

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-24>

УДК 004.94

О. Г. Зінов'єва, ст. викл.

ORCID: 0000-0003-3760-8952

С. В. Шаров, канд. пед. наук

ORCID: 0000-0001-5732-9980

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: olha.zinovieva@tsatu.edu.ua

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ

Анотація. Імітаційне моделювання дає можливість ефективно аналізувати й оптимізувати логістичні процеси в аграрному секторі. У статті описана модель, яка дає змогу оцінити вплив різних факторів на ефективність системи, включно з продуктивністю техніки, ємністю складів та станом транспортної інфраструктури. Результати моделювання можуть бути використані для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на мінімізацію втрат урожаю та підвищення ефективності всього ланцюжка постачання. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення моделі, врахування додаткових факторів (наприклад, погодних умов) та валідацію моделі на основі реальних даних.

Статтю присвячено застосуванню імітаційного моделювання для аналізу й оптимізації логістичних процесів та управління ланцюгами поставок в аграрному секторі. Аграрний сектор характеризується високим ступенем невизначеності, яка пов'язана з кліматичними умовами, коливаннями врожайності, сезонністю попиту й іншими факторами, що суттєво ускладнює планування та прийняття рішень. Традиційні методи оптимізації часто виявляються недостатньо ефективними в умовах такої невизначеності. Імітаційне моделювання дає можливість подолати ці обмеження, надаючи інструмент для аналізу складних систем та оцінки впливу різних факторів на ефективність роботи сільськогосподарського підприємства.

Ключові слова: моделювання, логістика, імітаційна модель, оптимізація, GPSS.

Постановка проблеми. Аграрний сектор характеризується сезонністю виробництва, значними втратами врожаю на етапах збору, зберігання та транспортування, а також складністю прогнозування обсягів виробництва. Неефективність логістики може привести до втрат продукції, що не тільки загрожуює стабільності попиту на сільськогосподарську продукцію, але й створює загрозу для фінансових втрат для аграрних підприємств. Однією з важливих задач у цьому контексті є оптимізація збору, зберігання та транспортування зерна. Для вирішення цих проблем потрібне впровадження сучасних технологій, серед яких особлива увага приділяється імітаційному моделюванню. Імітаційні моделі допомагають менеджерам краще зрозуміти та передбачити динаміку процесів, що, зі свого боку, сприяє більш ефективному управлінню ресурсами.

В умовах аграрного сектора, де прогнозування попиту та пропозицій часто пов'язане з великим ступенем невизначеності, використання імітаційних моделей відкриває нові можливості. Це дає змогу фермерам і сільгосппідприємствам оцінити ризики й адаптувати свої стратегії поведінки до постійно мінливих умов ринку.

Аналіз останніх досліджень. Останнім часом зростає цікавість до питань імітаційного моделювання в агрономії та логістиці. Останні дослідження демонструють широке застосування імітаційного моделювання в аграрному секторі для вирішення завдань різного рівня складності: від оптимізації окремих процесів до моделювання всього ланцюжка постачання, включно з обліком ризиків та невизначеностей, та інтеграцію з іншими методами (машинне навчання). У роботах Коковіхіна С. В. [1], Сербія В. К [2], Ушкаленко І. М. [3] розглядалися

питання моделювання окремих агротехнічних процесів. Проблематика логістичних процесів в аграрному секторі також знайшла своє відображення у працях Великодного Д. О. [4], Солодихіна С. В., Хорошуна В. В. [5], де розглядаються підходи до підвищення ефективності управління ланцюгами постачання в агропромисловому комплексі шляхом застосування імітаційного моделювання.

Дослідження в цій галузі також стосуються використання різних інструментів імітаційного моделювання. Наприклад, робота Лубко Д. В., Зінов'євої О. Г. [6] присвячена використанню GPSS в імітаційному моделюванні в сільськогосподарському виробництві.

У міжнародній практиці також багато уваги було присвячено питанню оптимізації логістичних ланцюгів постачання в аграрній сфері. У роботах Ebadian M. et al. [7], Chen I., Yu H. [8], Nilsson D. [9], Yang B. [10], Garcia-Flore R. et al. [11] акцентовано увагу на можливості зниження витрат і покращення швидкості поставок завдяки використанню методів комп'ютерного моделювання.

Однак багато досліджень обмежені використанням спільних імітаційних платформ або не враховують специфіки окремих аграрних культур і регіонів. Недостатньо уваги приділяється розробці та валідації моделей на основі реальних даних.

Формулювання мети статті. Метою статті є аналіз сучасних підходів до використання імітаційного моделювання в логістичних процесах аграрного сектора. У дослідженні розглядаються основні методи та моделі, що дають змогу оптимізувати транспортування, складське зберігання й управління ресурсами. Також визначаються перспективи впровадження імітаційного моделювання для підвищення ефективності логістичних систем у сільському господарстві.

Основна частина. Ефективність роботи будь-якого сільськогосподарського підприємства залежить від раціональної організації всіх виробничих етапів. Особливу увагу слід приділити процесу збирання врожаю, який традиційно є найбільш трудомістким та витратним, що потребує ретельного планування та контролю матеріальних, фінансових і трудових ресурсів. Оптимізацію цього складного процесу, як і багатьох інших аспектів сільськогосподарського виробництва, можна досягти за допомогою імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання дає можливість створювати детальні та реалістичні віртуальні моделі виробничих процесів, що відображають усі нюанси, починаючи від моменту збирання врожаю та закінчуючи зберіганням і транспортуванням зібраної продукції. Така модель дає змогу програвати різні сценарії, варіюючи параметри (наприклад, кількість задіяної техніки, чисельність робочої сили, графіки роботи, методи збирання тощо). Це дає можливість оцінити вплив кожного із цих факторів на загальну ефективність процесу, виявити вузькі місця та потенційні проблеми ще до їх виникнення в реальному виробництві. Наприклад, імітаційна модель може відобразити вплив різних погодних умов на швидкість збирання, оцінити оптимальну кількість комбайнів для забезпечення максимальної продуктивності без простоїв, прогнозувати втрати врожаю за різних варіантів зберігання, а також змодельовати логістичні ланцюжки, оптимізуючи маршрути транспортування зерна до елеваторів і складів. Ба більше, модель дозволяє оцінити економічну ефективність різних стратегій, порівнюючи витрати на ресурси з обсягом зібраного та збереженого врожаю.

В організації зберігання зібраного врожаю імітаційне моделювання допомагає вибрати найбільш ефективні методи та технології, що гарантують збереження якості продукції та мінімізацію втрат. Завдяки цьому можна заздалегідь передбачити та запобігти виникненню можливих проблем, забезпечивши максимально ефективні умови зберігання та збереження високої якості продукції. Зрештою використання імітаційного моделювання дає змогу сільськогосподарському підприємству підвищити рентабельність виробництва, знизити витрати та збіль-

шити прибуток, забезпечуючи раціональне використання всіх доступних ресурсів. Це особливо актуально в сучасних умовах, коли ефективність та оптимізація є ключовими факторами успіху в сільському господарстві.

Комп'ютерне моделювання відіграє все більш важливу роль в оптимізації різних процесів, і однією з ефективних платформ для цього є система імітаційного моделювання GPSS (General Purpose Simulation System). За допомогою GPSS можна створювати детальні моделі складних систем, вона надає можливість дослідникам вивчати їхню поведінку в різних умовах і сценаріях. Ця гнучкість є дуже цінною під час аналізу динамічних систем, де традиційні методи аналізу можуть бути неефективними. Зокрема, застосування GPSS в аграрному секторі, а саме в оптимізації логістичних ланцюжків, відкриває широкі можливості підвищення ефективності та прибутковості.

Розглянемо застосування GPSS для моделювання логістичної системи, пов'язаної зі збиранням, зберіганням і транспортуванням зернових культур. Модель описує процес від збирання врожаю до постачання на елеватор. Результати моделювання можуть показати, які вузькі місця існують у системі, де можна оптимізувати роботу техніки та як покращити координацію між різними етапами процесу. Використання моделі GPSS для аналізу логістичної системи дає змогу не тільки оцінити поточний стан системи, але і спрогнозувати ефективність різних змін і стратегій, що істотно знижує ризики, пов'язані з впровадженням нових рішень. Результати моделювання, отримані за допомогою GPSS, надають цінну інформацію для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

На рис. 1 представлено фрагмент моделі GPSS.

```
A      GENERATE ,20
        TRANSFER FN$P_polomki
        ADVANCE 120,60
        MARK M1
        TEST L X$Ubr,5000
        SAVEVALUE Ubr_S+, (1.65+(RN1/1000)#3)
        ADVANCE 40
        QUEUE Cher_tran
        SEIZE RozpK
        SAVEVALUE Bunker,1
        TEST E X$Bunker,0
        DEPART Cher_tran
        RELEASE RozpK
        ADVANCE 20,5
        TRANSFER ,A
        GENERATE ,13
        ASSIGN 2,P1
```

Рис. 1. Фрагмент моделі GPSS

Моделювання починається, коли комбайни і транспорт у полі, а завершується, коли зерно вивезено на елеватор. Модель передбачає можливі поломки комбайнів, після ремонту або оминаючи його, транзакт (комбайн) приступає до збиранню врожаю. Після збору та вивантаженню зерна на транспорт комбайни містяться в список користувача DOM.

Другий сегмент моделі описує модель забезпечення перевезення зерна з поля до елеватора. Таким чином, до кінця збирання всі комбайни перебувають у списку користувача DOM, а весь транспорт – у черзі перед елеватором. Після обслуговування транзактів в пристрої ELEVATOR вони знищуються в блоці TERMINATE і процес моделювання завершується.

Після декількох прогонів моделі система GPSS надає статистичні дані: середній час очікування транспорту на завантаження та вивантаження зерна, коефіцієнт використання ресурсів (комбайнів, вантажівок).

Побудована модель дає змогу проаналізувати ефективність використання ресурсів та оптимізувати часові витрати на кожному етапі.

Висновки. Імітаційне моделювання стає потужним інструментом для оптимізації логістики й управління ланцюжками постачання в аграрному секторі. Вона дає можливість ідентифікувати слабкі місця в системі, прогнозувати зміни попиту та пропозиції, а також оптимізувати процеси зберігання й транспортування.

Застосування мов програмування, зокрема GPSS, дає змогу створити високоточну модель, що сприятиме підвищенню ефективності та рентабельності. Приклади успішних випадків застосування свідчать, що правильна адаптація імітаційних моделей може призвести до значних економічних вигод.

Проте для досягнення позитивних результатів потрібно враховувати безліч факторів і забезпечувати високу якість вхідних даних. Розвиток і застосування імітаційного моделювання сприятиме кращому розумінню виробничих процесів, а отже, підвищенню ефективності аграрного сектора загалом.

Список використаних джерел

1. Коковіхін С. В. Оптимізація режимів зрощення основних сільськогосподарських культур з використанням імітаційного моделювання та програмних засобів. *Зрошуване землеробство*. 2010. № 53. С. 107–116.
2. Сербій В. К. Імітаційне моделювання роботи ґрунтообробних робочих органів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2018. № 8. С. 18–24.
3. Ушкаленко І. М. Особливості моделювання в сільськогосподарському виробництві з врахуванням ризику. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2020, № 1. С. 119–134. <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2020-1-8>.
4. Великодний Д. О. Підвищення ефективності управління ланцюгом постачання в АПК з використанням імітаційного моделювання в логістичних процесах. *Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів : збірник тез*. м. Київ, Україна, 25–29 березня 2019 року. Київ, 2019. С. 98–100.
5. Солодухін С. В., Хорошун В. В. Використання імітаційних моделей в управлінні логістичними процесами на підприємстві. *Економіка та суспільство*. 2018. С. 1096–1107.
6. Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г. Проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 13, т. 1.
7. Ebadian M. et al. A new simulation model for multi-agricultural biomass logistics system in bioenergy production. *Biosystems engineering*. 2011. Vol. 110. No. 3. P. 280–290.
8. Chen J., Yu H. Performance simulation and optimization of agricultural supply chains. *2013 International Conference on Information Science and Cloud Computing*. IEEE, 2013. P. 131–137.
9. Nilsson D. Discrete event simulation as a performance analysis tool in agricultural logistics systems. *IFAC Proceedings Volumes*. 2001. Vol. 34. No. 26. P. 19–24.
10. Yang B. Machine learning-based evolution model and the simulation of a profit model of agricultural products logistics financing. *Neural Computing and Applications*. 2019. Vol. 31. P. 4733–4759.
11. García-Flores R. et al. Using logistic models to optimize the food supply chain. *Modeling food processing operations*. Woodhead Publishing, 2015. P. 307–330.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2025 р.



O. Zinovieva, S. Sharov
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

SIMULATION MODELING OF LOGISTICS IN THE AGRICULTURAL SECTOR

Summary

Simulation modeling allows for effective analysis and optimization of logistics processes in the agricultural sector. The article describes a model that allows for the assessment of the impact of various factors on the efficiency of the system, including equipment productivity, warehouse capacity, and the state of transport infrastructure. The modeling results can be used to make informed management decisions aimed at minimizing crop losses and increasing the efficiency of the entire supply chain. Further research can be aimed at improving the model, including additional factors (for example, weather conditions) and validating the model based on real data.

The article is devoted to the application of simulation modeling for the analysis and optimization of logistics processes and supply chain management in the agricultural sector. The agricultural sector is characterized by a high degree of uncertainty associated with climatic conditions, yield fluctuations, seasonality of demand, and other factors, which significantly complicates planning and decision-making. Traditional optimization methods often prove to be insufficiently effective in conditions of such uncertainty. Simulation modeling overcomes these limitations by providing a tool for analyzing complex systems and assessing the impact of various factors on the efficiency of an agricultural enterprise.

Keywords: modeling, logistics, simulation model, optimization, GPSS.