

ПАНОВИК Роман

Національний університет «Львівська політехніка»
e-mail: roman.r.panovyk@lpnu.ua

ПАНОВИК Уляна

Національний університет «Львівська політехніка»
<https://orcid.org/0000-0002-9663-4328>
e-mail: uliana.p.panovyk@lpnu.ua

ФЕДИНА Богдана

Національний університет «Львівська політехніка»
<https://orcid.org/0000-0001-9487-2851>
e-mail: bohdana.i.fedyna@lpnu.ua

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТНІМ ПРОЦЕСОМ ВНЗ

У статті розглянуто підхід до цифрової трансформації підсистеми управління освітнім процесом закладу вищої освіти на основі імітаційного моделювання. Розроблено структуровану модель, що охоплює ключові компоненти освітнього середовища: студентів, викладачів, дисципліни, групи, розклад та аналітичні контролери. Для реалізації поведінкової логіки використано середовище Python з бібліотекою SimPy, що дає можливість відтворити подієво-орієнтовану динаміку процесів. Представлено блок-схему моделі, початкові параметри, технічні фрагменти коду, а також результати експериментів за різними сценаріями: перевантаження викладачів, конфлікти в розкладі, обмеження ресурсів. Показано, що запропонована модель дає змогу виявляти критичні зони, оцінювати вплив змін на ефективність навчального процесу та слугує інструментом для прийняття управлінських рішень. Запропонований підхід розгортає нові можливості для гнучкого аналізу та оптимізації освітнього середовища ВНЗ.

Ключові слова: імітаційне моделювання, цифрова трансформація, освітній процес, управління вищою освітою, SimPy, Python, навчальні сценарії, розклад занять, студентська активність, оптимізація ресурсів.

PANOVYK Roman, PANOVYK Ulyana, FEDYNA Bohdana

Lviv Polytechnic National University

SIMULATION MODELING FOR THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE HIGHER EDUCATION PROCESS MANAGEMENT SUBSYSTEM

This paper presents an approach to the digital transformation of the higher education process management subsystem through simulation modeling. The proposed model captures the dynamic structure of the educational environment, incorporating key entities such as students, teachers, academic disciplines, study groups, class schedules, and administrative controllers. The architecture is implemented using the Python programming language in combination with the SimPy library, allowing the system to simulate event-driven interactions flexibly and scalable.

The simulation logic is based on a weekly academic cycle and includes processes such as attendance tracking, teaching load monitoring, scheduling conflicts resolution, and performance evaluation. A BPMN-based block diagram is provided to illustrate the system's logic, supported by fragments of code and parameterized settings. Initial conditions and simulation parameters are clearly defined to reflect realistic academic settings.

Several experimental scenarios are modeled, including teacher overload, room shortages, and overlapping schedules, with the aim of identifying system bottlenecks and testing adaptive responses. The results demonstrate that the simulation model enables early detection of critical areas in process planning and supports data-driven decision-making at the administrative level.

By combining simulation modeling techniques with adaptive control logic, this research offers a powerful tool for the analysis, optimization, and modernization of academic process management systems in higher education institutions. The approach enhances transparency, flexibility, and responsiveness of university operations within the context of ongoing digital transformation.

Keywords: simulation modeling, digital transformation, educational process, higher education management, SimPy, Python, learning scenarios, class scheduling, student activity, resource optimization.

Стаття надійшла до редакції / Received 12.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 04.05.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Цифрова трансформація вищої освіти породжує нові виклики щодо ефективного управління освітніми процесами у ВНЗ. Активне впровадження електронних платформ, моніторингових систем і аналітичних інструментів вимагає переосмислення підходів до проектування інформаційних систем, орієнтованих на підтримання навчально-методичного комплексу. Наявні рішення здебільшого зосереджені на описових або фрагментарних моделях, що не відображають повної динаміки взаємодії елементів освітнього процесу.

Більшість архітектурних підходів інтегрують лише структурні аспекти, ігноруючи поведінкову складову в умовах змін навантаження чи обмежених ресурсів. Логічні моделі часто мають статичний характер і не пристосовані до адаптивного або персоналізованого навчання. Це зумовлює потребу в нових підходах, здатних моделювати освітній процес не лише структурно, а й у динаміці – з урахуванням подій, взаємодій, циклічності та адаптації до зовнішніх умов.

Одним із найбільш перспективних інструментів у цьому контексті виступає імітаційне моделювання, що дає можливість створити формалізовану модель функціонування підсистеми управління освітнім процесом із подальшим відтворенням її поведінки в різних сценаріях. Застосування імітаційного підходу відкриває можливості не лише для аналізу ефективності окремих управлінських рішень, а і для тестування нових стратегій оптимізації, оцінювання навантаження на ресурси, виявлення конфліктних ситуацій у розкладі чи недоцільних рішень у розподілі освітнього навантаження. Водночас такий підхід сприяє створенню цифрових прототипів (так званих цифрових двійників) освітніх середовищ, що в подальшому можуть інтегруватися в загальну інфраструктуру автоматизованої інформаційної системи управління навчально-методичним комплексом.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

У сучасних дослідженнях спостерігається зростаючий інтерес до використання імітаційного моделювання в управлінні освітніми процесами ВНЗ. Аналіз актуальних джерел дає змогу виокремити кілька основних напрямів, що формують наукове підґрунтя даної тематики: моделювання освітніх процесів, оптимізація управлінських рішень, формалізація та цифровізація процесів, бізнес-моделювання в освіті та інші.

Автор [1] представила модель організації навчального процесу в педагогічному ЗВО, акцентуючи на структурно-логічному підході до планування. Публікації [2, 10] демонструють ефективність імітаційного підходу до оптимізації процесів реєстрації, розкладу й управління ресурсами, виявляючи вузькі місця і покращуючи логістику адміністрування. Дослідження в працях [7, 8] демонструють, як імітаційне моделювання застосовують для реінжинірингу освітніх бізнес-процесів, зокрема – призначення викладачів та планування навантаження, а в [5] автори розробили гнучкий інструментарій для аналізу сценаріїв функціонування ВНЗ під час пандемії, використовуючи агентне моделювання як основу для управлінських рішень. У працях [9], а також [4] досліджують цифрові моделі для обробки освітньої інформації та діяльності викладачів. Дослідники [6] пропонують формальний підхід до моделювання потоків навчання у МООС з використанням розширених мереж Петрі, що можна адаптувати до традиційного освітнього середовища. Ресурс [3] висвітлює використання BPMN для побудови моделей освітніх процесів, що дозволяє формалізувати типові адміністративні операції ВНЗ та сприяє їх оптимізації.

Сучасні публікації підтверджують доцільність застосування імітаційного моделювання як інструменту оптимізації освітніх процесів. Українські дослідження зосереджені на цифровізації та організації навчального середовища, тоді як закордонні – на поведінковому аналізі та підтримці управлінських рішень. Синтез підходів створює підґрунтя для розвитку автоматизованих систем управління НМК із функціями симуляції.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є розроблення науково обґрунтованого підходу до використання імітаційного моделювання для аналізу та оптимізації підсистеми управління освітнім процесом у структурі автоматизованої інформаційної системи, орієнтованої на навчально-методичний комплекс ВНЗ. У межах поставленої мети передбачено досягнення таких конкретних завдань: по-перше, проаналізувати сучасні підходи та інструменти моделювання, які застосовуються у сфері освітніх систем; по-друге, здійснити обґрунтований вибір програмного середовища для реалізації імітаційної моделі з урахуванням вимог до масштабованості, інтеграції та технічної адаптивності; по-третє, розробити формалізовану модель ключових процесів підсистеми управління та реалізувати її за допомогою вибраного інструментарію; по-четверте, провести серію експериментів для оцінки ефективності моделі в типових і критичних умовах функціонування освітнього середовища; і, нарешті, проаналізувати отримані результати з погляду потенціалу інтеграції моделі до повноцінної цифрової платформи ВНЗ.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Моделювання освітніх процесів у ВНЗ розглядається як методологічна основа для побудови автоматизованих систем управління, що забезпечують цілісність, адаптивність і масштабованість навчального середовища. Вибір типу моделі залежить від мети дослідження, рівня деталізації об'єкта моделювання, а також необхідності відтворення динаміки процесів у реальному часі. У сучасній практиці моделювання управлінських систем у вищій освіті домінують три основні типи моделей: аналітичні, дескриптивні (описові) та імітаційні. Їх порівняльні характеристики подано в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика основних типів моделей освітнього управління

Тип моделі	Основна мета	Метод реалізації	Приклади застосування	Обмеження
Аналітична	Формалізований розрахунок параметрів	Математичні рівняння, оптимізаційні функції	Розподіл навантаження, прогнозування бюджету	Низька адаптивність до зміни параметрів
Дескриптивна	Візуалізація структури процесів	BPMN/UML/DFD-схеми	Документування процесів, регламентування	Відсутність динаміки, тільки фіксований стан
Імітаційна	Відтворення поведінки системи	Агентне, дискретно-подієве або системне моделювання	Моделювання сценаріїв прийняття рішень	Потребує точних вхідних даних і ресурсів

Аналітичні моделі дають змогу знаходити числові оцінки ефективності функціонування окремих компонентів системи. Проте вони рідко враховують стохастичність, затримки, пріоритети та взаємозв'язки, які є характерними для живого освітнього середовища. Дескриптивні моделі застосовуються для опису поточної архітектури процесів. Вони широко використовуються на етапі проектування інформаційних систем у ВНЗ. Зокрема, моделі типу BPMN (Business Process Model and Notation) дозволяють формалізувати процеси планування, затвердження навчальних планів, формування розкладу, розподілу навантаження між викладачами тощо. Проте їх статичність не дає змоги дослідити динаміку змін системи в часі.

Натомість імітаційні моделі створюють умови для аналізу поведінки підсистем управління в умовах змін вхідних параметрів, зовнішніх впливів або критичних ситуацій. Вони особливо ефективні для: оцінювання навантаження на викладачів і аудиторний фонд; моделювання сценаріїв зміни розкладу; аналізу часу обробки заявок; тестування рішень без втручання в реальну систему. Використання імітаційних підходів дозволяє будувати моделі поведінкового типу, які враховують як взаємозалежність подій, так і нелінійні зворотні зв'язки, що типові для освітніх систем із високим ступенем адаптивності.

На основі проведеного аналізу доцільно використовувати імітаційне моделювання як базовий підхід для побудови моделі системного рівня управління навчально-методичним комплексом. Такий підхід враховує реальні сценарії роботи ВНЗ, змінність потоків, адаптивність розкладу та багатофакторність управлінських рішень. Його основу становить системна методологія, що поєднує процесний, об'єктно орієнтований і стохастичний підходи в межах сучасних інструментів моделювання.

Ефективна реалізація моделі потребує вибору відповідного програмного середовища, яке забезпечує гнучкість, інтеграцію, масштабованість і наочність. До найпоширеніших інструментів імітаційного моделювання належать SimPy, AnyLogic, Arena, NetLogo, Simulink — кожне з яких має свої специфічні переваги: від дискретно-подієвих до гібридних агентних моделей із графічним інтерфейсом і підтримкою роботи з базами даних (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика інструментів імітаційного моделювання

Інструмент	SimPy	AnyLogic	Arena	NetLogo	Simulink
Тип моделювання	Дискретно-подієве (Python)	Гібридне (агентне + події)	Дискретно-подієве	Агентне	Безперервне/гібридне
Масштабованість	Висока	Висока	Середня	Обмежена	Висока
Гнучкість сценаріїв	Висока	Висока	Обмежена	Середня	Обмежена
Інтеграція з іншими системами	Добра (через API, DB, JSON)	Висока (Java API, DB, GIS)	Середня	Обмежена	Висока (MATLAB інтеграція)
Візуалізація	Обмежена (кодова)	Висока	Висока	Середня	Висока
Особливості застосування	Легкий для інтеграції у веб/хмарні сервіси	Комерційне ПЗ, потужна візуалізація, підтримка анімації	Промислове використання, складна крива навчання	Навчальні середовища, моделювання поведінки	Інженерні задачі, неорієнтоване на бізнес-процеси

Згідно з технічними критеріями вибору середовища для імітаційного моделювання, оптимальними параметрами для задач цифрової освіти є масштабованість, гнучкість, інтегрованість та візуалізація. Масштабованість дозволяє моделювати як окремі підсистеми, так і комплексну архітектуру управління НМК. Гнучкість забезпечує варіативність сценаріїв, включаючи випадкові події, потоки студентів та конфлікти

розкладу. Інтегрованість дає можливість обмінюватися даними з іншими підсистемами ВНЗ, такими як електронні журнали або LMS. Візуалізація підтримує аналітичний та наочний супровід моделі. Серед розглянутих платформ SimPy демонструє високу гнучкість та інтегрованість завдяки роботі на мові Python, підтримці API-запитів, легкій інтеграції з Pandas, NumPy, веб фреймворками та хмарними базами даних. Оскільки основне завдання полягає не лише у створенні замкненої симуляції, а й у можливості подальшого впровадження в розподілене цифрове середовище ВНЗ, саме SimPy було обрано як інструмент для реалізації дослідної моделі.

Побудова імітаційної моделі підсистеми управління освітнім процесом передбачає не лише технічну реалізацію сценаріїв, а і глибоку попередню формалізацію компонентів системи, взаємозв'язків між ними, а також подій, які відображають динаміку освітньої діяльності. З огляду на складну організаційну структуру ВНЗ, така модель має охоплювати взаємодію адміністративних, викладацьких і студентських підсистем на різних рівнях керування, включаючи планування, моніторинг і реагування на ситуаційні зміни.

У рамках даного підходу запропоновано побудову об'єктно-подієвої моделі, у якій ключові елементи освітнього процесу реалізуються у вигляді класів об'єктів із визначеними атрибутами та логікою поведінки. Це дає змогу адаптувати модель до подальшого програмного впровадження в середовищі Python з використанням інструментів типу SimPy.

Система управління освітнім процесом у ВНЗ базується на взаємодії структурованих компонентів, кожен із яких виконує чітко визначену роль. Ключовим учасником є *студент* – активний елемент, який навчається, складає заліки, проходить модулі, подає звернення та формує потік подій у системі. Його дії безпосередньо пов'язані з *викладачем*, який проводить заняття, оцінює знання, надає консультації та взаємодіє зі студентами через систему. Студенти об'єднуються в *навчальні групи*, що діють відповідно до навчального плану й розкладу. *Дисципліни*, пов'язані з групами, мають визначені параметри: навантаження, типи занять, терміни. Усі ці події впорядковуються через *розклад* – ключовий координатор часу, ресурсів і учасників, на основі якого відбувається планування і моделювання процесу.

Методист відповідає за узгодження навчальних планів, коригування розкладу та контроль навантаження викладачів. *Деканат* використовує аналітичні дані системи для ухвалення управлінських рішень, перевірки звітності та формування офіційних документів. *Адміністратор* забезпечує технічну підтримку: конфігурує підсистеми, керує доступами, створює навчальні періоди. *Сервісні модулі* автоматизують обробку подій, моделюють типові сценарії (відвідування, оцінювання, запити), формують звіти та забезпечують зв'язок з іншими системами, зокрема, електронними журналами й LMS. Усі компоненти взаємодіють через потоки даних і подій, створюючи цілісну логіку цифрового управління освітнім процесом, що дозволяє автоматизувати ключові функції і гнучко адаптуватися до потреб сучасного ВНЗ.

Кожна подія в системі – це запуск певного процесу, що змінює стан об'єкта. Наприклад, подія *заняття()* змінює статус студента, тригерить облік відвідування та створює новий запис у журналі. Модель передбачає врахування таких змінних (табл. 3).

Таблиця 3

Змінні моделі

Параметр	Тип даних	Опис	Приклади значень
n студентів	int	Кількість учасників групи	10–35
T заняття	float	Тривалість пари	1.5 (години)
p пропуску	float [0–1]	Ймовірність відсутності	0.1–0.25
R_розклад	матриця	Просторово-часове розміщення занять	R[i][j] = аудиторія, час
Z_успішність	float	Ймовірність складання модуля/іспиту	0.7–0.95
F_запитів	подія	Інтенсивність звернень до адміністрації	5–15/тиждень
C навантаження викладача	int	Сумарне навантаження	до 600 годин/семестр

Ці змінні формують основу для ініціалізації процесів, генерації подій і моделювання взаємодії об'єктів у системі. Для демонстрації базових принципів побудови імітаційної моделі нижче наведено спрощений фрагмент коду, реалізований із використанням середовища Python та бібліотеки SimPy. Він ілюструє, як на основі визначених змінних відбувається запуск симуляційної події – проведення заняття між студентом і викладачем.

```
import simpy

def заняття(env, студент, викладач):
    print(f"{env.now}: Студент {студент} відвідує пару з {викладач}")
    yield env.timeout(1.5)
    print(f"{env.now}: Заняття завершено")
```

```
env = simpy.Environment()
env.process(заняття(env, "Петренко", "Іваненко"))
env.run()
```

Цей базовий приклад легко масштабувати до складнішої багатопотокової моделі з кількома сценаріями: зміна розкладу, перенесення пар, контроль академічної заборгованості, динамічне формування звітів тощо. Щоб забезпечити цілісність та послідовність симуляційних подій, важливо враховувати загальну логіку життєвого циклу навчального процесу (рис. 1). Така схема дає можливість наочно показати основні фази функціонування моделі, зв'язки між об'єктами та ключові етапи взаємодії учасників освітнього процесу.



Рис. 1. Структурна схема логіки життєвого циклу навчального процесу

У результаті така формалізація дає змогу перейти від абстрактного бачення підсистеми до повноцінної симуляційної моделі із чітко визначеними класами об'єктів, сценаріями взаємодії, параметрами та подіями, адаптованими до реалізації в Python-інфраструктурі.

Імітаційна модель управління освітнім процесом у ВНЗ реалізована в середовищі Python із використанням бібліотеки SimPy, яка надає функціональність для побудови дискретно-подієвих моделей. Основною метою реалізації є симуляція ключових операцій у рамках навчального тижня: планування, проведення занять, облік відвідування, контроль навантаження та формування звітності. Особливу увагу приділено дотриманню логіки подій, пов'язаних із реальними сценаріями роботи ВНЗ.

Архітектура моделі охоплює основні об'єкти та зв'язки, що визначають функціонування навчального середовища. До ключових елементів належать студенти – агенти, які реагують на розклад і формують події відвідування, викладачі – носії навчального навантаження з обліком проведених занять, дисципліни з параметрами тривалості, типу занять і належності до груп, а також самі групи як колективні одиниці. Розклад реалізується у вигляді матриці подій, що відображає послідовність занять упродовж тижня. Важливу роль відіграють контролери – функціональні блоки, які керують обліком подій, розподілом навантаження та генерацією звітності.

Логіка моделі побудована як послідовність подій, що моделюють навчальний тиждень. Спочатку відбувається ініціалізація об'єктів і розкладу, далі реалізується цикл симуляції по днях, у межах якого запускаються заняття, перевіряється присутність студентів і оновлюється навантаження. Наприкінці кожного дня зберігаються результати, а після завершення тижня формуються підсумкові звіти. Така структура (рис. 2) дає можливість моделювати як внутрішні події (відвідування, активність), так і зовнішні тригери (запити, перевантаження), забезпечуючи гнучке та адаптивне управління навчальним процесом.

Для запуску імітаційної моделі було задано початкові параметри, які відображають типову структуру освітнього процесу. Зокрема, кількість студентів у групі становить 25 осіб, кількість викладачів – 4, а тривалість одного заняття встановлена на рівні 1,5 години. Нормативне тижневе навантаження для викладача визначено як 20 годин. Ймовірність присутності студента на занятті становить 0,85. Симуляція охоплює 5 навчальних днів із чотирма заняттями на день, що дозволяє змоделювати повноцінний навчальний тиждень.

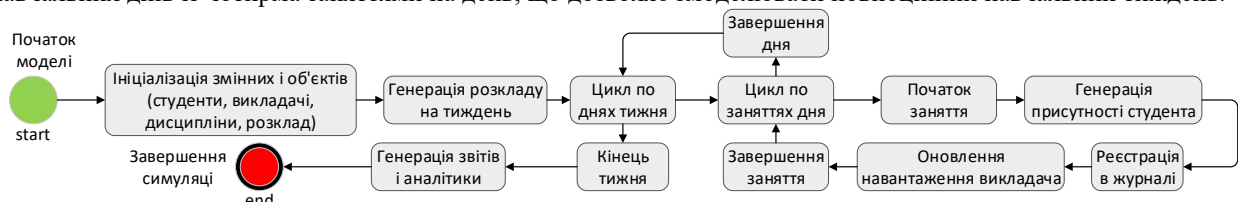


Рис. 2. BPMN-схема логіки імітаційної моделі освітнього процесу

Модель побудована таким чином, щоб гнучко адаптуватися до різних сценаріїв: змінювати кількість груп або викладачів, регулювати параметри відвідуваності, варіювати структуру розкладу та вводити додаткові обмеження. Це робить її універсальним інструментом для тестування поведінки системи за різних умов.

Далі наведено окремі фрагменти технічної реалізації моделі, які демонструють логіку запуску подій у середовищі Python / SimPy.

Класи базових об'єктів:

```
class Student:
    def __init__(self, name, p_attend=0.85):
        self.name = name
        self.p_attend = p_attend
        self.attendance = []

class Teacher:
    def __init__(self, name):
        self.name = name
        self.load = 0
        self.log = []

class Discipline:
    def __init__(self, title, duration=1.5):
        self.title = title
        self.duration = duration
```

Функція заняття з фіксацією подій:

```
def run_lesson(env, student, teacher, discipline):
    yield env.timeout(discipline.duration)
    attended = random.random() < student.p_attend
    student.attendance.append(attended)
    teacher.load += discipline.duration
    print(f"{env.now:.1f}: {student.name} - {'присутній' if attended else 'відсутній'} - {discipline.title}")
```

Запуск моделі:

```
env = simpy.Environment()
students = [Student(f"Студент-{i}") for i in range(25)]
teacher = Teacher("Іваненко")
discipline = Discipline("Алгоритми")

for s in students:
    env.process(run_lesson(env, s, teacher, discipline))

env.run()
```

Побудована імітаційна модель є структурно завершеною та узгодженою з логікою, представленою в блок-схемі, яка відображає покрокову взаємодію основних об'єктів системи під час моделювання навчального процесу. Кожен етап блок-схеми має чітке відображення в програмному коді, що забезпечує прозорість внутрішніх механізмів і трасування всіх подій.

На початковому етапі здійснюється ініціалізація змінних і створення об'єктів основних класів – Student, Teacher та Discipline. Для кожного з них задаються відповідні параметри, зокрема, ймовірність відвідування студентами, норми навантаження для викладачів і тривалість занять. Далі формується тижневий розклад, який може бути створений вручну або автоматично з урахуванням уникнення конфліктів і перевантажень. Цей розклад реалізується як матриця занять, що включає інформацію про час, групу, викладача та дисципліну.

Після цього модель переходить у режим симуляції, де кожен день розглядається як окрема одиниця моделювання. У межах одного дня активуються заняття згідно з розкладом. Для кожного заняття викликається подія run_lesson, яка ініціює всі подальші дії: генерується подія присутності студента за допомогою умовного оператора random.random() < p_attend, результат фіксується в журналі – список student.attendance, після чого відбувається оновлення навантаження викладача через додавання тривалості заняття до його сумарного обсягу (teacher.load += duration).

Кожне заняття завершується і передає управління до наступного в межах поточного дня, або завершується симуляція добового циклу. Наприкінці тижня відбувається збір статистики – підрахунок відвідуваності, перевірка нормативного навантаження, виявлення потенційних проблем, таких як низька активність студентів чи перевищення допустимих меж навантаження. Завершення симуляції супроводжується вивантаженням даних або формуванням звітів, які можуть бути використані для подальшого аналізу або

інтегровані в інші інформаційні системи ВНЗ. Отже, кожен етап, представлений у блок-схемі, має пряме програмне відображення, що забезпечує логічну цілісність і модульність побудованої моделі. Це дозволяє не лише ефективно реалізовувати окремі сценарії, а й масштабувати модель для майбутніх досліджень, оптимізації освітніх процесів і впровадження в цифрову інфраструктуру закладів вищої освіти.

Реалізована система на основі симуляції дає можливість відстежувати відвідуваність студентів, контролювати перевищення навантаження викладачів, виявляти неактивних студентів, оцінювати ефективність використання ресурсів і реагувати на нештатні ситуації, такі як конфлікти розкладу чи перевантаження. У перспективі можливе розширення функціоналу за рахунок модулів динамічного оновлення розкладу, обробки запитів і автоматичного прийняття рішень. Таким чином, модель виступає гнучким інструментом аналізу та управління освітнім середовищем ВНЗ, здатним адаптуватися до змін і підтримувати різноманітні сценарії. Застосування Python і бібліотеки SimPy забезпечує експериментальну гнучкість і відкриває можливості для інтеграції з інформаційними системами університету.

Для оцінки ефективності запропонованої імітаційної моделі було проведено серію експериментів, спрямованих на імітацію типових сценаріїв функціонування підсистеми управління освітнім процесом. Метою цих експериментів стало дослідження реакції системи на зміну навантаження, виникнення конфліктних ситуацій у розкладі та обмеження ресурсної бази. У рамках дослідження було розглянуто чотири характерні сценарії: *нормальне навантаження*, за якого система функціонує стабільно, а кількість викладачів та аудиторій відповідає реальним потребам; *перевантаження викладачів*, при якому обсяг занять збільшується без розширення кадрового складу; *конфлікти в розкладі*, що моделюють перетини занять у часі для одних і тих самих ресурсів; а також *обмеження аудиторій*, що передбачає зменшення кількості доступних приміщень.

За результатами моделювання для кожного сценарію було обчислено такі показники: середній рівень відвідуваності студентів, рівень перевищення допустимого навантаження викладачів у відсотках та кількість конфліктів у розкладі, що визначаються як одночасні заняття для одного викладача або групи. Підсумки моделювання за зазначеними сценаріями наведено на рис. 3.



Рис. 3. Результати моделювання різних сценаріїв функціонування підсистеми управління освітнім процесом

За результатами імітаційного моделювання оцінено ефективність функціонування освітнього процесу за чотирма сценаріями. Нормальне навантаження забезпечує найкращі показники – відвідуваність 84%, мінімальна кількість конфліктів (1) і низький рівень перевантаження викладачів (10%). Перевантаження призводить до зниження відвідуваності до 76%, зростання конфліктів до 5 і перевантаження персоналу до 35%. Конфлікти в розкладі демонструють найбільші ризики – 69% відвідуваності, 12 конфліктів і 50% перевищення навантаження. Обмеження аудиторій викликають помірне зниження ефективності – відвідуваність 72%, 7 конфліктів, навантаження – 28%. Модель підтверджує чутливість системи до ресурсних та організаційних обмежень. Найбільший негативний вплив мають конфлікти в розкладі та перевантаження викладачів. Збалансовані сценарії забезпечують стабільність і високу ефективність освітнього процесу.

Результати свідчать, що імітаційна модель дозволяє виявляти критичні зони в процесі управління ще до реального запуску освітнього циклу. Вона дає змогу протестувати навантаження без ризику для освітнього процесу, адаптивно оцінювати ефективність змін у плануванні та виявляти вузькі місця в розподілі ресурсів. Застосування такої моделі сприяє зменшенню кількості конфліктів у розкладі, оптимізації навантаження і підвищенню загальної керованості системою. У такий спосіб, імітаційне моделювання виступає не лише як інструмент аналізу, а й як ефективний засіб підтримки управлінських рішень у цифровому середовищі ВНЗ.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У межах дослідження було розроблено та реалізовано імітаційну модель підсистеми управління освітнім процесом ВНЗ, яка охоплює основні аспекти планування, навантаження, відвідуваності та

ресурсного забезпечення. Використання середовища Python + SimPy забезпечило відтворення поведінкової логіки освітньої системи у вигляді подієво-орієнтованої структури, здатної адаптуватися до різних сценаріїв. У результаті побудовано компонентно-орієнтовану модель із чіткими об'єктами та зв'язками, реалізовано управлінську логіку на основі блок-схеми, проведено симуляційні експерименти та створено графічні моделі для обґрунтування рішень.

Запропонований підхід поєднує імітаційне моделювання з адаптивною логікою сценаріїв, що створює нові можливості для цифрової трансформації ВНЗ. Модель враховує часову динаміку, поведінкову стохастичність, змінність ресурсів і гнучкість управління, чим вигідно відрізняється від традиційних систем. Отже, створена модель є не лише аналітичним інструментом, а і практичним засобом для підтримки управлінських рішень у цифровому середовищі ВНЗ. У подальших дослідженнях планується реалізація автоматичної оптимізації розкладу, інтеграція з реальними даними, візуалізація через вебінтерфейс та впровадження механізмів адаптивного прийняття рішень.

Література

1. Савченко, Н. С. Моделювання технології організації навчального процесу у закладі вищої педагогічної освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*, 2022. (204), с. 67-71. URL: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-204-67-71>
2. Al-Therwah R. M. F. et al. (2025). Simulation modeling of student enrolment to solve operations problems: A case of the Saad Al- Abdullah Academy in Kuwait. *Alexandria Engineering Journal*. 2025. Vol. 119. P. 413–424. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.02.007>
3. Business Process Modeling in Higher Education Institutions. *BPMInstitute.org. The Authority in Training and Certification for BPM, BA and DBiz*. URL: https://www.bpmi-institute.org/resources/articles/business-process-modeling-higher-education-institutions/?srsltid=AfmBOorLFePhWGCuHJPJTtQhGjsKTJEIdQAcAV-0ud11hVwQLIDR_VvK4
4. Istomina N. M. The use of information and communication technologies in the activities of a modern teacher: a view from the inside. *Engineering and Educational Technologies*. 2022. Vol. 10, no. 1. P. 53–64. URL: <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2022.10.01.05>
5. Kharkwal H. et al. University Operations During a Pandemic: A Flexible Decision Analysis Toolkit / *ACM Transactions on Management Information Systems*. 2021. Vol. 12, no. 4. P. 1–24. URL: <https://doi.org/10.1145/3460125>
6. Lomazova I., Mitsyuk A., Sharipova A.. (2021). Modeling MOOC learnflow with Petri net extensions. DOI: [10.48550/arXiv.2111.04419](https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.04419)
7. Renna P., Colonnese C. A Simulation-Driven Business Process Reengineering Framework for Teaching Assignment Optimization in Higher Education—A Case Study of the University of Basilicata. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 5. P. 2756. URL: <https://doi.org/10.3390/app15052756>
8. Renna P., Izzo C. Using business process management simulation to support continuous improvements in higher education management system. *International Journal of Management in Education*. 2018. Vol. 12, no. 4. P. 315. URL: <https://doi.org/10.1504/ijmie.2018.095127>
9. Vitiuk I., Istomina N. Functional Model's Development of the Information System for Data Processing the Publishing Activity of Higher Educational Institutions Teacher. *Engineering and Educational Technologies*. 2023. Vol. 11, no. 1. P. 76–86. URL: <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2023.11.01.06>
10. Vuksic V., Tomicic-Pupek K., Pejic Bach M.. (2018). Simulation based business processes analysis in higher education institutions. 1266-1271. DOI: [10.23919/MIPRO.2018.8400229](https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400229)

References

1. Savchenko, N. S. (2022). Modeling the organization technology of the educational process in a higher pedagogical education institution. *Scientific Notes. Series: Pedagogical Sciences*, (204), 67–71. URL: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-204-67-71>
2. Al-Therwah R. M. F. et al. (2025). Simulation modeling of student enrolment to solve operations problems: A case of the Saad Al- Abdullah Academy in Kuwait. *Alexandria Engineering Journal*. 2025. Vol. 119. P. 413–424. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.02.007>
3. Business Process Modeling in Higher Education Institutions. *BPMInstitute.org. The Authority in Training and Certification for BPM, BA and DBiz*. URL: https://www.bpmi-institute.org/resources/articles/business-process-modeling-higher-education-institutions/?srsltid=AfmBOorLFePhWGCuHJPJTtQhGjsKTJEIdQAcAV-0ud11hVwQLIDR_VvK4
4. Istomina N. M. The use of information and communication technologies in the activities of a modern teacher: a view from the inside. *Engineering and Educational Technologies*. 2022. Vol. 10, no. 1. P. 53–64. URL: <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2022.10.01.05>
5. Kharkwal H. et al. University Operations During a Pandemic: A Flexible Decision Analysis Toolkit / *ACM Transactions on Management Information Systems*. 2021. Vol. 12, no. 4. P. 1–24. URL: <https://doi.org/10.1145/3460125>
6. Lomazova I., Mitsyuk A., Sharipova A.. (2021). Modeling MOOC learnflow with Petri net extensions. DOI: [10.48550/arXiv.2111.04419](https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.04419)
7. Renna P., Colonnese C. A Simulation-Driven Business Process Reengineering Framework for Teaching Assignment Optimization in Higher Education—A Case Study of the University of Basilicata. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 5. P. 2756. URL: <https://doi.org/10.3390/app15052756>
8. Renna P., Izzo C. Using business process management simulation to support continuous improvements in higher education management system. *International Journal of Management in Education*. 2018. Vol. 12, no. 4. P. 315. URL: <https://doi.org/10.1504/ijmie.2018.095127>
9. Vitiuk I., Istomina N. Functional Model's Development of the Information System for Data Processing the Publishing Activity of Higher Educational Institutions Teacher. *Engineering and Educational Technologies*. 2023. Vol. 11, no. 1. P. 76–86. URL: <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2023.11.01.06>
10. Vuksic V., Tomicic-Pupek K., Pejic Bach M.. (2018). Simulation based business processes analysis in higher education institutions. 1266-1271. DOI: [10.23919/MIPRO.2018.8400229](https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400229)