УДК 656

Кічкін О.В.

*(старший викладач Східноукраїнського національного університету імені
Володимира Даля)*

Кічкіна О.І., к.т.н.

(доцент Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля)

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПОРТНОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМІНАЛУ МОРСЬКОГО ПОРТУ

У статті подана імітаційна модель зернового терміналу морського порту, створена у середовищі AnyLogic 8.5 PLE. Взаємодія створених агентів-моделей складає логіку взаємодії різних видів транспорту та виробничо-складських систем зернового терміналу морського порту. На основі проведеного за допомогою імітаційної моделі експериментального дослідження роботи зернового терміналу морського порту в різних технологічних умовах була підтверджена її адекватність з урахуванням взаємодії різних видів транспорту та економічних показників роботи.

Ключові слова. *Імітаційна модель, зерновий термінал, взаємодія видів транспорту, аналітичне дослідження, система підтримки прийняття рішень, інформаційно-аналітичний блок.*

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. З початку 2019/20 маркетингового року станом на 8 травня 2020 року Україна відправила на експорт 51474 тис. т зернових і зернобобових. Даний показник на 8165 тис. т перевищує результат за аналогічний період минулого року. Важливу роль у технологічному забезпеченні обробки експортних зернових вантажів відіграють морські порти та їх зернові термінали, зокрема. При цьому особливістю технологічного забезпечення роботи зернових терміналів є необхідність прийняття як оперативних, так і довгострокових рішень в умовах неповної інформації та наявності ризиків технологічного та природного походження.

Проблеми та пов'язані з ними задачі удосконалення технологічних процесів та управління в портах розглядали та вирішували як вітчизняні, так і зарубіжні учені.

В роботах учених Шибаєва О.Г., Кириллової О.В., Постана М.Я. розглянуті питання удосконалення роботи портофлоту, оптимальних режимів обслуговування суден, раціональних схем завантаження суден та оптимізації технологічних процесів в портах на базі теорії досліджень операцій, методів теорії систем масового обслуговування. Вирішення задач управління процесами та взаємодією видів транспорту в портах на базі імітаційного моделювання запропоновано ученими Долідзе І., Гогіашвілі П., Леквеїшвілі Г., Малоксіано М.О., Семеновим К.М. Вирішення задач удосконалення роботи зернових терміналів в порту присвячені роботи учених Мурадян А.О., Гаркуша Г.Г., Гассельберг М.О., Синельщикова О.В. При зростаючому попиті на перевезення зернових вантажів ритмічність постачань та згодженість ланок логістичних ланцюгів не є сталою, що в свою чергу впливає на узгодженість та ритмічність технологічних процесів в порту, приводить до ситуацій в яких виникає необхідність прийняття обґрунтованих, раціональних, а іноді компромісних рішень. Тому актуальним є створення ефективного інструменту прийняття рішень у роботі зернового терміналу морського порту на базі сучасних інформаційних технологій з урахуванням ризиків та випадкових факторів переробки зернових вантажів.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-10

Мета і завдання дослідження. Створення імітаційної моделі зернового терміналу морського порту як інструменту підтримки прийняття рішень в реальних умовах роботи.

Згідно поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- створена імітаційна модель зернового терміналу морського порту за допомогою агентної парадигми в проектному середовищі AnyLogic 8.5 PLE;
- створена база даних для забезпечення імітаційної моделі зернового терміналу морського порту необхідною інформацією та накопичення інформації результатів моделювання;
- створено програмне забезпечення аналітичного дослідження результатів імітаційних експериментів моделі зернового терміналу морського порту.

Матеріали та методи дослідження. Загальний опис імітаційної моделі зернового терміналу включає наступний основний набір технологічних операцій:

- Розвантаження зерна з автотрейлерів, що надходять до автомобільних силосів: автотрейлер очікує, поки не стане доступною відповідна конвеєрна лінія автосилосів. Після цього вибирається автомобільний силос і вивантажується зерно. Після заповнення автомобільного силосу до 90 відсотків його потужності розпочинається процес вивантаження зерна в головні силоси.
- Вивантаження зерна з поїзда: поїзд доставляє зерно, і процес вивантаження в основні силоси починається негайно.
- Вивантаження зерна з головних силосів на судно: корабель причалує до одного з доступних причалів, кожен трюм судна може містити лише один тип зерна, однак типи зерна в різних трюмах можуть бути різними.

Реалізація дискретно-подійного агента обробки автотрейлерів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту представлена на рис. 1.

Рис. 1. Реалізація дискретно-подійного агента обробки автотрейлерів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту

Фактично цей агент реалізує класичну СМО, яка обробляє заявки (автотрейлери з зерном), що прибувають на зерновий термінал порту та вивантажуються в проміжні автосилоси для подальшого вивантаження в основні силоси. Важливо відзначити, що процедура вивантаження в автосилоси та основні (причальні) силоси відбувається за допомогою конвеєрної системи терміналу. На рис 2 представлено агент імітаційної моделі конвеєрної системи зернового терміналу морського порту, створений за допомогою бібліотеки моделювання процесів AnyLogic 8.5 PLE[3].

Рис. 2. Агент імітаційної моделі конвеєрної системи зернового терміналу морського порту

При цьому потокові діаграми агентів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту, які відтворюють логіку завантаження в конвеєрну систему терміналу та вивантаження на судна з конвеєрної системи представлені нижче на рис. 3.

Рис. 3. Потокові діаграми агентів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту, які відтворюють логіку завантаження в конвеєрну систему терміналу та вивантаження на судна

Логіка проходження зернових вантажів через систему силосів та конвеєрів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту подана нижче на рис. 4.

Рис. 4. Логіка проходження зернових вантажів через систему силосів та конвеєрів імітаційної моделі зернового терміналу

Реалізація дискретно-подійного агента обробки поїздів з зерном імітаційної моделі зернового терміналу морського порту представлена на рис. 5.

Рис. 5. Реалізація дискретно-подійного агента обробки поїздів з зерном імітаційної моделі зернового терміналу морського порту

Процедура відвантаження зернових через 2 причали терміналу морського порту передбачала створення дискретно-подійного агента завантаження суден (рис. 6)

Рис. 6. Дискретно-подійний агент завантаження суден на причалі зернового терміналу

Та створення модулів-агентів відвантаження зерна з головних силосів до трюмів суден-зерновозів (рис. 7 та рис.8).

Рис. 7. Модуль-агент роботи конвеєра на причалі зернового терміналу

Рис. 8. Модуль-агент завантаження трюму судна зерновоза на причалі зернового терміналу

Взаємодія розглянутих агентів-моделей складає логіку взаємодії різних видів транспорту та виробничо-складських систем зернового терміналу морського порту. Параметризація та функціональний склад моделі зроблені таким чином.

Параметр: *silosCapacity* – місткість основного зернового силосу має значення за умовчанням 5000(т).

Параметр: *autoSiloCapacity* – місткість зернового силосу, куди розвантажується автотрейлер після прибуття, має значення за умовчанням 1000(т).

Параметр: *autoSiloThr* – гранична місткість зернового силосу, куди розвантажується автотрейлер після прибуття, після досягнення якої починається процес вивантаження в головні силоси на причалі (має значення за умовчанням $0,75 * \text{autoSiloCapacity}$).

Змінна: *bilgeCapacity* – місткість трюму судна-зерновоза, куди розвантажується зерно з головних силосів на причалі, має значення за умовчанням 2000(т).

Параметр: *conveyorSpeed* – технічна швидкість конвеєрної системи має значення за умовчанням 10(т/год).

Параметр: *truckCapacity* – місткість трака-зерновоза має значення за умовчанням 125(т).

Параметр: *trainCapacity* – місткість поїзда-зерновоза має значення за умовчанням 1000(т).

Функція: *rescheduleTrucks* – реалізує логіку обробки(розвантаження) траків-зерновозів

Функція: *rescheduleTrain* – реалізує логіку обробки(розвантаження) поїздів з зерном

Функція: *isAbleToUnloadInstantly* – повертає логічне значення “істина”, якщо існує транспорт з зерном готовий для вивантаження.

Функція: *isAbleToUnload* – повертає логічне значення “істина”, якщо існує силос готовий для вивантаження транспорту.

Функція: *initializePiers* – повертає номер причалу для вивантаження зерна з головних силосів.

Функція: *anyCanGoToUnload* – повертає номер трака готового для вивантаження.

Функція: *canGoToUnload* – повертає логічне значення «істина» для трака готового вивантажуватися.

Змінна: *nRows* –кількість конвеєрів має значення 4.

Змінна: *silosPerRow* – кількість силосів має значення 4.

Функція: *canLoad* – визначає номер трюму судна-зерновоза.

Функція: *loadedAmount* – визначає місткість трюму судна-зерновоза.

Загальний вигляд взаємодії елементів моделі на рівні агента Main представлено на рис. 9.

Рис. 9. Взаємодія агентів імітаційної моделі на рівні агента Main

Серед безлічі параметрів моделі були виділені ті з них, які є «факторами», вплив яких на вихідні змінні моделі повинен бути проаналізований. Основою цього аналізу була накопичена в базі даних інформація за попередній рік роботи терміналу.

Метою імітаційного експерименту було з'ясування показників роботи зернового терміналу за логікою «що-якщо». Результати імітаційного експерименту були зібрані як статистичні дані. «Прогін моделі» передбачав не тільки прогностну мету, але й перевірку адекватності моделі за певні проміжки часу.

Основою подібного імітаційного експерименту була можливість моделі AnyLogic не тільки масштабувати модельний час (від $-1/1000$ до $+1000$), але й «стартувати» з певної часової позиції, зумовленої початковими даними цього періоду, накопиченими в базі даних. Тобто модельним часом був масштабований астрономічний час.

Отримана похибка моделювання (від 1% до 3%) засвідчила адекватність моделі на тих проміжках часу, коли робота терміналу не зупинялася (за об'єктивних або технічних причин).

Можливості AnyLogic при створенні імітаційних моделей дозволяють використовувати зокрема бази даних MS Access для вводу початкової інформації, а також збереження результатів моделювання та подальшої аналітичної обробки накопиченої інформації.

Створення бази даних зернового терміналу морського порту передбачало вирішення декількох задач:

- забезпечення первинною інформацією імітаційної моделі зернового терміналу морського порту;
- накопичення інформації результатів імітаційних експериментів моделі зернового терміналу морського порту;
- можливість аналітичного дослідження результатів імітаційних експериментів моделі зернового терміналу морського порту.

Структура бази даних зернового терміналу морського порту складається з наступних елементів:

- транспортний сегмент бази даних (таблиці причал, судно-зерновоз, залізничний транспорт, автозерновіз);
- вантажно-складський сегмент бази даних (таблиці проміжний силос, основний силос, конвеєр);
- документно-аналітичний сегмент бази даних (таблиці накопичені показники, поточні доходи, поточні витрати, заявка експортера, наряд на роботи);
- програмне забезпечення для аналітичних розрахунків.

Проведені експерименти з імітаційною моделлю зернового терміналу морського порту дозволили накопичити інформацію для подальшого аналітичного дослідження [4].

Як змінні аналітичного дослідження імітаційної моделі зернового терміналу морського порту виступають:

$DB^{(1)}(t)$ – поточний дохід експортного вантажопотоку морського порту на момент t від переробки зернових з урахуванням додаткових зборів на території країни.

$DB^{(2)}(t)$ – дохід терміналу від вантажовласників на протязі всього маршруту проходження замовлення.

$DB^{(3)}(t)$ – дохід терміналу від сплати вантажовласником вартості перевезення з урахуванням додаткових зборів за час перебування на території терміналу. Це стосується всіх замовлень, які надходять на експорт.

$DB^{(4)}(t)$ – дохід терміналу від транзитних перевезень зернових вантажів по замовленням за час перебування вантажу на митній території.

$DB^{(5)}(t)$ – поточний дохід терміналу при виконанні попутних замовлень за час попутного маршруту кожного із попутних замовлень.

$DB(t)$ – сумарні поточні доходи зернового терміналу.

$DB^*(T(t))$ – накопичений дохід зернового терміналу за період моделювання.

$DK^{(0)*}(T(t))$ – накопичений час перебування за весь період моделювання за наднормативні простої на зерновому терміналі.

$D^{(0)*}(T(t))$ – накопичення часу сумарних затримок виконання замовлень на внаслідок відсутності необхідної потужності – за весь період моделювання.

$PB^*(T(t))$ – накопичені сумарні витрати за весь період моделювання.

$PB(T(t))$ – накопичений прибуток терміналу.

$dPB(T(t))$ – усереднений прибуток терміналу.

Накопичений дохід зернового терміналу морського порту за весь період моделювання $T(t)$ буде дорівнювати:

$$DB^*(T(t)) = DB^*(t) + DB(t) \quad (1)$$

де $DB(t) = DB^{(1)}(t) + DB^{(2)}(t) + DB^{(3)}(t) + DB^{(4)}(t) + DB^{(5)}(t)$.

Для обчислення витратної частини визначається накопичений час наднормативного простою(затримки) вантажу за період моделювання $DK^{(0)*}(T(t))$, накопичений час затримок обслуговування замовлень внаслідок відсутності необхідних транспортних засобів за весь період моделювання $D^{(0)*}(T(t))$.

Накопичені витрати зернового терміналу морського порту за період моделювання будуть дорівнювати:

$$PB^*(T(t)) = DK^{(0)*} \cdot (T(t)) \cdot EK^{(0)} + D^{(0)*} \cdot (T(t)) \cdot E^{(0)}, \quad (2)$$

де $EK^{(0)}$ – добові витрати за наднормативну затримку(простій) замовлення.

$E^{(0)}$ – добові витрати за затримку(простій) замовлення.

Накопичений прибуток зернового терміналу морського порту визначається по формулі:

$$PB(T(t)) = DB^*(T(t)) - PB^*(T(t)). \quad (3)$$

Визначається усереднений прибуток зернового терміналу морського порту, який представляє собою математичне очікування величини, яку треба знайти, для отримання певної суми прибутку. Цей показник є прибутком, який очікується за одну добу роботи терміналу, що дасть можливість оцінити прибуток, який можна отримати в кінці планового періоду, показує завантаження зернового терміналу за цей період і визначається формулою:

$$dPB(T(t)) = PB(T(t)) : T(t). \quad (4)$$

Необхідно визначити таку стратегію управління функціонуванням зернового терміналу морського порту, при якій максимізується усереднений прибуток бази

Відповідний розрахунок економічних показників функціонування експортного зернового терміналу зроблено на підставі накопичених даних імітаційного моделювання в масштабі часу 1 рік ($365 \text{ днів} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ годин}$).

На рис. 10 подані дані накопиченого доходу, накопичених витрат та накопиченого прибутку за модельований період (1 рік).

ПоточніДоходи

ПоточнийДоходВ1	32500000
ПоточнийДоходВ2	30450000
ПоточнийДоходВ3	36800000
ПоточнийДоходВ4	18200000
ПоточнийДоходВ5	8150000

Редагування Видалення

Назад Вперед

А

ПоточніВитрати

ПоточніВитратиЕК0	24030000
ПоточніВитратиЕ0	20664000

Редагування Видалення

Назад Вперед

Б

НакопиченіПоказники

НакопиченийДоходВ*Тt	125900000
НакопиченийЧасДК0*Тt	1230
НакопиченіСуммиВитрат	44694000
НакопиченийЧасД0*Тt	890
НакопиченийПрибутокПБ	81206000
СереднійПрибутокДПБt	222482

Редагування Видалення

Назад Вперед

В

Рис. 10. Результат роботи аналітичного блоку імітаційної моделі зернового терміналу (де А – ПоточніДоходи, Б – ПоточніВитрати, В – НакопиченіПоказники)

Наведений алгоритм та програмне забезпечення визначення оптимальної економічної стратегії функціонування експортного зернового терміналу дає можливість знайти такий шлях використання терміналу, щоб збільшити прибутковість від господарчої діяльності, підняти конкурентоспроможність терміналу та вдосконалити його роботу.

Висновки. Розроблена імітаційна модель зернового терміналу морського порту, яка фактично є системою підтримки прийняття рішень відповідними службами в умовах змінної інформації від замовників, наявності ризиків технологічного та природнього характеру.

На основі проведеного за допомогою імітаційної моделі експериментального дослідження роботи зернового терміналу морського порту в різних технологічних умовах була підтверджена адекватність імітаційної моделі з урахуванням взаємодії різних видів транспорту: магістрального (морський, залізничний, автомобільний) та промислового транспорту зернового терміналу.

За допомогою інформаційно-аналітичного блоку, основу якого складає база даних імітаційної моделі зернового терміналу морського порту з відповідним програмним забезпеченням, були розраховані планові економічні показники роботи терміналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Степанов О. Н. Стратегическое управление развитием морского порта. Одесса. Астропринт, 2005. 328 с.
2. Столяров Г.П., Афанасьева О.К., Корниец Т.Е. Организация и планирование производственной деятельности портов. Одесса. 2009. 164с.
3. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование AnyLogic 5. СПб. БХВ-Петербург. 2006. 400с.
4. Корнієнко В.П. Економіко-математичне моделювання функціонування системи контейнерних перевезень. Київ. 2006, с.18
5. Хемди А. Таха Введение в исследование операций: Глава 18. Имитационное моделирование. Operations Research: An Introduction. 7-е изд. М.: «Вильямс». 2007.
6. Строгалева В. П., Толкачева И. О.. Имитационное моделирование МГТУ им. Баумана. 2008.

7. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование [Simulation Modeling and Analysis]. СПб. Издательство: Питер. 2004. 848 с.
8. Фомин Г. П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности: учеб. пособие. М. Финансы и статистика. 2000.
9. Даденков С. А., Кон Е.Л. Имитационное моделирование дискретных информационных систем и сетей в среде AnyLogic. 2018 ISBN: 978-5-398-02073-1
10. Nestel D, Groom J, Eikeland-Husebo S, O'Donnell JM. Simulation for learning and teaching procedural skills: the state of the science. *Simul Healthc*. 2011. 6:10–3.
11. DeRienzo CM, Shaw RJ, Meanor P, Lada E, Ferranti J, Tanaka D. A discrete event simulation tool to support and predict hospital and clinic staffing. *Health Informatics J*. 2016;23:124–33.
12. Kriz WC. Types of gaming simulation applications. *Simul Gaming*. 2017;48:3–7.
13. Bhattacharjee P, Ray PK. Simulation modelling and analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: a case study. *Oper Res Health Care*. 2016;8:71–84.
14. Ilka Habenicht Simulation of a coal lading port SimPlan AG Sophie-Scholl-Platz 6 Hanau, 63452, Germany 978-1-5386-6572-5/18/ 2018 IEEE
15. Christoph Kogler A Discrete event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply in austria Institute of Production and Logistics University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna Feistmantelstrasse 4 Vienna, 1180. AUSTRIA
16. Asikainen, A.. Simulation of Logging and Barge Transport of Wood from Forests on Islands. *International Journal of Forest Engineering* 12(2). 2007. p.43–50.
17. Cabac, L. Multi-agent system: A guiding metaphor for the organization of software development projects. In: Carbonell, J.G. & Siekman, J., *Multiagent System Technologies. Lecture Notes in Artificial Intelligence* 4687. Springer: Berlin / Heidelberg, 2007. p 1-12
18. Gronalt, M., Rauch P.. Analyzing Rail Road Terminal Performance in the Timber Industry Supply Chain– a Simulation Study. *International Journal of Forest Engineering*. Published online: 2.8.2018. p.1–9.
19. Karttunen K., L. Ldtild, O.J., Korpinen, Ranta T. Cost-efficiency of Intermodal Container Supply Chain for Forest Chips. *Silva Fennica* 47(4) 2013. p.1–24.
20. Karttunen, K., K. Vaatainen, A. Asikainen, Ranta T.. The Operational Efficiency of Waterway Transport of Forest Chips on Finland's Lake Saimaa. *Silva Fennica* 46(3) 2012:p.395–413.
21. Mobini, M., J. C. Meyer, F. Trippe, T. Sowlati, M. Frohling, Schultmann F. Assessing the Integration of Torrefaction into Wood Pellet Production. *Journal of Cleaner Production* 78. 2014. p.216–225.
22. Mobini, M., T. Sowlati, Sokhansanj S. A Simulation Model for the Design and Analysis of Wood Pellet Supply Chains. *Applied Energy* 111. 2013. p.1239–1249.
23. Saranen, J., Hilmola O.-P. Evaluating the Competitiveness of Railways in Timber Transports with Discrete-event Simulation. *World Review of Intermodal Transportation Research* 1(4). 2007. p.445–458.
24. Wolfsmayr, U. J., R. Merenda, P. Rauch, F. Longo, M. Gronalt. Evaluating Primary Forest Fuel Rail Terminals with Discrete Event Simulation: a Case Study from Austria. *Annals of Forest Research* 59(1). 2016. p.145–164.

REFERENCES

1. Stepanov O. N. (2005). Strategicheskoe upravlenie razvitiem morskogo porta. [*Seaport Development Strategic Management*] Odessa. Astropoint. [in Russian].
2. Stolyarov G.P., Afanas`eva O.K., Korniecz T.E. (2009) Organizaciya i planirovanie proizvodstvennoj deyatel`nosti portov [*Organization and planning of production activities of ports*]. Odessa. [in Russian]
3. Karpov Yu. (2006) Imitacionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie AnyLogic 5. [*Simulation systems. Introduction to AnyLogic 5 modeling*]. SPb. BKhV-Peterburg.. [in Russian]
4. Korniyenko V.P.(2006) Ekonomiko-matematichne modelyuvannya funkczionuvannya sistemi kontejnernikh perevezhen. [*Economy-mathematical model of the function of the container system and container transportation*] Kiyiv. [in Russian]
5. Khemdi A. Takha (2007). Vvedenie v issledovanie operacij: Glava 18. Imitacionnoe modelirovanie. [*Introduction to Operations Research: Chapter 18. Simulation*] Operations Research: An Introduction. 7-e izd. Moskva: «Vil'yams». [in Russian]
6. Strogalev V. P., Tolkacheva I. O. (2008) Imitacionnoe modelirovanie. [*Simulation*] MGTU im. Bauman..
7. Lou A., Kel`ton V. (2004) Imitacionnoe modelirovanie [*Simulation Modeling and Analysis*]. SPb. Izdatel'stvo:Piter.. [in Russian]
8. Fomin G. P. (2000) Sistemy` i modeli massovogo obsluzhivaniya v kommercheskoj deyatel`nosti/ [*Queuing systems and models in commercial activities*] ucheb. Posobie. M. Finansy` i statistika. [in Russian]
9. Dadenkov S. A., Kon E.L. (2018) Imitacionnoe modelirovanie diskretny`kh informaczionny`kh sistem i setej v srede AnyLogic. [*Simulation of discrete information systems and networks in AnyLogic environment*] ISBN: 978-5-398-02073-1 [in Russian]
10. Nestel D, Groom J, Eikeland-Husebo S, O'Donnell JM. (2011) Simulation for learning and teaching procedural skills: the state of the science. *Simul Healthc*.. 6:10–3.

11. DeRienzo CM, Shaw RJ, Meanor P, Lada E, Ferranti J, Tanaka D. (2016) A discrete event simulation tool to support and predict hospital and clinic staffing. *Health Informatics J.*; 23:124–33.
12. Kriz WC. (2017) Types of gaming simulation applications. *Simul Gaming*; 48:3–7.
13. Bhattacharjee P, Ray PK. (2016) Simulation modelling and analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: a case study. *Oper Res Health Care*. 8:71–84.
14. Ilka Habenicht (2018) Simulation of a coal lading port SimPlan AG Sophie-Scholl-Platz 6 Hanau, 63452, Germany 978-1-5386-6572-5/18/ IEEE
15. Christoph Kogler A/ Discrete event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply in austria Institute of Production and Logistics University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna Feistmantelstrasse 4 Vienna, 1180. AUSTRIA
16. Asikainen, A. (2007). Simulation of Logging and Barge Transport of Wood from Forests on Islands. *International Journal of Forest Engineering* 12(2). p.43–50.
17. Cabac, L. (2007) Multi-agent system: A guiding metaphor for the organization of software development projects. In: Carbonell, J.G. & Siekman, J., Multiagent System Technologies. Lecture Notes in Artificial Intelligence 4687. Springer: Berlin / Heidelberg, p 1–12
18. Gronalt, M., Rauch P. (2018) Analyzing Rail Road Terminal Performance in the Timber Industry Supply Chain– a Simulation Study. *International Journal of Forest Engineering*. Published online: 2.8. p.1–9.
19. Karttunen K., L. Ldttilä, O.J., Korpinen, Ranta T. (2013) Cost-efficiency of Intermodal Container Supply Chain for Forest Chips. *Silva Fennica* 47(4).p.1–24.
20. Karttunen, K., K. Vaatainen, A. Asikainen, Ranta T. (2012) The Operational Efficiency of Waterway Transport of Forest Chips on Finland's Lake Saimaa. *Silva Fennica* 46(3) p.395–413.
21. Mobini, M., J. C. Meyer, F. Trippe, T. Sowlati, M. Frohling, Schultmann F. (2014) Assessing the Integration of Torrefaction into Wood Pellet Production. *Journal of Cleaner Production* 78. p.216–225.
22. Mobini, M., T. Sowlati, Sokhansanj S. A (2013) Simulation Model for the Design and Analysis of Wood Pellet Supply Chains. *Applied Energy* 111. p.1239–1249.
23. Saranen, J., Hilmola O.-P. (2007) Evaluating the Competitiveness of Railways in Timber Transports with Discrete-event Simulation. *World Review of Intermodal Transportation Research* 1(4). p.445–458.
24. Wolfmayr, U. J., R. Merenda, P. Rauch, F. Longo, M. Gronalt. (2016) Evaluating Primary Forest Fuel Rail Terminals with Discrete Event Simulation: a Case Study from Austria. *Annals of Forest Research* 59(1). 2016. p.145–164.

Кичкин А.В.

(старший преподаватель Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля)

Кичкина Е.И.

(к.т.н., доцент Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПОРТНОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМИНАЛА МОРСКОГО ПОРТА

В статье представлена имитационная модель зернового терминала морского порта, созданная в среде AnyLogic 8.5 PLE. В качестве парадигмы моделирования выбрана агентная парадигма, что позволило адекватно воспроизвести процесс взаимодействия автомобильного, железнодорожного и промышленного транспорта в процессе переработки зерновых грузов. С этой целью были разработаны основные модели-агенты, которые взаимодействуют между собой и формируют общий технологический процесс переработки зерна морским терминалом. Взаимодействие созданных агентов-моделей составляет логику взаимодействия различных видов транспорта и производственно-складских систем зернового терминала морского порта. На основе проведенного с помощью имитационной модели экспериментального исследования работы зернового терминала морского порта в различных технологических условиях была подтверждена ее адекватность с учетом взаимодействия различных видов транспорта: магистрального (морской, железнодорожный, автомобильный) и промышленного транспорта зернового терминала.

Для информационной поддержки был создан информационно-аналитический блок, основу которого составляет база данных имитационной модели зернового терминала морского порта с соответствующим программным обеспечением. Создание базы данных зернового терминала морского порта предусматривало обеспечение первичной информацией

имитационной модели; накопление информации результатов имитационных экспериментов; возможность аналитического исследования результатов имитационных экспериментов.

Соответствующий расчет экономических показателей функционирования экспортного зернового терминала сделан на основании накопленных данных имитационного моделирования с помощью разработанного программного обеспечения, что позволило обеспечить эффективность не только технологических, но и экономических решений.

Разработанная имитационная модель зернового терминала морского порта и его информационно-аналитический блок фактически являются системой поддержки принятия решений соответствующими службами терминала в условиях переменной информации от заказчиков, наличии рисков технологического и природного характера.

Ключевые слова. Имитационная модель, зерновой терминал, взаимодействие видов транспорта, аналитическое исследование, система поддержки принятия решений, информационно-аналитический блок.

Kichkin A.V.

(Senior Lecturer of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl)

Kichkina E.I.

(Ph.D., associate professor of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl)

SIMULATION MODELING AND ANALYTICAL STUDIES OF THE EXPORT GRAIN TERMINAL OF THE SEA PORT

The article presents a simulation model of a seaport grain terminal, created in the AnyLogic 8.5 PLE environment. The agent paradigm was chosen as the modeling paradigm, which allowed to adequately reproduce the process of interaction of road, rail and industrial transport in the process of grain processing. To this end, the main models-agents have been developed that interact with each other and form the overall technological process of grain processing by the marine terminal. The interaction of the created agents-models makes the logic of interaction of different types of transport and production and storage systems of the grain terminal of the seaport. On the basis of an experimental study of the grain terminal of the seaport in different technological conditions, its adequacy was confirmed taking into account the interaction of different modes of transport: main (sea, rail, road) and industrial transport of the grain terminal.

For information support, an information-analytical part was created, the basis of which is a database of a simulation model of a grain terminal of a seaport with the appropriate software. The creation of a database of the grain terminal of the seaport provided the primary information of the simulation model; accumulation of information on the results of simulation experiments; the possibility of analytical study of the results of simulation experiments.

The corresponding calculation of economic indicators of functioning of the export grain terminal is made on the basis of the accumulated data of simulation modeling by means of the developed software which has allowed to provide efficiency not only technological, but also economic decisions.

The developed simulation model of the grain terminal of the seaport and its information-analytical part is in fact a system of decision support by the relevant services of the terminal in the conditions of variable information from customers, the presence of technological and natural risks.

Keywords: simulation model, grain terminal, interaction of modes of transport, analytical research, decision support system, information-analytical unit.