

УДК 004.94

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-10

**Крисанов А.О., Гуменюк П.О.**

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ SIMPY

*Застосування моделей дискретних виробничих процесів з використанням SimPy має значний потенціал у багатьох галузях, таких як виробництво, логістика, транспорт, обслуговування та інші. Воно дозволяє прогнозувати роботу систем, знаходити оптимальні рішення, визначати критичні точки та розробляти стратегії для покращення ефективності та якості процесів. Робота присвячена використанню SimPy як інструменту для моделювання дискретних виробничих процесів та аналізу ефективності різних стратегій управління процесами в реальних умовах, з використанням статистичних методів. З використанням бібліотеки SimPy виконано моделювання очікування вантажів на пункті зважування; дискретного виробничого процесу; системи обслуговування з полошками обладнання та процесом ремонту.*

**Ключові слова:** моделювання, дискретний процес, Python, CIW, SimPy.

**Постановка проблеми.** Однією з ключових проблем, з якою стикаються виробничі компанії, є нестабільність та непередбачуваність попиту на продукцію. Моделювання дискретних виробничих процесів дозволить компаніям ефективніше відповідати на зміни в попиті та зменшити витрати на запаси та складські приміщення. Моделювання також дозволить компаніям проводити тестування різних стратегій та оптимізувати процеси без ризику втрат часу та коштів на фізичні експерименти. Врахування різноманітних чинників, які впливають на виробничі процеси, є складною задачею. Моделювання дискретних виробничих процесів з використанням SimPy дозволить уникнути цієї складності та забезпечити точність моделей.

Таким чином, актуальність роботи полягає в тому, що в сучасних умовах виробництво дедалі більше орієнтоване на автоматизацію та оптимізацію процесів. Для досягнення цих цілей необхідно мати точні та надійні моделі виробничих процесів, які дозволять аналізувати ефективність різних рішень та стратегій.

Метою роботи є розробка моделей дискретних виробничих процесів з використанням бібліотеки SimPy, що дозволить відтворювати реальні умови та аналізувати різні стратегії управління процесами. Дослідження фокусується на використанні SimPy як інструменту для моделювання дискретних виробничих процесів та аналізу ефективності різних стратегій управління процесами в реальних умовах, з використанням статистичних методів.

**Основне завдання та одержані результати роботи.** Моделюючи різні сценарії та тестуючи різні виробничі стратегії, компанії можуть приймати рішення на основі даних, які ведуть до покращення їхньої діяльності. Крім того, моделювання дискретних виробничих процесів може допомогти компаніям виявити вузькі місця та обмеження у своїх виробничих системах, що дозволить їм вжити заходів для усунення або пом'якшення цих проблем. Загалом, моделювання дискретних виробничих процесів може бути потужним інструментом для підвищення конкурентоспроможності виробничої організації.

Таке моделювання можна здійснювати за допомогою різних методів, зокрема імітаційного моделювання, алгоритмів оптимізації та статистичного аналізу [1-3].

SIMUL8 та AnyLogic - це дві потужні програми для імітаційного моделювання, які мають свої переваги та недоліки. Обидві програми надають багато можливостей для оптимізації виробничих процесів, але можуть бути дорогими та складними у використанні [4-5].

Для моделювання та симуляції виробничих процесів пропонується використати бібліотеку імітаційного моделювання дискретних подій CIW (Ciw Queueing Library), написану на мові Python, для моделювання та аналізу відкритих мереж масового обслуговування [6], та фреймворк дискретно-подієвого моделювання на основі процесів на мові Python SimPy. Він використовується для моделювання та імітації систем, які передбачають взаємодію декількох процесів у часі [7]. Їх можна використовувати для отримання цінної інформації про продуктивність систем реального світу. Застосуємо вказані інструменти для моделювання дискретних процесів.

**Моделювання очікування вантажівок на пункті зважування.** Використаємо SimPy для симуляції прибуття та обслуговування вантажівок на пункті зважування, розташованому на узбіччі шосе.

Завдання: встановити час очікування вантажівки своєї черги на зважування.

Перші змінні визначають параметри моделі, такі як: кількість ваг в пункті зважування, доступних для вантажівок; максимальна кількість вантажівок, які можуть бути у черзі до ваг; середній час між прибуттями вантажівок; середній час обслуговування вантажівки на ваговій лінії; стандартне відхилення часу обслуговування вантажівки на ваговій лінії; час моделювання.

Після визначення параметрів моделі визначається дві функції:

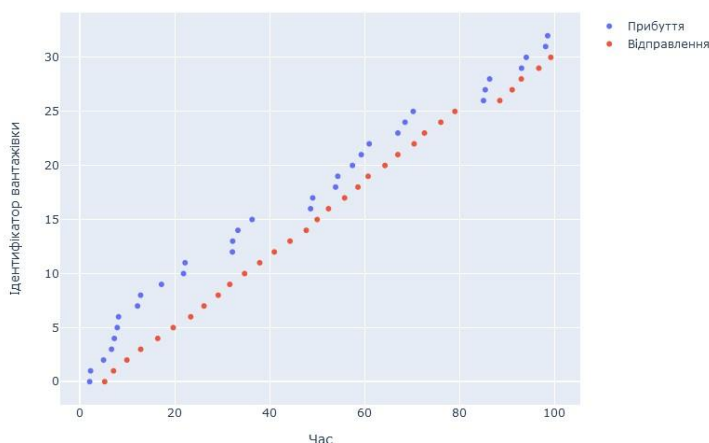
- функція `truck_arrival` - генерує випадкові часи прибуття вантажівок на пункт зважування, використовуючи експоненціальний розподіл. Після того, як вантажівка прибуває, вона реєструється в списку прибуття, створюється новий ідентифікатор вантажівки, і запускається процес `weighing`, який відповідає за зважування вантажівки на вазі;

- функція `weighing` - визначає час очікування в черзі на вагу та її довжину, використовуючи запит до `scales_lines.request()`. Після отримання дозволу на зважування, проводиться зважування, при цьому використовується нормальний розподіл, і визначається час, який машина проводить на вазі. Після зважування функція запам'ятовує час відправлення вантажівки та час перебування в системі (час відправлення мінус час прибуття).

Потім налаштовується середовище SimPy та визначається ресурс (вагова лінія) та процес прибуття вантажівки. Після цього запускається симуляція.

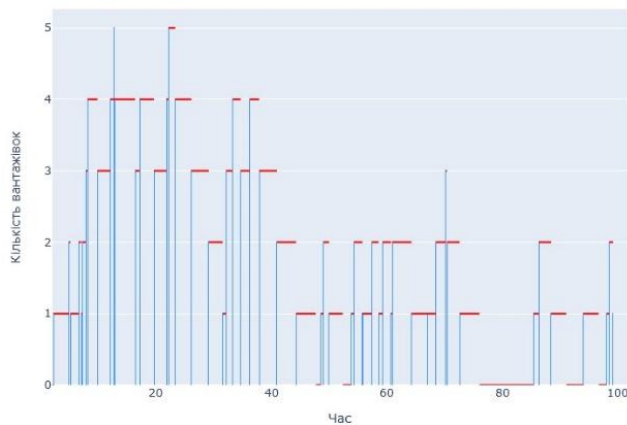
За результатами моделювання побудовано графіки залежності прибуття та відправлення вантажівок від часу на пункті зважування (рис. 1, а) та зміни кількості вантажівок у черзі з часом (рис. 1,б).

Прибуття та відправлення на пункті зважування



а)

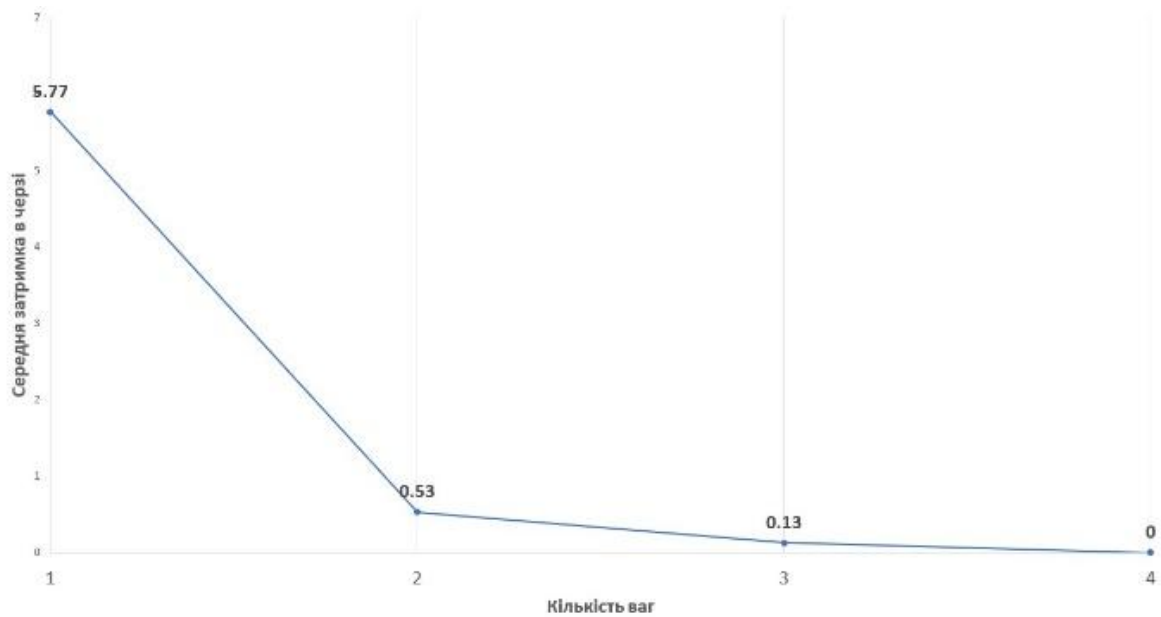
Кількість вантажівок у черзі



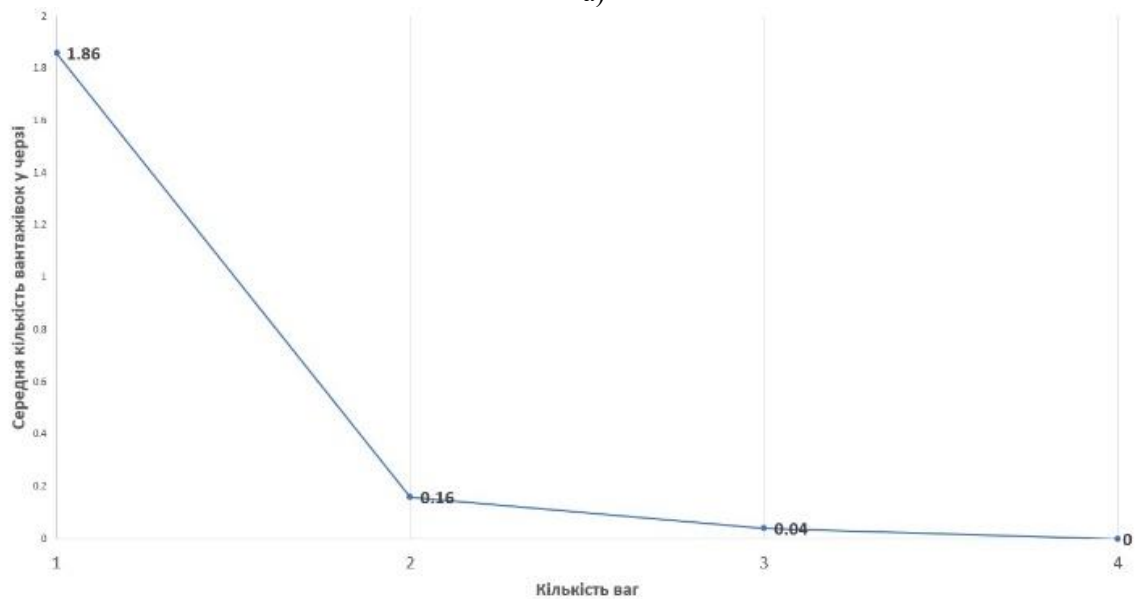
б)

Рисунок 1— а) залежність часу прибуття (відправлення) вантажівок на пункт зважування; б) залежність кількості вантажівок в черзі від часу.

Для визначення впливу кількості ваг на час перебування вантажів в черзі на зважування будемо змінювати кількість ваг від однієї до чотирьох (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 2 – а) залежність затримки в черзі від кількості ваг; б) залежність кількості вантажівок в черзі від кількості ваг.

Як видно з представлених графіків, дві ваги на пункті зважування повністю виключають чергу.

**Моделювання виробничого процесу.** Застосуємо SimPy для моделювання роботи невеликої майстерні, яка спеціалізується на виготовленні виробів.

Надходження замовлень на вироби відбувається згідно з розподілом Пуассона із середньою швидкістю 1 завдання кожні 10 годин. У майстерні є два робочих місця з одним робітником на верстат, і всі роботи вимагають обробки на обох типах верстатів. Припускається, що час обробки на кожному робочому місці має експоненціальний розподіл із середнім значенням 7 і 5 годин відповідно. Майстерня планує завдання згідно з політикою FIFO (першим прийшов, першим вийшов).

Завдання: провести симуляційне дослідження даної системи та отримати деякі показники продуктивності.

Дані для симуляції : середня кількість робіт, що приходять за годину; середній час обробки на першому робочому місці (в годинах); середній час обробки на другому робочому місці (в годинах); кількість робочих місць першого типу; кількість робочих місць другого типу.

Процес обслуговування складається з наступних етапів:

1. Запланувати час входу завдання на перше робоче місце і додати інформацію про це у відповідний список.

2. Запросити доступ до першого робочого місця, додати інформацію про запланований час запиту у відповідний список і почекати, поки робоче місце буде вільним.

3. Запланувати час виходу з першого робочого місця, додати інформацію про це у відповідний список і звільнити перше робоче місце.

4. Запланувати час входу завдання на друге робоче місце і додати інформацію про це у відповідний список.

5. Запросити доступ до другого робочого місця, додати інформацію про запланований час запиту у відповідний список і почекати, поки робоче місце буде вільним.

6. Запланувати час виходу з другого робочого місця, додати інформацію про це у відповідний список і звільнити друге робоче місце.

Функція `calc_measures()` проводить ряд розрахунків показників продуктивності для двох робочих місць: середній час очікування в черзі для кожного з робочих місць; відсоток використання кожного з робочих місць; середню довжину черги з урахуванням часу, проведеного кожним клієнтом у черзі.

Процес моделювання полягає в тому, щоб повторити симуляцію виробничого процесу декілька разів з різними початковими умовами та записати результати для аналізу.

Для отримання залежності затримки на першому робочому місці будемо змінювати середню кількість робіт, що приходять за годину з 0.1 до 0.5 з кроком 0.1 (рис. 3).

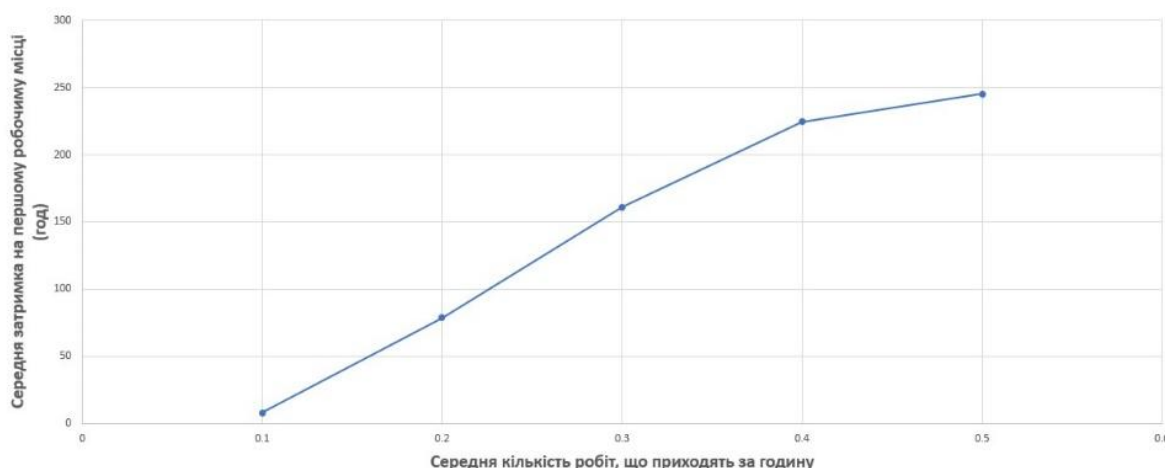


Рисунок 3– Залежність затримки на першому робочому місці від кількості робіт.

Залежність між кількістю робіт і затримкою на першому робочому місці не може бути описана простою лінійною функцією. Значення затримки збільшується швидше при збільшенні кількості робіт. Наприклад, збільшення кількості робіт з 0.1 до 0.2 призводить до значного збільшення затримки на першому робочому місці з 8.09 до 78.79.

Існує певний момент, коли збільшення кількості робіт не призводить до значного збільшення затримки на першому робочому місці. Наприклад, збільшення кількості робіт з 0.4 до 0.5 призводить лише до незначного зростання затримки з 224.42 до 245.28.

Побудуємо також залежність довжини черги на першому робочому місці від кількості робіт (рис. 4).

Значення довжини черги збільшується швидше при збільшенні кількості робіт. Наприклад, збільшення кількості робіт з 0.1 до 0.2 призводить до значного збільшення довжини черги на першому робочому місці з 0.81 до 10.75.

При певних значеннях кількості робіт збільшення не призводить до значного збільшення довжини черги на першому робочому місці. Наприклад, збільшення кількості робіт з 0.4 до 0.5 призводить лише до незначного зростання довжини черги з 59.55 до 86.



Рисунок 4– Залежність затримки на першому робочому місці від кількості робіт.

**Моделювання системи обслуговування з поломками обладнання та процесом ремонту.** Застосуємо SimPy для моделювання виробництва, на якому обладнання періодично виходить з ладу і потребує ремонту. Немає наявне виробниче приміщення, де працюють верстати. Вони випадково виходять з ладу та ремонтуються трьома ремонтниками, час, затрачений на ремонт, є випадковим. Кожен верстат виходить з ладу в середньому кожні 10 годин, при цьому час між відмовами верстатів є експоненціальним і заданий.

Основна мета моделювання полягає в оцінці різних характеристик системи, таких як середня затримка в черзі, середня кількість верстатів у черзі, середній час ремонту та середній час перебування верстатів поза системою.

Дані для симуляції: середній час між поломками обладнання; кількість працівників, які відповідають за ремонт; час на ремонт; дискретні ймовірності для часу ремонту; список довірчих інтервалів, які використовуються для обчислення довірчих інтервалів середніх значень; список абсолютних похибок, які використовуються для порівняння з половиною ширини довірчих інтервалів (використовується для перевірки критерію закінчення); максимальна кількість прогонів моделі; загальний час моделювання в годинах; кількість поломок для зупинки моделювання на етапі перевірки. Отримана модель дозволяє дослідити різні характеристики системи обслуговування з поломками обладнання та процесом ремонту, наприклад середню затримку в черзі; середню кількість верстатів у черзі; середній час ремонту. Ці характеристики можуть бути використані для оцінки ефективності та продуктивності системи обслуговування. Моделювання дозволяє провести багато прогонів та обчислити середні значення цих характеристик, а також обчислити довірчі інтервали, що надають додаткову інформацію про варіацію та достовірність результатів.

Крім того, ця модель дає можливість регулювати різні параметри системи обслуговування, такі, як середній час між поломками обладнання, кількість працівників, які відповідають за ремонт, що дозволяє вивчати вплив змін цих параметрів на характеристики системи. Для отримання залежності кількості верстатів в черзі на ремонт від часу між поломками обладнання будемо міняти час між поломками обладнання з 10 до 20 годин з кроком 2 (рис. 5).

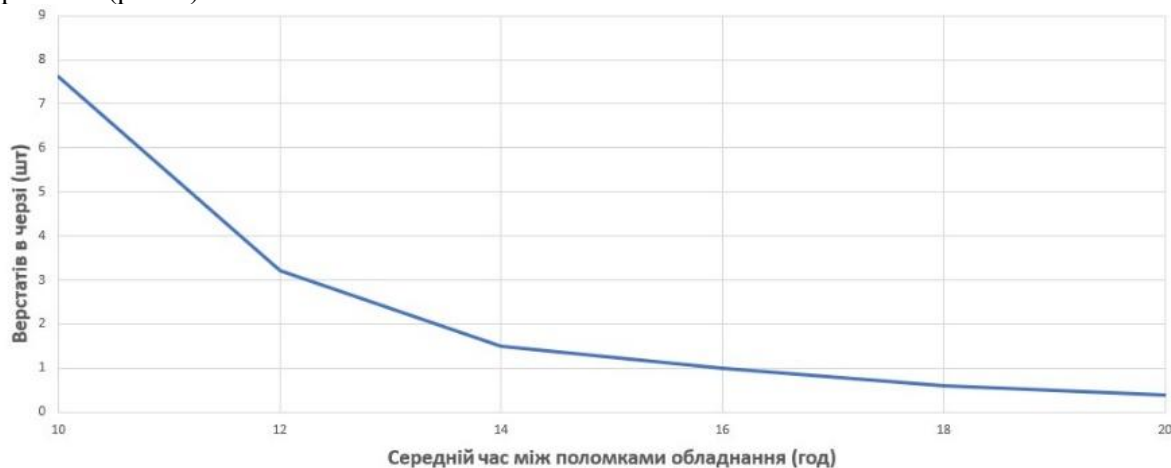


Рисунок 5– Залежність кількості верстатів в черзі на ремонт від часу між поломками обладнання.

Результати моделювання показують залежність між середнім часом між поломками обладнання і кількістю верстатів у черзі. Загальна тенденція полягає в тому, що при збільшенні середнього часу між поломками обладнання кількість верстатів у черзі зменшується. Наприклад, при середньому часі між поломками обладнання в 10 годин, у системі в середньому перебуває 7.63 верстата в черзі. З іншого боку, при середньому часі між поломками обладнання в 20 годин, кількість верстатів у черзі зменшується до 0.39.

Розглянемо також, як залежить затримка в черзі на ремонт від кількості ремонтників (рис.6). Будемо збільшувати кількість ремонтників від 3 до 6.

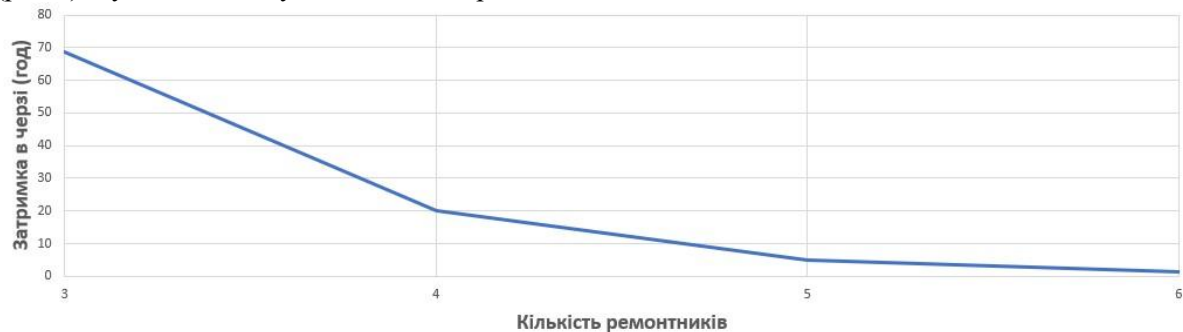


Рисунок 6– Залежність затримки в черзі на ремонт від кількості ремонтників.

Загалом, зі збільшенням кількості ремонтників спостерігається зменшення затримки в черзі. Також можна відзначити, що затримка в черзі різко зменшується при переході від 3 до 4 ремонтників, а потім зменшення стає менш інтенсивним зі збільшенням кількості ремонтників. Це може вказувати на те, що початково кожен додатковий ремонтник має значний вплив на зменшення затримки в черзі, але з подальшим збільшенням кількості ремонтників масштаб впливу зменшується.

**Висновок.** Таким чином, моделювання дискретних виробничих процесів з використанням SimPy є ефективним інструментом для аналізу виробничих систем. Воно дозволяє прогнозувати роботу систем, знаходити оптимальні рішення, визначати критичні точки та розробляти стратегії для покращення ефективності та якості процесів.

#### Інформаційні джерела

1. [Christopher A. Chung](#). Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach. CRC Press; 2019. 604 p.
2. Steven Nahmias. Production and Operations Analysis. McGraw-Hill/Irwin; 2008. 816 p.
3. Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson, David M. Nicol. Discrete-Event System Simulation. Pearson, 2014. 648 p.
4. Kieran Concannon, Mark Elder, Kim Hindle, Jillian Tremble, Stanley Tse. Simulation Modeling with SIMUL8. Copyright Visual Thinking International, 2007. 415 p.
5. Michael J. Lewis, Vladimir S. Zabrodin. Modelling and Simulation in Logistics: AnyLogic Applications. Springer, 2020.
6. Cassandras G., Lafortune S. Introduction to Discrete-Event Systems. Springer, 1999.
7. SimPy. Discrete event simulation for Python. URL: <https://simpy.readthedocs.io/en/latest/> (дата звернення: 20.05.2023).

**Krysanov A., Humeniuk P.**

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

#### MODELING DISCRETE MANUFACTURING PROCESSES USING SIMPY

*The use of discrete manufacturing process models using SimPy has significant potential in many industries, such as manufacturing, logistics, transportation, service, and others. It allows predicting the operation of systems, finding optimal solutions, identifying critical points, and developing strategies to improve the efficiency and quality of processes. This paper is devoted to the use of SimPy as a tool for modeling discrete production processes and analyzing the effectiveness of various process control strategies in real-world conditions using statistical methods. Using the SimPy library, we modeled the waiting time for trucks at a weighing station; a discrete production process; a service system with equipment breakdowns and a repair process.*

**Key words:** modeling, discrete process, Python, CIW, SimPy.