіз наукової літератури свідчить, що для окремих видів діяльності (виробництва, фінансів, інвестицій, логістики) розроблено широкий спектр моделей підтримки прийняття рішень. Вони охоплюють оптимізацію виробничих програм, управління запасами, планування персоналу, формування інвестиційних портфелів та інші задачі. Однак ці моделі зазвичай орієнтовані на конкретний управлінський сегмент, що не дозволяє повноцінно врахувати міжпроцесні залежності, притаманні реальним бізнес-процесам, які перетинають межі функціональних підрозділів.

*Івченко І.Ю. Побудова інтегрованої моделі оптимізації бізнес-процесів в умовах невизначеності та динамічних змін. Науково-методична стаття.*

У статті досліджено проблему узгодження бізнес-процесів підприємства за допомогою методів математичного моделювання. Обґрунтовано, що традиційні підходи до моделювання не забезпечують комплексного врахування взаємозв'язків між операційними, інвестиційними, інноваційними та фінансовими процесами. Розроблено методичні підходи до побудови інтегрованої моделі, що забезпечує оптимальну взаємодію основних, допоміжних, забезпечувальних та керуючих бізнес-процесів підприємства. Запропоновано блокову структуру моделі, у межах якої бізнес-процеси представляються відповідними виробничими функціями та функціями витрат. Використання рекурентних залежностей дозволяє узгодити ресурсні потоки і фінансові обмеження. Для визначення оптимальних управлінських рішень запропоновано використовувати методи статистичних випробувань та сценарного моделювання. Модель може слугувати основою для створення систем підтримки прийняття рішень, що забезпечує підвищення ефективності управління в умовах невизначеності.

*Ключові слова:* бізнес-процеси, невизначеність та ризики, математичне моделювання, інтегровані моделі, динамічні системи, виробничі функції, інноваційно-інвестиційна діяльність

*Ivchenko I.Yu. Development of an Integrated Model for Business Process Optimization Under Uncertainty and Dynamic Change. Scientific and methodical article.*

The article examines the problem of coordinating an enterprise's business processes. It is substantiated that traditional modeling approaches do not ensure a comprehensive consideration of interdependencies between operational, investment, innovative, and financial processes. Methodological approaches have been developed for constructing an integrated model that ensures optimal interaction among the enterprise's core, auxiliary, supporting, and managerial business processes. A block-based model structure is proposed, in which business processes are represented by corresponding production functions and cost functions. The use of recurrent dependencies allows for the alignment of resource flows and financial constraints. To determine optimal managerial decisions, the use of statistical testing methods and scenario modeling is proposed. The model can serve as a basis for developing decision support systems that enhance management efficiency under uncertainty.

*Keywords:* business processes, uncertainty and risks, mathematical modeling, integrated models, dynamic systems, production functions, innovation and investment activities

Так, Malinova M., Mendling J., Štemberger M. (2022), у статті [1] продемонстрували, що важливим аспектом є зосередження зусиль на оптимізації та реорганізації управлінських процесів Авторами доведено, що системний підхід до процесного вдосконалення значно підвищує результативність організаційних змін.

Порівняння існуючих підходів демонструє, що моделювання видів діяльності підприємства і моделювання бізнес-процесів – це сутнісно різні підходи. У той час як перший концентрується на окремих функціях (виробництво, фінанси, інвестиції), другий вимагає комплексного представлення потоків інформації, ресурсів та операцій, що виходять за межі функціональних рамок. Це питання всебічно розкрито науковцями Соколовської З.М., Андрієнко В.М. та співавторами (2016) у [2], де показано, що математичне моделювання дозволяє підвищити прозорість, прогнозованість і адаптивність кожного різних видів діяльності підприємств. Але більшість наявних моделей є спрощеними та здебільшого статичними, що значно обмежує їх застосування для аналізу реальних процесів. Це також підтверджують результати дослідників Veerapoot I., van der Aalst W.M.P. (2023) у праці [3].

З огляду на це, проблема створення математичних моделей, здатних адекватно відобразити процеси підприємства в їхній системній інтегрованості, залишається актуальною. Особливого значення набуває завдання узгодження операційної, інвестиційної та фінансової діяльності не як окремих напрямів, а як взаємозалежних бізнес-процесів, що спільно формують результативність підприємства в умовах невизначеності. Складність цієї проблеми зумовлює потребу в подальших дослідженнях, спрямованих на розвиток комплексних економіко-математичних моделей та інструментів оптимізації бізнес-процесів у умовах динамічних змін та високого рівня невизначеності.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Серед методів математичного моделювання економічних процесів та систем особливе місце посідають моделі оптимізації потоків ресурсів, календарно-планові моделі, а також імітаційні підходи, що дозволяють формалізувати поведінку складних виробничих систем, а застосування моделей оптимізації сприяє раціональному використанню ресурсів, мінімізації витрат та підвищенню продуктивності. Як показують сучасні праці українських дослідників, зокрема Корзаченко О.В. (2021), моделювання дозволяє підвищити прозорість, прогнозованість і адаптивність кожного з бізнес-процесів підприємства [4].

Так, методологія моделювання операційних процесів ґрунтується на припущенні про можливість виокремлення окремих функціональних підсистем підприємства та на їх достатній структурованості для опису у вигляді математичних залежностей. У більшості робіт робиться припущення, що процеси підприємства можуть бути представлені у формі мережевих моделей,

систем масового обслуговування або поточкових моделей, де ключовими параметрами є час, потужність, завантаженість ресурсів і послідовність виконання операцій. Такий підхід дозволяє замінити складну сукупність взаємопов'язаних дій агрегованими змінними – інтенсивністю потоків, тривалістю циклу, часом обробки – що робить можливим пошук оптимальних рішень. Ці підходи докладно описано у роботі Соколовської З.М., Андрієнко В.М. та співавторів (2016) [2].

Обмеження класичних підходів (наприклад, виробничих функцій, лінійного програмування чи мережевого планування) часто пов'язані з тим, що вони передбачають повну визначеність параметрів: такт часу, тривалість операцій, обсяги виробництва та ресурси вважаються відомими або сталими. Це дозволяє сформулювати коректні задачі визначення залежностей між параметрами виробництва, пошуку мінімального часу виконання виробничої програми, оптимізації завантаження устаткування, проте істотно обмежує реалістичність моделі в умовах стохастичних впливів на виробництво. Аналогічні висновки подані авторами Dao, S.D., Abhary, K. & Marian, R. A (2016) в огляді [5] та Чижевської М.Б. та співавторів (2022) в [6].

Українські автори неодноразово підкреслювали, що подібна ідеалізація можлива лише для структурованих і добре формалізованих технологічних процесів, тоді як сучасні виробничі системи характеризуються високою варіативністю та невизначеністю. Це відзначено у працях Заруба, В., & Чмерук, Т. (2024) [7] та Епіфанова Д. [8]. Удосконалення підходів до моделювання призвело до поширення імітаційних моделей – дискретно-подієвих, агентних та комбінованих. Такі моделі дають змогу врахувати динаміку та випадковість реальних виробничих ситуацій, моделювати збої, черги, затримки поставок, нерівномірне завантаження обладнання. За результатами досліджень науковців, зокрема Robinson S. (2014) та Katchasuwanmanee, K., Cheng, K. & Bateman, R. (2016). застосування імітаційного моделювання дозволяє значно точніше виявляти неузгодженості між окремими бізнес-процесами та оптимізувати послідовність операцій і рух матеріальних потоків у режимі, близькому до реального [9, 10].

Дослідження показують, що інтеграція моделей різної природи – оптимізаційних, мережевих, імітаційних – формує підґрунтя для комплексного управління бізнес-процесами підприємств.

#### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Проведений аналіз математичних методів свідчить про те, що у більшості моделі будуються для окремих підсистем (виробництво, складування, логістика), тоді як реальний ефект можливий лише за умови повної координації рішень. Саме тому підкреслюється необхідність розвитку комплексного економіко-математичного інструментарію, що дозволяє синхронізувати бізнес-процеси на всіх рівнях – операційних до управлінських.

У контексті досліджуваної у статті проблематики інтеграції операційних рішень із динамікою виробництва, матеріальними потоками та обмеженнями на використання обладнання часто реалізується за допомогою спрощених оптимізаційних підходів. Такі моделі зазвичай оперують обмеженим набором агрегованих параметрів – пропускнуою спроможністю робочих центрів, номінальною тривалістю операцій або середніми показниками завантаження ресурсів. Однак реальні бізнес-процеси формуються значно складнішою системою взаємозалежностей, які виходять за межі цих спрощених припущень. Вони включають варіативність тривалості операцій, технологічні коливання, кореляцію між потоками, збої та відмови обладнання, логістичні затримки, а також ризики та багаторівневу невизначеність, що практично не враховуються у стандартних методах оптимізації.

Проблема оптимізації ускладнюється ще більше у випадку динамічних постановок, де вирішальне значення має фактор розмірності: збільшення кількості операцій, типів продукції, ресурсів та взаємодій між підсистемами призводить до експоненційного росту складності моделей.

Додатковою перешкодою виступає необхідність врахування фактора невизначеності – варіативності попиту, стохастичних перерв, сезонності, коливань ритмічності виробництва. У таких умовах традиційні оптимізаційні методи (лінійне програмування, класичні мережеві моделі) втрачають ефективність або втрачають математичну узгодженість.

Саме тому, попри наявність значної кількості досліджень, проблема інтегральної оптимізації діяльності підприємства в єдності його бізнес-процесів потребує подальшого теоретичного обґрунтування та розроблення нових економіко-математичних підходів.

Огляд методів моделювання та оптимізації доводить, що частина класичних підходів (лінійне програмування, детерміновані моделі) має обмеження щодо гнучкості та реакції на зовнішню невизначеність, і часто не враховує динамічні зміни бізнес-процесів. У зв'язку з цим вчені звертають увагу на потребу комбінованих підходів (імітаційне моделювання, сценарне планування, стохастичні моделі). Однак, саме через обмежену представленість досліджень, проблема інтеграції операційного моделювання й оптимізації залишається на стадії концептуальних розробок у вітчизняній науці.

На основі аналізу вітчизняних робіт [2, 4, 6-8, 11] та міжнародного досвіду [1, 3, 5, 9, 10] можна констатувати, що основною невирішеною задачею залишається створення інтегрованої моделі з узгодженням бізнес-процесів, яка:

- охоплює набір основних бізнес-процесів підприємства;
- включає інвестиційні процеси та інноваційні заходи;
- враховує невизначеність і динаміку системи;

— забезпечує можливість оптимізації управлінських рішень за допомогою симуляції або сценарного моделювання.

*Метою статті є* обґрунтування та розроблення методичних підходів до побудови інтегрованої моделі, що забезпечує оптимальне узгодження та взаємодію бізнес-процесів підприємства в умовах невизначеності та динамічних змін.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Бізнес-процеси на виробничому підприємстві це послідовні дії та операції, що здійснюються в рамках перетворення ресурсів у готову продукцію або послугу. Вони формують операційну логіку роботи підприємства. Виробнича, фінансова, інвестиційна, інноваційна, збутова, постачальницька діяльність тощо включають в себе бізнес-процеси, які завжди взаємопов'язані й формують цілісну систему управління підприємством, а саме:

- операційні бізнес-процеси (виробничі процеси, технології);
- допоміжні бізнес-процеси (ремонт, технічне обслуговування);
- забезпечувальні бізнес-процеси (інвестування, фінансування, логістичне забезпечення);
- керуючі бізнес-процеси (планування ресурсів, максимізація прибутку, управління ефективністю та прибутковістю) (рис. 1).

Бізнес-процеси побудовані за процесним принципом: кожен процес включає повний набір операцій, необхідних для створення цінності – від вхідних ресурсів до кінцевого результату.

Так, процес виробництва продукції представляє собою безперервну послідовність актів перетворення предметів праці в готову продукцію. Це перетворення здійснюється внаслідок трудової діяльності персоналу та за допомогою знарядь праці відповідно до визначеної технології. Його результатом є сформований кінцевий продукт із заданими властивостями.

Фундаментальною складовою розвитку виробничого підприємства є також процеси розширеного відтворення основних виробничих фондів, оскільки вони забезпечують відновлення, оновлення та нарощування виробничих потужностей. До процесів відтворення неінноваційного типу належать відновлення зношених елементів виробничих потужностей, капітальні ремонти, модернізація без зміни технологічної платформи, а також заміна обладнання на аналогічне. Такі процеси забезпечують безперервність функціонування виробничої системи та стабільну підтримку основних бізнес-процесів підприємства.

З позиції бізнес-архітектури згадані процеси найчастіше асоціюються з допоміжними бізнес-процесами, до яких належать технічне обслуговування, ремонт, підтримка інфраструктури та забезпечення операційної діяльності. Їхня роль полягає у створенні необхідних умов для ефективного виконання основних виробничих процесів без зміни технологічної основи виробництва. Як виробничі процеси, так і процеси розширеного

відтворення передбачають необхідність ресурсного забезпечення – постачання сировини, матеріалів, комплектуючих, енергетичних, трудових та інших ресурсів. Метою такого забезпечення є

підтримання злагодженої та оптимальної взаємодії всіх бізнес-процесів, мінімізація витрат, підвищення якості продукції та прискорення виконання операцій.



Рисунок 1. Бізнес-процеси підприємства  
Джерело: власна розробка автора

Інвестиційні процеси підприємства умовно поділяють на два типи. Перший – це інвестиції неінноваційного характеру, спрямовані на підтримання та відтворення існуючих основних фондів (ремонт, заміна обладнання на аналогічне, модернізація без зміни технологічного укладу). Такі процеси забезпечують стабільність функціонування та збереження виробничих потужностей.

Другий тип – інноваційно-інвестиційні процеси, що мають інший економічний зміст і спрямовані на якісне оновлення виробничої системи. До них належать впровадження нових технологій, автоматизація та цифровізація виробництва, використання сучасних науково-технічних розробок, створення нових видів продукції та оптимізація технологічних схем.

У межах бізнес-процесного підходу інноваційні інвестиційні процеси інтегруються з інноваційними та управлінськими бізнес-процесами. Вони охоплюють процеси досліджень і розробок, впровадження нових технічних і організаційних рішень, реінжиніринг бізнес-процесів, стратегічне інноваційне планування та управління технологічним розвитком підприємства. Фінансову діяльність підприємства зазвичай розглядають через призму грошових потоків як діяльність, що забезпечує можливість своєчасного виконання всіх зобов'язань, пов'язаних з операційними, інвестиційними та інноваційними рішеннями. Грошові потоки виконують роль наскрізного механізму, який забезпечує ресурсну підтримку бізнес-процесів та їхню взаємну узгодженість. Саме тому фінансову діяльність доцільно розглядати не лише як окремий функціональний напрям, а як ключовий управлінський процес, що інтегрує та координує

інші бізнес-процеси підприємства. Фінансування має бути комплексним і синхронізованим із загальною логікою функціонування підприємства, забезпечуючи узгодженість виробничих, відтворювальних, інвестиційних та інноваційних рішень.

Описане, у свою чергу, формує проблему вибору найбільш ефективних підходів до фінансового забезпечення як виробничої, так і інвестиційної діяльності промислового підприємства. Неefективна координація цих процесів може призвести до порушення безперервності основних бізнес-процесів, дефіциту ресурсів або фінансової нестабільності. Тому виникає потреба в інструментарії, який дозволяє не лише відстежувати взаємозв'язки між різними процесами, а й оцінювати їхню узгодженість та ефективність.

Для побудови інтегрованої моделі бізнес-процесів підприємства пропонується використовувати блоковий принцип, який є природним для імітаційних моделей. Кожний блок описує відповідний бізнес-процес або групу процесів і може бути представлений математичними моделями різного типу та рівня деталізації. Це дозволяє досліджувати взаємозв'язки між ключовими параметрами моделі, аналізувати наслідки різних управлінських рішень та визначати оптимальні параметри функціонування складної економічної системи. Переваги такого підходу у тому, що для кожного блоку, що описує відповідні бізнес-процеси підприємства, можуть бути написані математичні моделі різного типу та рівня деталізації. Такі моделі дозволяють досліджувати зв'язки між основними параметрами імітаційної моделі та визначити оптимальні параметри складної економічної системи.

Структура моделі при цьому набуває ієрархічного модульного вигляду. При цьому блочна модель, що розробляється, повинна враховувати, що фінансові потоки виступають наскрізним механізмом, що зв'язує всі блоки з описаними в них бізнес-процесами. Модель представлена у вигляді відповідних математичних блоків (рис. 2):

- 1) Блок операційних бізнес-процесів.
- 2) Блок допоміжних бізнес-процесів.
- 3) Блок забезпечувальних бізнес-процесів.
- 4) Блок керуючих бізнес-процесів.

Для формального опису бізнес-процесів в моделі введено наступні позначення:

- $p$  – вид продукції чи послуг;
- $i$  – вид ресурсів;
- $k$  – вид виробничих фондів, які використовуються для випуску продукції;
- $s$  – множина індексів можливих для реалізації на підприємстві проектів;
- $t$  – моменти часу досліджуваного періоду ( $t = \overline{1, T}$ );
- $n$  – номер відповідної стадії ІІІ виду  $s$  (де  $n = \overline{1, 6}$ ).
- $t$  – момент часу.

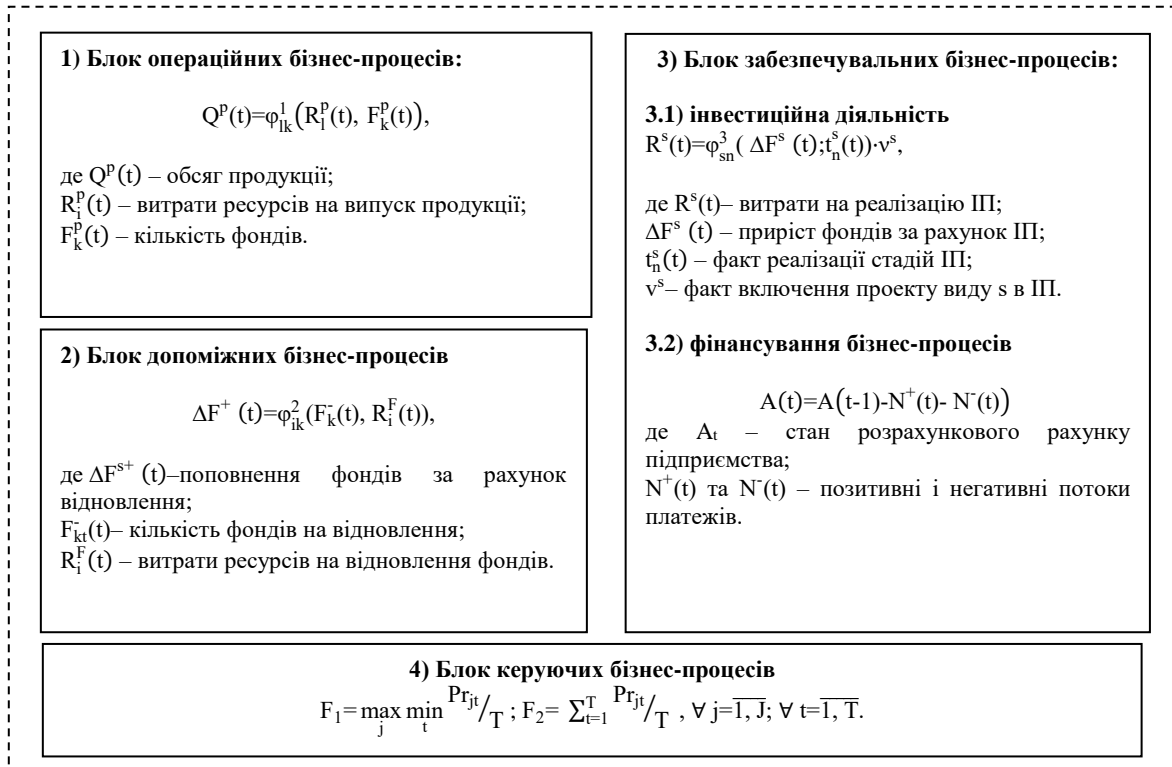


Рисунок 2. Блокова структура математичної моделі узгодження бізнес-процесів  
 Джерело: власна розробка автора

Особливістю перших двох блоків є взаємозгодження різних за своєю економічною природою операційних та допоміжних бізнес-процесів. В моделі запропоновано ці процеси описати у вигляді відповідних виробничих функцій ( $\phi_{ik}^1$  та  $\phi_{ik}^2$ ) з взаємодоповнюючими ресурсами:

$$\phi_{ik}^1 = \min_{i, k} \left( \left\{ \frac{R_i^p(t)}{r_i^p(t)} \right\}, \left\{ \frac{F_k^p(t)}{f_k^p(t)} \right\} \right), \quad t = \overline{1, T}, \quad (1)$$

де  $R_i^p(t)$  – кількість ресурсу  $i$ -го виду для випуску продукції  $p$ ;  
 $r_i^p(t)$  – норма витрат ресурсу  $i$ -го виду на випуск продукції виду  $p$ ;  
 $F_k^p(t)$  – кількість фондів  $k$ -го виду для випуску продукції;  
 $f_k^p(t)$  – фондомісткість продукції.

За аналогією побудовано виробничу функцію поповнення ОВФ ( $\phi_{ik}^2$ ) для відтворювальної діяльності:

$$\phi_{ik}^2 = \min_{i \in I} \left\{ F_{ki}^-(t); \frac{R_{ik}^F(t)}{r_{ik}^F(t)}; \frac{F_k^F(t)}{f_k^F(t)} \right\}, \quad (2)$$

$$F_{ki}^-(t) = \gamma_k \cdot \Delta F_k^-(t) = \gamma_k (\alpha_k \cdot \bar{F}_k(t-1) + \beta_k \bar{F}_k(t-1)), \quad \forall i \in I, k \in K, t = \overline{1, T},$$

де  $\bar{F}_k(t)$  – кількість фондів в поточний момент часу;  
 $\bar{F}_k(t-1)$  – кількість фондів в попередній момент часу;  
 $\Delta F_k^-(t)$  – вибуття фондів;  
 $\alpha_k$  – керуючі змінні морального зносу фондів;  
 $\beta_k$  – керуючі змінні фізичного зносу фондів;

$\gamma_k$  – керуючі змінні частки зношених фондів на відновлення;

$R_{ik}^F(t)$  – витрати ресурсів на відновлення фондів;

$r_{ik}^F(t)$  – норми витрат ресурсу для поповнення фондів;

$F_k^F(t)$  – кількість основних фондів;

$f_k^F(t)$  – фондомісткість відновлених фондів для поповнення.

Розрахунок динаміки фондів здійснюється за допомогою керуючих змінних виведення з експлуатації фондів на випуск продукції та фондів основного та допоміжного бізнес-процесів за рахунок морального зносу ( $\alpha_k$ ) та фізичного зносу ( $\beta_k$ ). А також відновлення та поповнення через проведення ремонтів, що визначають вектори поповнення та вибуття фондів: та за допомогою введених в модель керуючих змінних, реалізація інвестиційних і інноваційних заходів, зокрема модернізацію обладнання (керуючі змінні  $\gamma_{kt}$ ).

Стосовно третього блоку – особливістю запропонованої блочної моделі є те, що для кожного етапу інвестиційного проекту, які можуть бути реалізовані з метою введення в експлуатацію нових високотехнологічних фондів, запропоновано застосовувати аналогічний попереднім блокам підхід. З цією метою запропоновано моделювати ІІ у вигляді відповідних функцій витрат ( $\psi_n^s$ ) як залежності між результатами інвестиційного проекту (прирост фондів) і мінімально необхідними витратами для реалізації цього проекту в кожний момент часу.

$$R_p^s(t) = \varphi_{sn}^3 \left( \frac{M^s \cdot \delta^s}{\Delta t_n^s}, t_n^s(t) \right) \cdot v^s \quad (3)$$

де  $R_p^s(t)$  – змінні витрати на реалізацію ІІ в момент часу  $t$ ;

$\psi_n^s$  – вектор-функція змінних витрат усіх факторів виробництва при реалізації  $n$ -ї стадії  $s$ -го проекту в розрахунку на один момент часу, тобто модель окремої стадії певного проекту;

$M^s$  – максимально можливий масштаб реалізації проекту  $s$ ;

$\delta^s$  – керуючі змінні, що визначають фактичний масштаб реалізації проекту;

$\Delta t_n^s$  – тривалість  $n$ -ої стадії проекту виду  $s$ ;

$t_n^s(t)$  – факт реалізації відповідної стадії  $n$  проекту  $s$ ;

$v^s$  – булеві змінні, що відображають факт включення проекту виду  $s$  в інвестиційну програму.

Такий підхід відрізняється від традиційних методів моделювання інвестиційних проектів, однак дає змогу суттєво спростити загальну структуру моделі.

Також, у моделі закладено механізм узгодження цих процесів із фінансовими можливостями підприємства. Фінансове забезпечення діяльності підприємства виступає інтегрованою господарською функцією, що формує основу для підтримання

цілісності та узгодженості всіх бізнес-процесів. Розподіл фінансових ресурсів за окремими напрямками – такими як підтримка інвестиційних проектів, реалізація капітальних ремонтів чи фінансування поточних виробничих операцій – має переважно умовний характер.

У межах запропонованого підходу фінансування розглядається як самостійний, постійно діючий бізнес-процес, об'єктом якого є поточний інтегральний дефіцит грошових ресурсів підприємства незалежно від причин його виникнення. У межах задачі узгодження бізнес-процесів підприємства це означає, що виробнича та інвестиційна діяльність повинні узгоджуватися з реальними фінансовими можливостями підприємства, формуючи стійку та збалансовану систему ресурсного забезпечення.

У структурі динамічної моделі функціонування підприємства, що активно впроваджує інновації, це означає, що фінансова підсистема має забезпечувати можливість виконання всіх необхідних платежів у кожний момент часу протягом усього планового періоду.

З урахуванням сформульованих припущень стан підприємства в кожний момент часу визначається сукупністю трьох ключових параметрів: рівнем сформованості основних виробничих фондів, обсягом грошових коштів на рахунках та характеристиками залучених фінансових ресурсів. У цьому контексті блок динамічних математичних залежностей охоплює кінцево-різницькі рівняння, що описують зміну та відтворення основних виробничих фондів, динаміку залишків на розрахункових рахунках, а також структуру й обсяги поточних фінансових зобов'язань. Такі залежності забезпечують відтворення часової логіки функціонування підприємства, дозволяючи формалізувати накопичувальні ефекти, інерційність процесів та реакцію виробничо-економічної системи на управлінські рішення.

Оптимізація результатів діяльності підприємства реалізується в блоці керуючих бізнес-процесів за допомогою цільових функцій (таких як прибуток та рентабельність). Запропонований блочний підхід до моделювання надає можливість використовувати  $n$ -критеріїв оптимальності. Враховуючи, що стратегічною метою функціонування підприємства є максимізація економічного результату впродовж розглянутого періоду, доцільним є застосування таких критеріїв оптимізації, які забезпечують вибір ефективного варіанта комплексного управління:

1) максимум чистого прибутку ( $F_1$ ):

$$F_1 = \max_j \min_t Pr_{jt} / T; \quad (4)$$

2) максимум середнього чистого прибутку ( $F_2$ ) (серед множини експериментів ( $j = \overline{1, J}$ ) на усьому періоді планування ( $t = \overline{1, T}$ ):

$$F_2 = \sum_{t=1}^T Pr_{jt} / T. \quad (5)$$

Запропонована модель формує задачу оптимального управління, яка в загальному випадку належить до класу багатокритеріальних частково-цілочислових задач динамічної оптимізації. Цільові функції та система обмежень у такій постановці визначаються алгоритмічно, оскільки формуються як результат імітаційного відтворення діяльності підприємства на основі відповідної імітаційної моделі. Для реалізації запропонованого у моделі багаточільового підходу до розв'язання задачі узгодження бізнес-процесів підприємства доцільним є використання принципу Парето-оптимальності. Як ключовий інструмент оптимізації господарської діяльності підприємства, описаної моделями такого типу, пропонується застосувати методи статистичних випробувань [2, 12].

Формування допустимих траєкторій управління, аналіз ефективності підприємства та вибір оптимальних альтернатив залишаються предметом подальших досліджень у напрямі оптимізаційних підходів, що спираються на динамічне імітаційне моделювання та статистичні методи прийняття рішень за невизначеності.

### Висновки

У ході дослідження встановлено, що наявні методичні підходи до моделювання бізнес-процесів виробничих підприємств не забезпечують належної інтеграції між операційними, інноваційними, інвестиційними та фінансовими процесами. Більшість моделей є надмірно агрегованими та не враховують динамічний і стохастичний характер реальної виробничо-економічної системи.

Запропоновано концепцію інтегрованої блокової математичної моделі, яка охоплює всі ключові бізнес-процеси підприємства та базується на процесному підході. Структура моделі передбачає подання кожного бізнес-процесу у вигляді спеціалізованого математичного блоку, пов'язаного з іншими через ресурсні та фінансові потоки. Виробничі, допоміжні та інвестиційні процеси запропоновано описувати за допомогою відповідних виробничих функцій, тоді як інноваційно-інвестиційні етапи – через функції витрат, що дозволяє забезпечити узгодженість між динамікою відтворення основних фондів та фінансовими обмеженнями.

Запропоновано фінансову діяльність підприємства розглядати не як окремий функціональний напрям, а як ключовий синхронізатор усіх бізнес-процесів. Застосування рекурентних міжчасових залежностей дає змогу відтворити динаміку виробничих та фінансових показників, а також врахувати накопичувальні ефекти та динамічність системи в умовах невизначеності.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність використання методів статистичних випробувань та імітаційного моделювання як інструментарію оптимізації та оцінювання ефективності управлінських рішень в умовах невизначеності. Отримані результати створюють основу для подальшого розвитку інтегрованих моделей узгодження бізнес-процесів та їх практичної реалізації для підтримки прийняття рішень на підприємствах.

### Abstract

The article substantiates the methodology and approach for constructing models to coordinate business processes of a manufacturing enterprise under conditions of internal and external uncertainty. It is shown that, unlike the traditional approach, where types of activities are considered in isolation, the business process concept allows analyzing the enterprise through logically structured flows of operations that create value for the end customer. This process-oriented perspective serves as the basis for developing a comprehensive mathematical model as a tool for optimizing business processes in dynamic conditions and under high levels of uncertainty.

The study proposes the concept of a modular integrated model of business processes, encompassing operational, auxiliary, supporting, and managerial processes, represented as interconnected mathematical structures. A distinctive feature of the approach is the representation of production, reproduction, and investment processes through production functions, which formalizes the interdependence of resource flows, financial constraints, and performance indicators. For investment and innovation projects, cost functions are used, integrated into the overall model structure, ensuring coordination between the dynamics of updating fixed assets and the enterprise's financial capabilities.

Within the proposed approach, financing is considered an independent, continuously operating business process, the object of which is the current integral deficit of the enterprise's monetary resources, regardless of its causes. This ensures alignment of production and investment activities with the enterprise's real financial capabilities, forming a stable and balanced system of resource support.

The model involves the use of recurrent mathematical relations describing temporal changes in production capacities, cash flows, and attracted financial resources. The dynamic (intertemporal) equations block includes finite-difference relationships for the reproduction of fixed assets, the dynamics of account balances, and the structure of financial obligations. This allows formalizing process inertia, cumulative effects, and the system's response to managerial decisions. To select optimal management solutions under uncertainty, the use of statistical testing and scenario modeling methods is justified.

The proposed model can serve as a basis for developing decision support systems at enterprises, providing integrated coordination of business processes under complex, dynamic, and uncertain conditions.

**Список літератури:**

1. Malinova Monika, Gross Steven, Mendling Jan (2022). A study into the contingencies of process improvement methods. *Information Systems*, Volume 104. 101880. ISSN 0306-4379. DOI: 10.1016/j.is.2021.101880.
2. Математичне та комп'ютерне моделювання економічних процесів: монографія / З.М. Соколовська, В.М. Андрієнко, І.Ю. Івченко, О.А. Клепікова, Н.В. Яценко; під заг. ред. З.М. Соколовської. Одеса: Астропринт. 2016. 308 с. (ISBN 978-966-190-334-9). URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/4001>.
3. Beerepoot Iris & Di Ciccio Claudio & Reijers Reijers, Hajo, et all. (2023). The biggest business process management problems to solve before we die. *Computers in Industry*. 146. 103837. DOI: 10.1016/j.compind.2022.103837
4. Корзаченко О.В. Моделювання бізнес-процесів підприємств: методології, підходи та методи. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Вип. 11. 2015. С. 171-175. URL: [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_11/41.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_11/41.pdf).
5. Dao, S.D., Abhary, K. & Marian, R. A Stochastic Production Scheduling Model for VCM Systems. (2016). *Intell Ind Syst*. Vol. 2. P. 85-101. DOI: 10.1007/s40903-016-0042-0.
6. Чижевська М.Б., Щербініна С.А., Красун Я.А. Застосування виробничої функції для аналізу діяльності промислового підприємства. Вип. 1. *Ефективна економіка*. 2022. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.93.
7. Заруба, В., & Чмерук, Т. Методи урахування невизначеностей попиту у моделях оперативного планування виробництва. *ВНТУ «Харківський політехнічний інститут» (економічні науки)* Вип. 2. 2024. С. 3-6. DOI: 10.20998/2519-4461.2024.2.3.
8. Єпіфанова І., & Дзеджула, В. Оптимізація виробничих процесів промислового підприємства. *Innovation and Sustainability*. Вип. 2. 2024. С. 6-10. DOI: 10.31649/ins.2024.2.6.10.
9. Robinson S. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Palgrave Macmillan, 2014. DOI: 10.1057/9781137328002.
10. Katchasuwanmanee, K., Cheng, K. & Bateman, R. (2016). Simulation based energy-resource efficient manufacturing integrated with in-process virtual management. *Chin. J. Mech. Eng.* 29, 1083–1089 DOI: 10.3901/CJME.2016.0714.080.
11. Соколовська З.М. Яценко Н.В. Прикладне імітаційне моделювання як аналітична основа прийняття управлінських рішень. *Бізнес Інформ*. № 6. 2013. С. 69-76.
12. Sinha, K., Suh, E.S. (2018). Pareto-optimization of complex system architecture for structural complexity and modularity. *Res Eng Design* 29, 123-141 DOI: 10.1007/s00163-017-0260-9.

**References:**

1. Malinova, M., Gross, S., & Mendling, J. (2022). A study into the contingencies of process improvement methods. *Information Systems*, 104, 101880. DOI: 10.1016/j.is.2021.101880 [in English].
2. Sokolovska, Z.M. (Ed.), Andriienko, V.M., Ivchenko, I.Yu., Klepikova, O.A., & Yatsenko, N.V. (2016). *Mathematical and computer modeling of economic processes* [Monograph]. Astroprint. Retrieved from: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/4001> [in Ukrainian].
3. Beerepoot, I., Di Ciccio, C., Reijers, H. A., et al. (2023). The biggest business process management problems to solve before we die. *Computers in Industry*, 146, 103837. DOI: 10.1016/j.compind.2022.103837 [in English].
4. Korzachenko, O.V. (2015). Modeling of enterprise business processes: Methodologies, approaches and methods. *Scientific Bulletin of Kherson State University*, 11, 171-175. Retrieved from: [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_11/41.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_11/41.pdf) [in Ukrainian].
5. Dao, S.D., Abhary, K., & Marian, R. (2016). A stochastic production scheduling model for VCM systems. *Intelligent Industrial Systems*, 2, 85-101. DOI: 10.1007/s40903-016-0042-0 [in Ukrainian].
6. Chyzhevskaya, M.B., Shcherbinina, S.A., & Krasun, Y.A. (2022). Application of the production function for the analysis of industrial enterprise activity. *Efficient Economy*, 1. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.93 [in Ukrainian].
7. Zaruba, V., & Chmeruk, T. (2024). Methods for accounting for demand uncertainties in operational production planning models. *Bulletin of NTU "Kharkiv Polytechnic Institute" (Economic Sciences)*, 2, 3-6. DOI: 10.20998/2519-4461.2024.2.3 [in Ukrainian].
8. Yepifanova, I., & Dzhedzhula, V. (2024). Optimization of production processes of an industrial enterprise. *Innovation and Sustainability*, 2, 6-10. DOI: 10.31649/ins.2024.2.6.10 [in Ukrainian].

9. Robinson, S. (2014). *Simulation: The practice of model development and use*. Palgrave Macmillan. DOI: 10.1057/9781137328002 [in English].
10. Katchasuwanmanee, K., Cheng, K., & Bateman, R. (2016). Simulation-based energy-resource efficient manufacturing integrated with in-process virtual management. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 29, 1083-1089. DOI: 10.3901/CJME.2016.0714.080 [in English].
11. Sokolovska, Z.M., & Yatsenko, N.V. (2013). Applied simulation modeling as an analytical basis for managerial decision-making. *Business Inform*, 6, 69-76 [in Ukrainian].
12. Sinha, K., & Suh, E.S. (2018). Pareto-optimization of complex system architecture for structural complexity and modularity. *Research in Engineering Design*, 29, 123-141. DOI: 10.1007/s00163-017-0260-9 [in English].

**Посилання на статтю:**

Івченко І.Ю. Побудова інтегрованої моделі оптимізації бізнес-процесів в умовах невизначеності та динамічних змін / І.Ю. Івченко // *Економіка: реалії часу*. Науковий журнал. – 2026. – № 1 (83). – С. 71-79. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/files/archive/2026/No1/71.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.01.2026.8. DOI: 10.5281/zenodo.18946022.

**Reference a Journal Article:**

Ivchenko I.Yu. *Development of an Integrated Model for Business Process Optimization Under Uncertainty and Dynamic Change* / I.Yu. Ivchenko // *Economics: time realities. Scientific journal*. – 2026. – № 1 (83). – P. 71-79. – Retrieved from: <https://economics.net.ua/files/archive/2026/No1/71.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.01.2026.8. DOI: 10.5281/zenodo.18946022.

