

DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11  
 DOI: 10.5281/zenodo.13851959  
 UDC: 658.012.2  
 JEL: C63, D24, D81, M21

## ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ЛОГІСТИКИ SIMULATION MODELS OF PHARMACEUTICAL LOGISTICS

Zoia M. Sokolovska, Doctor of Economic Sciences, Professor  
 Odesa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine  
 ORCID: 0000-0001-5595-7692  
 Email: nadin\_zs@te.net.ua

Received 07.06.2024

**Ф**армацевтична галузь має великий вплив на життя і здоров'я населення країни та є одним з прибуткових секторів вітчизняної економіки. Фармацевтична промисловість постановою уряду України у 2022 році віднесена до пріоритетних галузей, що в умовах війни набуває особливого значення.

Фармацевтичне виробництво передбачає дотримання спеціальних нормативів, особливо з випуску лікарських засобів та медичних виробів; має складний виробничий цикл та специфічні вимоги до забезпечення процесів реалізації готової продукції.

Динамічно змінюється і структура фармацевтичного ринку, що особливо відчувається на поточному етапі розвитку внаслідок викликів війни. Зокрема, змінилася структура споживання фармацевтичних препаратів: питома вага препаратів вітчизняного та зарубіжного виробництва (на користь препаратів вітчизняного походження); співвідношення попиту на препарати різних фармацевтичних груп. Значно змінилися цінові тренди ринку.

На третьому році війни в умовах переосмислення стану і особливостей функціонування галузі фахівцями здійснено аналіз й визначення основних проблем фармації. Так, згідно [1] проблеми галузі класифіковані за п'ятьма групами:

- Виробничі: зміна структури попиту; зменшення державної закупівлі препаратів внаслідок поставок в межах гуманітарної допомоги.
- Соціальні: перерозподіл споживчого ринку внаслідок міграції населення; релокація та переорієнтація потужностей виробництва; кадрові проблеми як результат мобілізації та міграції; організаційні зміни з метою забезпечення безпеки працівників.
- Фінансові: імпортозалежність вітчизняних фармацевтичних компаній, їх дебіторська заборгованість та недотримання умов передплати у співпраці з іноземними партнерами; інфляція, зниження купівельної спроможності населення.
- Інфраструктурні: знищення складських приміщень з їх вмістом; закриття частини аптек.

*Соколовська З.М. Імітаційні моделі фармацевтичної логістики. Науково-методична стаття.*

Стаття представляє імітаційне моделювання як математичну базу дослідження логістичних систем. Об'єктом виступає фармацевтична логістика – логістичні ланцюги фармацевтичних компаній. Акцентується увага на проблемах функціонування вітчизняної фармацевтичної логістики в умовах воєнних реалій. Обґрунтовується доцільність залучення технологій імітаційного моделювання для відтворення мінливих, форс-мажорних умов функціонування каналів постачання готової фармацевтичної продукції. Представлено моделі однорівневого та дворівневого каналів збуту фармацевтичної продукції, побудовані з використанням дискретно-подієвої парадигми імітації на програмній платформі системи AnyLogic. Результати моделювання проілюстровані фрагментами імітаційних експериментів за матеріалами фармацевтичної компанії «ФАРМАК».

*Ключові слова:* фармацевтична логістика, фармацевтична компанія, ланцюги постачання продукції, імітаційні моделі, дискретно-подієвий підхід, імітаційний експеримент

*Sokolovska Z.M. Simulation Models of Pharmaceutical Logistics. Scientific and methodical article.*

The article presents simulation modeling as a mathematical basis for the study of logistic systems. The object is pharmaceutical logistics – logistics chains of pharmaceutical companies. Attention is focused on the problems of functioning of domestic pharmaceutical logistics in the conditions of military realities. The expediency of using simulation modeling technologies to reproduce the changing, force majeure conditions of functioning of the supply channels of finished pharmaceutical products is substantiated. Models of one-level and two-level sales channels for pharmaceutical products, built using the discrete-event simulation paradigm on the software platform of the AnyLogic system, are presented. The results of the simulation are illustrated by fragments of simulation experiments based on the materials of the pharmaceutical company FARMAC.

*Keywords:* pharmaceutical logistics, pharmaceutical company, product supply chains, simulation model, discrete-event approach, simulation experiment

— Логістичні: блокування традиційних ланцюгів поставок сировини та готової продукції та, як наслідок, зростання транспортних витрат; нестача спеціалізованого транспорту.

За висновками експертів [2], фармацевтична промисловість станом на 2024 рік знаходиться на переломному етапі свого розвитку. Серед головних трендів відокремлюються наступні [2]:

- Розвиток аутсорсингу з науково-дослідних робіт щодо розробки нових препаратів та їх подальшого виробництва.
- Розвиток персоналізованої медицини, зокрема, на тлі залучення штучного інтелекту.
- Концентрація уваги на ринках, що перебувають у стані розвитку.
- Залучення ефективних методів зниження виробничих витрат на виготовлення фармацевтичної продукції.
- Застосування сучасних методів управління ланцюгами поставок готової продукції.

Таким чином, одним з головних трендів розвитку фармації є удосконалення логістичної системи. Фармацевтична логістика (за функціональними видами – закупівельна, виробнича, збутова) тісно пов'язана з забезпеченням повного циклу виробництва та реалізації продукції. Логістичний потенціал фармацевтичної галузі складає базу підвищення її конкурентоспроможності на мінливому та динамічному товарному ринку.

Вже за довоєнних часів в умовах пандемії та карантинних обмежень логістичні ланцюги почали підлаштовуватися під вимоги компаній-виробників та навіть географічно наближуватися до місць фармацевтичного виробництва.

В умовах військових дій фармацевтична логістика зазнала значних перетворень внаслідок знищення складської та транспортної інфраструктури, вимкнення електроенергії, руйнування доріг, релокації багатьох фармацевтичних компаній та їх філій, втрати традиційних постачальників сировини та отримувачів/покупців фармацевтичної продукції.

Фармацевтична логістика відрізняється низкою особливостей, пов'язаних зі специфікою продукції, що постачається: необхідні відповідні умови зберігання препаратів та їх транспортування, наявність ліцензій та необхідних сертифікатів. Все це пов'язано з необхідністю надання високого рівня сервісу та, як наслідок, з високими витратами: логістичні витрати в фармацевтичній галузі є, як правило, найвищими.

За останні роки фармацевтична логістика перетерпіла ряд перетворень. Зокрема, з'явився такий напрямок, як холодна логістика (створення ланцюгів постачання сировини та готової фармацевтичної продукції з дотриманням контрольованого температурного режиму та відповідних умов зберігання) [3]. У вітчизняних реаліях поштовхом для розвитку холодної логістики поряд з пандемією COVID-19 є воєнний стан та пов'язані з ним умови функціонування лікувальних закладів

(госпітальні поставки). Розвитку системи холодної логістики сприяє також бурхливий розвиток електронної комерції, що значно змінює комунікації та системи реалізації фармацевтичних логістичних ланцюгів.

Однак, в умовах війни даний напрямок зазнає значних перешкод, пов'язаних з наступним:

- Немоżliвiстю дотримання необхідних умов зберігання та транспортування фармацевтичних товарів на всіх відрізках логістичних ланцюгів.
- Поганим станом дорожньої інфраструктури, особливо в регіонах, наближених до бойових дій.
- Порушенням температурного режиму внаслідок регулярних відключень електроенергії.
- Постійною перебудовою ланцюгів постачання внаслідок активних воєнних дій та обстрілів територій, що знищує вже облаштовані ланки традиційних ланцюгів постачання.

Що стосується транспортної інфраструктури фармацевтичної логістики, то спостерігається тенденція попиту на послуги за конкретними видами перевезень, а саме – збільшується вага морських та повітряних перевезень [4]. Згідно [4] наведені види транспорту є більш екологічними; відрізняються загальним зменшенням логістичних витрат та забезпечують менше кадрове навантаження.

Одним з напрямків фармацевтичної логістики є мережева логістика: на українському фармацевтичному ринку працює понад 50 мереж (частка продажів мереж в загальному обсязі аптечних продажів становить залежно від регіону 25-30%). Забезпечення ефективних ланцюгів постачання готової продукції від компаній-виробників до аптечних мереж/окремих аптек/лікувальних закладів є однією з основних задач, що поставили перед фармацевтичною логістикою, особливо, за скрутних сучасних умов функціонування фармації.

Відповідно до цього попереднє планування та модельне відпрацювання різних структур каналів збуту фармацевтичної продукції з прив'язкою до конкретних умов роботи фармацевтичних компаній сприяє суттєвому підвищенню ефективності організації логістичної системи. Вирішення поставленої задачі потребує відповідної інструментальної бази, що може містити різні класи математичних методів, одним з яких є імітаційне моделювання.

Залучення різних парадигм імітаційного моделювання сприятиме відтворенню не тільки суто процесів функціонування логістичних ланцюгів, але й впливів різноманітних стохастичних факторів зовнішнього й внутрішнього середовища розгортання логістичної системи. Імітаційні технології дозволяють також досліджувати процеси в динаміці з гнучким налаштуванням експериментів на потрібні терміни та кроки імітації. Постійне нарощування потужності програмних платформ сприяє підвищенню гнучкості імітаційних експериментів та збільшенню різноманіття їх видів.

Вагомим позитивом імітаційних моделей є їх тренажерний характер, що дозволяє здійснювати швидке налаштування на актуальні параметри досліджуваної системи; програвати на моделі різні форс-мажорні ситуації.

Фармацевтична логістика висуває великий клас актуальних задач, що потребують свого дослідження. Тому розробки в даній галузі є на поточному етапі розвитку вітчизняної фармації необхідними та своєчасними.

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

Імітаційне моделювання в сфері фармацевтики знайшло достатнє відображення як у світовій, так і у вітчизняній практиці. Існує певна кількість додатків з моделювання різних аспектів фармацевтичної логістики, що базуються на основних методологічних підходах імітації (дискретно-подієвий, агентний, системно-динамічний) та їх комбінаціях (багатопідходне моделювання).

Агентна парадигма імітаційного моделювання використана при побудові моделі ланцюгів фармацевтичної логістики, представленої в роботі [5]. Модель апробована на значному фактичному матеріалі. Імітаційні експерименти здійснювалися на базі тисячі прогонів, кожний тривалістю у 39 років.

Імітаційна модель ланцюга госпітальних поставок на базі системно-динамічної парадигми наведена в [6]. Характеристики ланцюга досліджуються на прикладі госпітальних поставок в лікарні Колумбії. Однією з цілей моделювання є визначення реальної вартості препаратів з точки зору системного підходу: від прийому препаратів до надання їх пацієнтам. Використання системно-динамічної концепції сприяє представленню та ідентифікації взаємодії між окремими елементами моделі, що призводить до визначення ефективного алгоритму формування запасів та кінцевих показників функціонування процесів постачання. Імітаційні експерименти націлені на визначення параметрів, що впливають на кінцеву вартість препаратів. Отримані експериментальні дані допомагають визначитися з розмірами відшкодування, встановленими національними установами системи охорони здоров'я. Модель представляє собою тренажер для відпрацювання управлінських рішень в сфері госпітальних поставок.

Відпрацюванню ланцюгів поставок фармацевтичних компаній присвячена робота [7]. Модельний додаток, представлений в роботі, базується на системно-динамічній методології.

Ланцюги постачання готової фармацевтичної продукції, що моделюються з застосуванням багатопідходної парадигми, досліджуються в роботі [8]. Дослідники ставили за мету виявлення умов досягнення ритмічності поставок та стійкості логістичного ланцюга. Модель реалізована за достатньо деталізованою концепцією та апробована на прикладі ланцюга постачання генеричних препаратів. В процесі моделювання використані параметри, що імітують вплив різноманітних

факторів, які перешкоджають запланованому ходу процесу постачання.

Імітація конкурентного фармацевтичного ринку здійснюється у додатку, представленою в роботі [9]. Модель реалізована з використанням багатопідходної парадигми – комбінації системно-динамічного та агентного підходів. Модель умовно представлена двома блоками – виробничо-збутові ланцюги фармацевтичних компаній-конкурентів (системна динаміка) та блок імітації поведінки користувачів продукції на фармацевтичному ринку (агентний підхід). Програмна платформа реалізації моделі – система багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic [10]. Апробація модельного додатку здійснена за матеріалами фармацевтичної компанії «ФАРМАК» – однієї з провідних фармацевтичних компаній України [11]. На моделі проведена серія експериментів, що відтворюють різноманітні ситуації, які можуть скластися в процесі виробництва/реалізації продукції промислової фармацевтичної компанії.

Модель імітації товарних потоків в аптечних мережах представлена в роботі [12]. Товарні потоки відтворюються з паралельною імітацією рівнів попиту на фармацевтичному ринку. В результаті експериментів вивчаються відповідні витрати, пов'язані з просуванням та реалізацією продукції в аптечних мережах. Модель побудована за системно-динамічною концепцією. Програмна реалізація – середовище системи Powersim Studio. Доводиться доцільність використання модельного додатку в ході визначення оптимальної стратегії управління товарними запасами на оптових складах та в аптечних мережах.

Процесам управління ланцюгами постачання притаманний достатньо високий ступінь невизначеності. Проблемі зниження невизначеності присвячена робота [13]. В роботі також надаються пропозиції щодо обґрунтованого застосування цифрових та хмарних технологій для підвищення ефективності процесів управління логістичними системами. Приділена увага сучасним напрямкам розвитку цифрових технологій в колі поставленої проблеми.

Робота [14] представляє модель функціонування логістичної системи з використанням трьох основних методологічних підходів імітації. Архітектура моделі має кілька рівнів ієрархії. Кожний з рівнів реалізовано за конкретним підходом згідно необхідному ступеню деталізації. Так, системна динаміка застосовується для відтворення узагальненої структури системи (забезпечується найвищий рівень агрегування процесів). Найбільш деталізований підхід – дискретно-подієвий – для імітації динаміки функціонування логістичного ланцюга з відтворенням окремих його ланок, що дає можливість експериментаторам дослідити вплив численних факторів на різноманітні відхилення процесів від запланованого їх проходження. Завдяки такій деталізації здійснюється удосконалення параметрів дії конкретних частин ланцюга. На базі агентного підходу моделюється територіально-

розподілений логістичний ланцюг. Суміщення різних імітаційних технологій при побудові ієрархічної моделі сприяє реалізації системного підходу в дослідженні єдиної логістичної системи.

Програмною платформою реалізації представленої моделі є система багатопідходної імітації ARENA. Імітаційні експерименти, проведені на моделі, забезпечують оцінку низки показників ефективності роботи досліджуваної системи: стану складських запасів, кількості виконаних або затриманих замовлень на постачання в логістичній мережі, часових параметрів роботи логістичного ланцюга тощо. Представлена розробка позиціонується, як типова та рекомендована для реалізації логістичних мереж в різних галузях.

Міжнародними платформами регулярного представлення прикладних додатків з імітаційного моделювання, зокрема, в галузі фармацевтичної логістики є Winter Simulation Conference ([15]), Federation of European Simulation Societies – EUROSIM ([16]), Arbeitsgemeinschaft Simulation – ASIM ([17]).

Узагальнюючи нароби, які існують в галузі імітаційного моделювання фармацевтичної логістики, можна визначити наступні головні напрямки:

- Моделювання складових фармацевтичної логістики, як систем масового обслуговування.
- Моделювання транспортно-складської інфраструктури фармацевтичної логістики.
- Моделювання складових фармацевтичної логістики з метою визначення пропускної спроможності комунікативних систем.

Обрання конкретних парадигм імітації залежить від мети створення модельного додатку та потрібного рівня деталізації досліджуваних

процесів. Згідно з цим обираються і програмні платформи реалізації – від вузькоспеціалізованих (в разі використання конкретної імітаційної парадигми) до багатопідходних платформ імітації.

Метою статті є представлення імітаційних моделей збутової фармацевтичної логістики на прикладі типових каналів збуту крупної фармацевтичної компанії.

### Виклад основного матеріалу дослідження

В якості об'єкту дослідження виступала фармацевтична компанія «ФАРМАК» – одне з провідних підприємств галузі [11]. Компанія має розгалужену систему збуту і використовує для реалізації продукції ланцюги постачання різного типу. Це робить моделювання логістичних процесів показовим для інших підприємств фармацевтичної галузі.

Моделювалися однорівневий та дворівневий канали збуту.

Традиційно визначається, що в однорівневому каналі постачання йде через одного посередника, в якості якого виступає, наприклад, мережа аптек, що діє автономно. Якщо мережа юридично належить компанії, то йдеться про канал прямого маркетингу (нульовий канал). Досліджувана компанія має власну мережу аптек, а також користується послугами незалежних аптечних мереж, що дозволяє трактувати змодельовані процеси з точки зору кожного з наведених каналів.

Моделі однорівневого та дворівневого каналів побудовані з використанням дискретно-подієвого підходу на програмній платформі системи багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic [10].

Загальний вигляд моделі однорівневого логістичного ланцюга представлено на рис. 1.

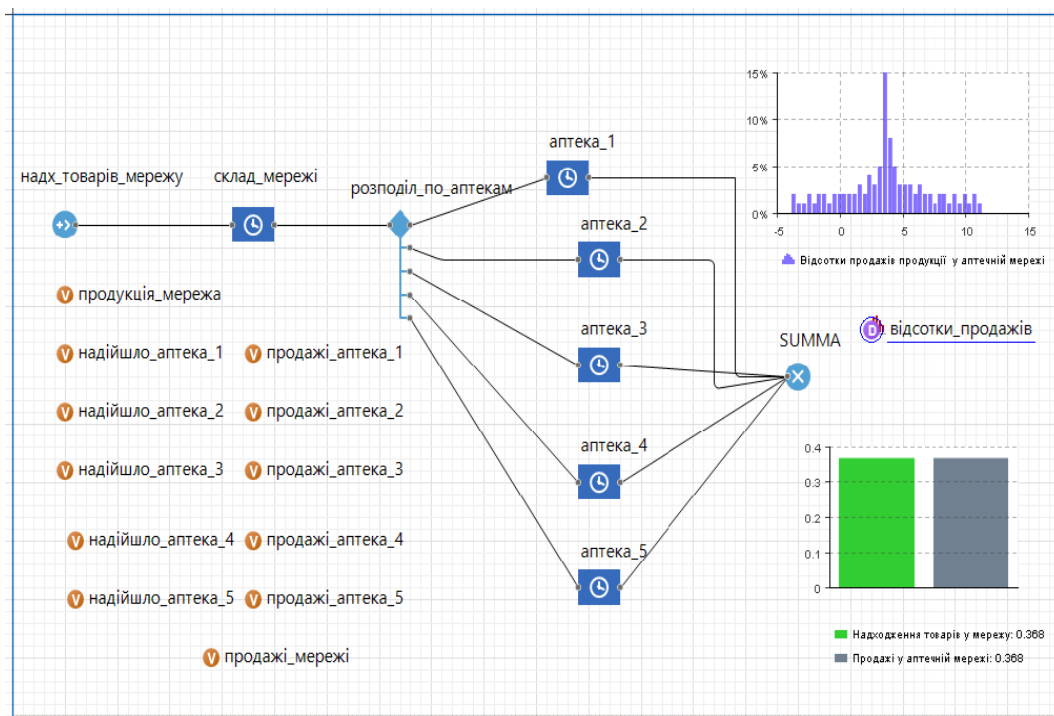


Рисунок 1. Модель однорівневого каналу збуту фармацевтичної компанії

Джерело: власна розробка автора



Продукція надходить до мережі з інтенсивністю, що відповідає інтенсивності виробництва компанією-виробником. Склад мережі акумулює готову фармацевтичну продукцію, яка потім розподіляється між аптеками мережі (задається ємкість та час затримки продукції на складі). На рис. 1 наведено фрагмент моделі, на якому мережа представлена п'ятьма аптеками: в загальному випадку можливе моделювання будь-якого числа аптек. Розподіл продукції між аптеками може здійснюватися за різними алгоритмами, з врахуванням різних пріоритетів залежно від цілей експериментатора. До того ж одним з напрямків експериментування може бути проведення експериментів за різними алгоритмами розподілу продукції з метою визначення найбільш ефективного варіанту в існуючих умовах. Тривалість реалізації препаратів в кожній з аптек імітується як часова затримка у відповідних блоках аптека\_1, ..., аптека\_5. Ємкість блоків визначає можливі обсяги тимчасового зберігання продукції в кожній з аптек.

Ефективність функціонування каналу збуту визначається обсягами продажів/відсотками продажів стосовно загальних обсягів надходження продукції у аптечну мережу; часом проходження продукції через канал; оперативністю збуту продукції (кількість проданих одиниць продукції в одиницю модельного часу).

Додатково розраховуються витрати на реалізацію продукції/питомі витрати на одиницю продукції.

Стосовно кожної ланки реалізації (аптеки мережі) розраховуються обсяги надходження продукції та її продажі, а також загальні обсяги надходження та продажі аптечної мережі.

Просування модельного часу може бути налаштовано за різними алгоритмами згідно різної тривалості кроку та загального терміну імітації. Варіативними є також будь-які часові параметри моделі: час постачання продукції у мережу, час затримки на складі, тривалість продажів та ін. Параметри можуть визначатися не тільки як детерміновані, але й як стохастичні величини.

В моделі дворівневого каналу збуту відтворюється структура логістичного ланцюга «підприємство – оптовий фармацевтичний посередник – аптечна мережа – покупці». Загальний вигляд моделі наведено на рис. 2.

Готова продукція відвантажується підприємством-виробником на оптовий склад фармацевтичного посередника. Інтенсивність поставок залежить від потужностей компанії-виробника та ринкового попиту на продукцію і визначається як стохастична змінна за заданим законом розподілу. Користувач може визначати різні алгоритми поставок: зокрема, як надходження продукції за планом, встановленим компанією-виробником та узгодженим з фармацевтичною фірмою-посередником. Посередник може використовувати для розповсюдження продукції різні канали: мережі аптек, окремі аптеки, здійснювати госпітальні поставки (оптом) та т. і.

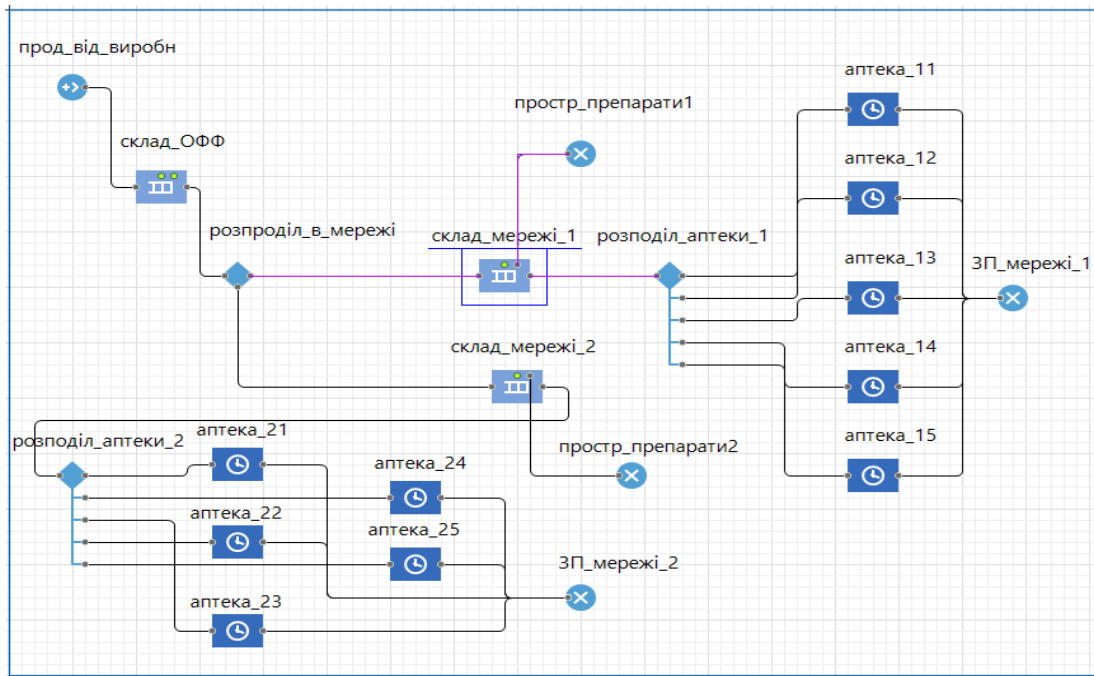


Рисунок 2. Загальний вигляд моделі дворівневого каналу збуту фармацевтичної компанії  
Джерело: власна розробка автора

Структура взаємодії фармацевтичного посередника з аптечними мережами, окремими аптеками та лікувальними закладами може бути різноманітною. В представленій моделі приймається, що фармацевтичний посередник

співпрацює відносно реалізації препаратів компанії «ФАРМАК» з двома аптечними мережами. Алгоритм розподілу продукції між мережами варіативний: згідно заданій ймовірності або при виконанні конкретних умов. Змінні (зокрема, квоти

розподілу) можуть визначатися, як детерміновані або стохастичні величини. Розподілені поставки прибувають на оптові склади аптечних мереж. Ємкість складів задається згідно реальній наявності площ, потребам та відповідності умовам зберігання. Специфіка продукції щодо дотримання термінів придатності фармацевтичних препаратів імітується в моделі ситуаціями, коли прострочені препарати підлягають процедурі списання та відвантажуються зі складу. Продукція з прийнятним строком придатності розподіляється в аптечних мережах по конкретним аптекам.

Розподіл може здійснюватися в разі виконання конкретних умов, за встановленими ймовірностями або за іншими визначеними варіантами алгоритмів.

Тривалість процесів продажів фармацевтичної продукції у аптеках відтворюється, як затримка у часі (випадкова величина), наближено до реальної тривалості процесів. Структура аптечних мереж може бути різноманітною. Для прикладу в моделі імітуються аптечні мережі, кожна з яких має по п'ять аптек. Завдяки відкритості моделі її легко пристосувати до будь-якої чисельності аптек в мережах. Також можуть бути додані окремі аптеки, що не входять до жодної з мереж, та інші торгові точки.

В моделі розраховується комплекс величин, які потрібні для оцінки функціонування ланцюга постачання:

- Обсяги поставок фармацевтичної продукції від підприємства-виробника до складу оптової фармацевтичної фірми-посередника.
- Обсяги відвантаження продукції зі складу оптової фірми-посередника до кожної з аптечних мереж; обсяги надходження фармацевтичних товарів на оптові склади мереж.
- Загальні обсяги відвантаження фармацевтичної продукції з оптових складів кожної з аптечних мереж.
- Обсяги надходження продукції до кожної з аптек мережі; обсяги продажів в розрізі аптек.

- Загальні обсяги продажів по кожній з аптечних мереж.
- Загальні обсяги продажів фармацевтичної продукції підприємства-виробника на базі даної оптової фірми-посередника.
- Відсотки продажів від загальних обсягів продукції, що надійшли до конкретних аптечних мереж.
- Відсотки продажів по оптовій фірмі-посереднику від загального обсягу продукції, що надійшла від підприємства-виробника. Ефективність логістичної мережі визначається наступним:

- Швидкістю збуту фармацевтичної продукції: по загальному каналу через оптову фармацевтичну фірму-посередник; по конкретним мережам аптек; по кожній з аптек мережі.
- Швидкістю руху фармацевтичної продукції: по загальному каналу через оптову фармацевтичну фірму-посередник; по конкретним аптечним мережам.
- Витратами на реалізацію: конкретних аптек, конкретних аптечних мереж, усього каналу збуту через фармацевтичну оптову фірму-посередник.

Представлені моделі є модульними та відкритими, що надає широкі можливості додавання нових елементів з відтворенням різних конфігурацій ланцюгів збутової фармацевтичної логістики. Результати, отримані впродовж проведених на моделях експериментів, представимо фрагментарно з точки зору їх ролі в процесі прийняття управлінських рішень. Числові дані умовні, але загальні тренди наближені до реальності.

Ситуація 1.

Робота мережі моделюється протягом одного робочого дня: термін імітації – 12 годин; крок імітації – 1 година. Згідно зі стохастичним характером процесів налаштування експерименту здійснено за n-ю кількістю прогонів. Обсяги транспортування та продажів продукції (в даній ситуації і надалі) представлені в натуральних одиницях виміру (упаковках). Фрагменти результатів наведені на рис. 3.

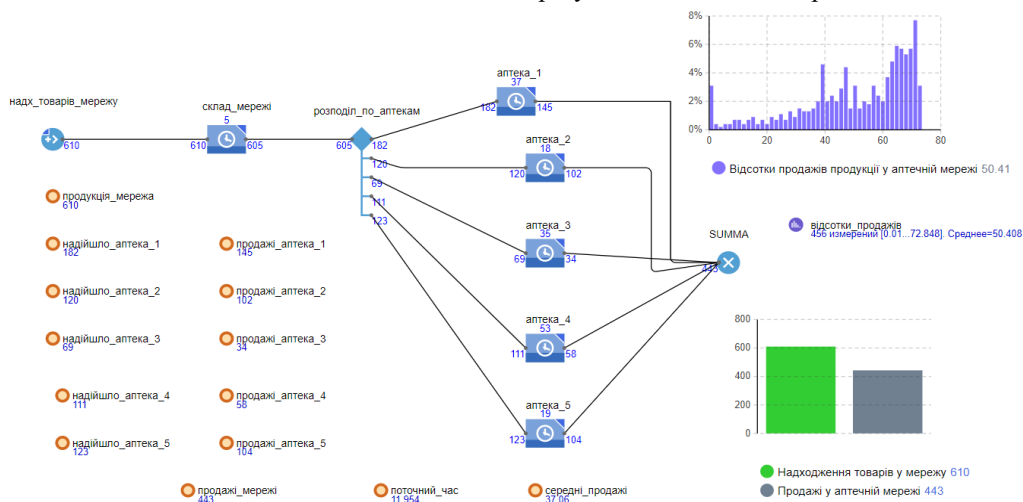


Рисунок 3. Моделювання однорівневого каналу збуту: ситуація 1

Джерело: власна розробка автора

Як видно з наведеного, протягом робочого дня у мережу надійшло 610 упаковок препаратів. З них по п'яти аптеках мережі аналіз результатів надходження та продажу довів, що найбільш ефективними є аптеки №1, 2, 5. Водночас, розподіл продукції по ланкам мережі було проведено за нерівномірними квотами. Середній продаж по мережі в годину складає 37 упаковок. Середній відсоток продажів – 50,4. Динаміка відсотків продажів протягом досліджуваного періоду наведена на гістограмі. Загалом протягом робочого дня згідно достатньої кількості товарів на складі та

оперативного ритмічного постачання до аптек мережа працює ефективно.

Ситуація 2.

Часові налаштування моделі не змінюються. Зміни стосуються квотування розподілу фармацевтичних препаратів зі складу мережі до аптек: має місце рівномірний розподіл.

В результаті – ефективність роботи аптек не змінилася: найбільш ефективними є аптеки №1, 2, 5. Зменшилися середні продажі в мережі. Відповідно погіршилася динаміка відсотків продажів – рис. 4.



Рисунок 4. Динаміка продажів продукції у аптечній мережі  
Джерело: власна розробка автора

Таким чином, підвищення ефективності роботи мережі може бути досягнуто за рахунок проведення відповідних організаційних заходів: підвищення ефективності продажів аптек 3 та 4; перерозподілу продукції зі складу мережі за квотами, більшими для ефективних аптек (аптеки 1, 2, 5).

Однак, при здійсненні експериментів на більш тривалому періоді результати роботи мережі можуть змінитися. Тому наступні експерименти були проведені зі зміною часових налаштувань.

Ситуація 3.

Крок імітації – година. Загальний термін імітації – 360 годин.

Результати експерименту довели, що мережа протягом місяця практично реалізує всі

фармацевтичні товари, що надходять до неї. До того ж більш ефективно спрацюють аптеки №3 та 4, які у перших експериментах були дещо проблемними. Тобто за місяць вони встигають здійснити продажі більшої частини товарів, що отримали з оптового складу мережі.

Витрати на реалізацію продукції у мережі достатньо стабільні. Тому в наведених результатах експериментів на них не концентрується увага.

Ситуація 4.

Як було наголошено, компанія «ФАРМАК» застосовує різні канали розподілу продукції. Тому важливим питанням є визначення доцільних квот розподілу продукції між різними ланцюгами постачання.

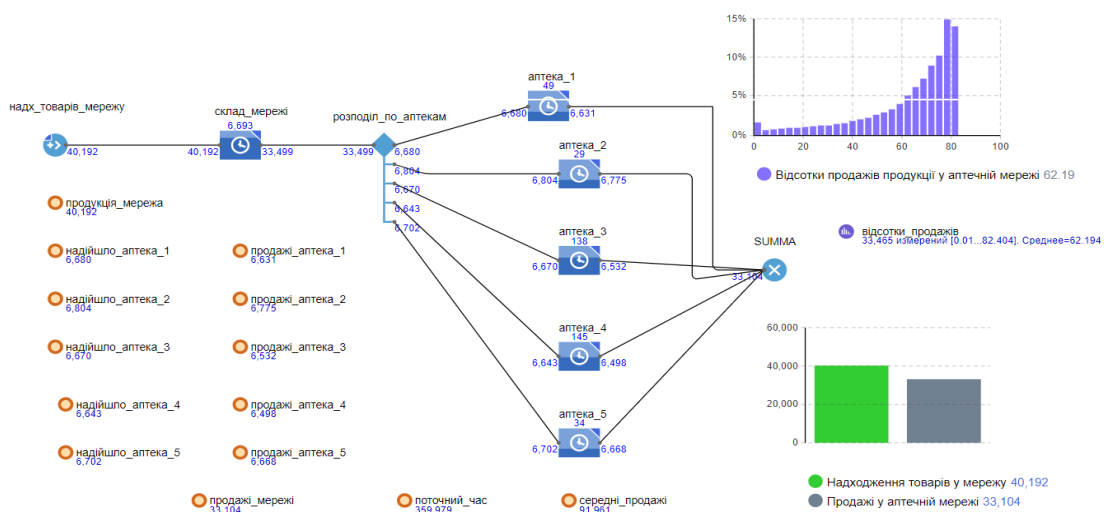


Рисунок 5. Моделювання однорівневого каналу збуту: ситуація 4  
Джерело: власна розробка автора

Дана ситуація призначена розглянути можливості використання однорівневого каналу в умовах, коли через нього збільшиться розподіл готової продукції. Часові параметри налаштування не змінюються порівняно з ситуацією 3, тобто крок імітації – година. Термін імітації – місяць. Інші налаштування – збільшується інтенсивність надходження продукції до мережі та розглянуто пропускну спроможність оптового складу. Результати експерименту (рис. 5) довели, що оптовий склад мережі є «вузьким місцем». Надходження/продаж фармацевтичних препаратів до мережі становить 40192/33104 упаковки.

При цьому вихід продукції зі складу для розподілу в мережі становить 33499 упаковок.

Тобто, фактично майже вся продукція, відвантажена зі складу до мережі, розподілена та реалізована в аптеках. Обмеження – пропускну спроможність складу. Згідно з цим значно зменшився середній відсоток продажів по мережі – 62%. Хоча середні продажі в годину становлять майже 92 упаковки.

Зважаючи на те, що становище складської інфраструктури за роки війни є проблемним, а саме склади компанії зазнали найбільших руйнувань й пошкоджень, ситуацію кардинально виправити не вдасться. Тому продовжує відігравати значну роль

дворівневий канал постачання фармацевтичної компанії, для якого на моделі була проведена наступна серія експериментів.

Ситуація 5.

Часові налаштування моделі: крок імітації – день; термін імітації – місяць. Результати експерименту наведені на рис. 6.

Розподіл продукції між мережами здійснено нерівномірно: мережі 1 відвантажено значно більший обсяг продукції. Проте інтенсивність роботи мережі значно нижча – середній відсоток продажів становить 82.7 проти 94.98 по другій мережі. «Вузьким місцем» системи виявився оптовий склад. Аналіз наявної ситуації довів, що не зважаючи на відповідні умови зберігання та достатні площі, відвантаження препаратів йде повільно. Значна затримка у часі пояснюється недоліками організації транспортної інфраструктури. Час зберігання товарів на складі є надмірним, хоча наявності прострочених препаратів не спостерігається. Аптеки мережі загалом працюють ефективно.

Коефіцієнт ефективності функціонування мережі 2 є високим: середні продажі – 324 упаковки на день. Зберігання та відвантаження продукції здійснюються за графіком, прострочених препаратів не спостерігається.

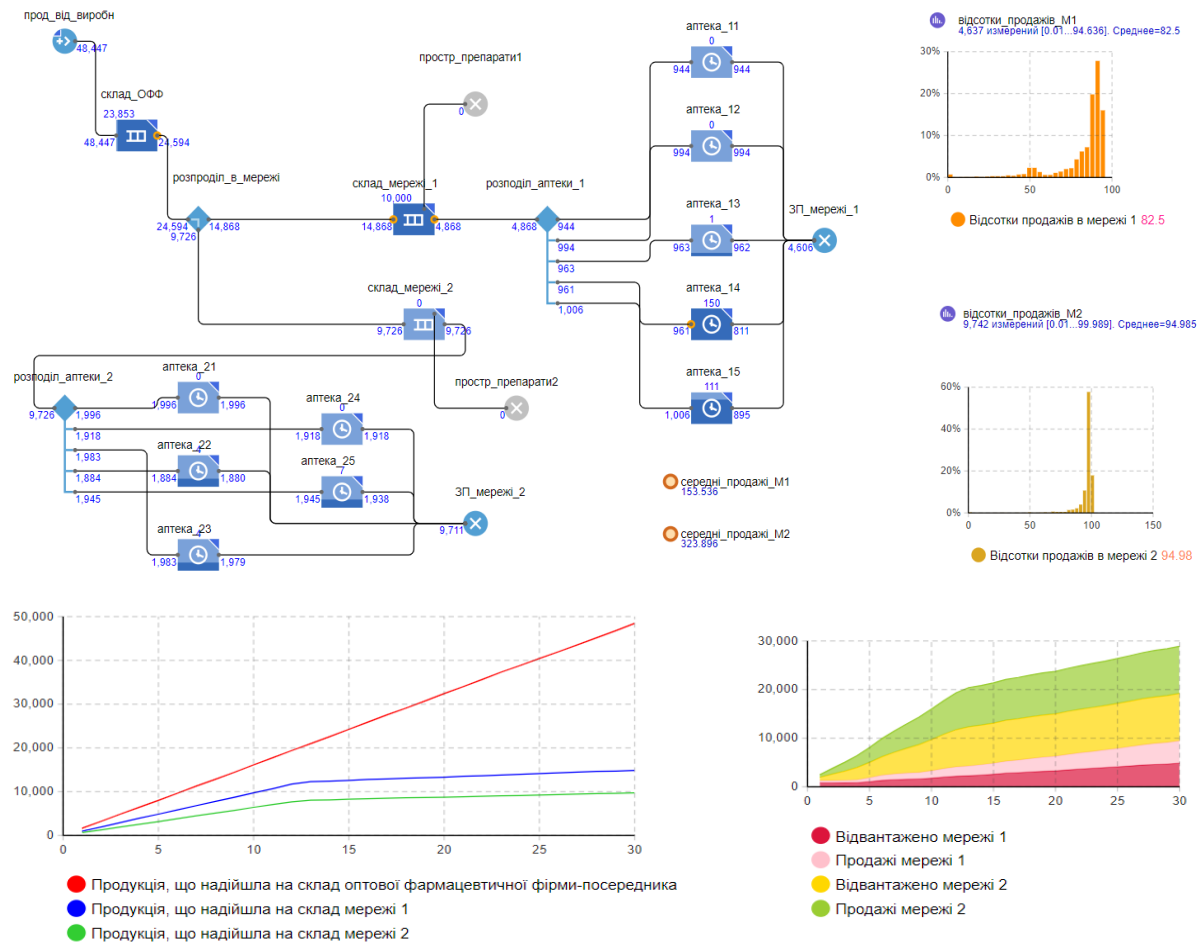


Рисунок 6. Моделювання дворівневого каналу збуту: ситуація 5

Джерело: власна розробка автора



Головне «вузьке місце» – склад фармацевтичного посередника. Надмірне залежування товарів на складі є причиною недовантаження аптечних мереж.

Таким чином, головна проблема наведеного логістичного ланцюга – неефективна робота транспортно-складської інфраструктури.

Ситуація 6.

Метою експериментів було дослідити роботу логістичної системи в умовах її розвантаження, для чого зменшувалася інтенсивність поставок компанії-виробника оптовому посереднику. Також були значно збільшені квоти розподілу продукції на користь аптечної мережі 2.

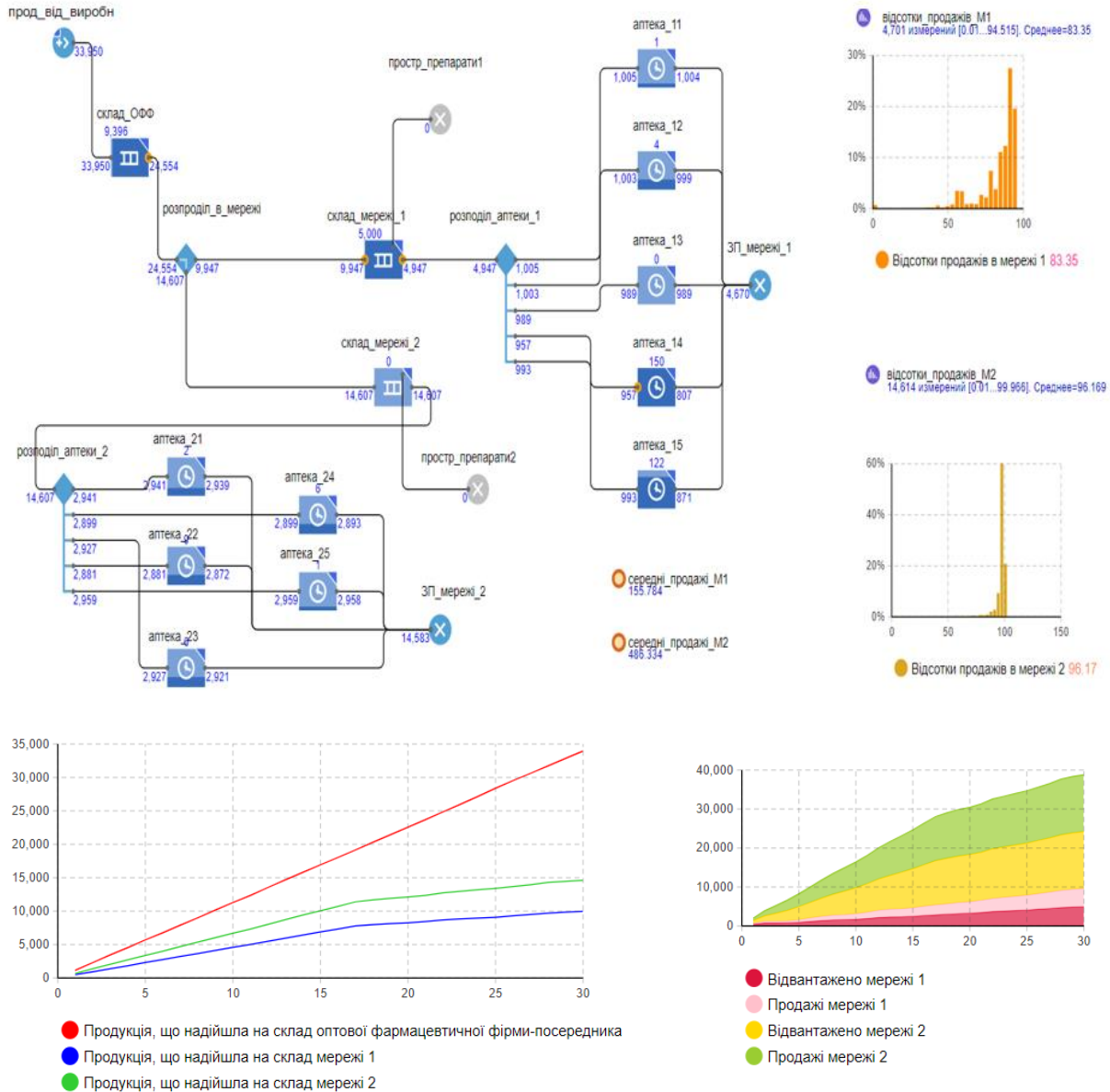


Рисунок 7. Моделювання дворівневого каналу збуту: ситуація 6  
Джерело: власна розробка автора

Отримані результати (рис. 7) довели більш ефективну експлуатацію транспортно-складської інфраструктури.

Покращилася ситуація з середніми продажами по мережам: значне зростання по мережі 2 та деяке зростання навіть по мережі 1. Оптові склади обох мереж продовжували працювати без прострочених препаратів. Однак, проблеми з транспортно-складською інфраструктурою залишилися. «Вузькими місцями» залишилися оптовий склад фармацевтичного посередника та склад аптечної мережі 1. Загальний висновок полягає в тому, що

даний логістичний ланцюг слід ще розвантажити, спрямовуючи частку продукції на інші канали: при цьому збільшиться обсяг продажів та знизяться витрати, пов'язані зі зберіганням продукції на складах й загальні витрати на реалізацію.

Згідно отриманому висновку на моделі досліджувалися також альтернативні канали постачання.

Ситуацій в реальних процесах функціонування логістичних систем фармацевтичних компаній може бути безліч. В даному контексті наведені лише окремі фрагменти імітаційних експери-

ментів, що можуть бути використані в процесах прийняття управлінських рішень та доводять працездатність запропонованого модельного додатку.

### Висновки

Фармацевтична галузь має велике значення для розвитку вітчизняної економіки. Однією з основних підсистем, що забезпечують її функціонування, є фармацевтична логістика, яка на поточному етапі перебуває у періоді інтенсивних трансформацій. За воєнних часів знищення традиційних логістичних ланцюгів, суттєві пошкодження транспортно-складської інфраструктури, релокація виробничих потужностей фармацевтичних компаній призвели галузь до суттєвих проблем; гостро поставили завдання пошуку нових можливостей підвищення ефективності логістичних систем фармацевції.

В цих умовах зростає роль математичних інструментів дослідження логістичних ланцюгів; вивчення їх пропускної спроможності та визначення можливих «вузьких місць» на перспективу. До одного з актуальних напрямків інструментальної підтримки належить імітаційне моделювання, що здобуло за останні десятиліття значного розвитку у створенні промислових модельних додатків складних соціально-економічних систем та процесів.

Розповсюдженню методів імітації сприяє можливість відтворення процесів різної природи в динаміці, з врахуванням багатьох стохастичних змінних, що імітує мінливість й невизначеність зовнішнього та внутрішнього середовища функціонування досліджуваних об'єктів. Імітаційні моделі відрізняються гнучким параметричним налаштуванням, модульністю та відкритістю. Наявність

потужних програмних платформ дозволяє реалізувати різні типи імітаційних експериментів без внесення додаткових змін у моделі. Все це створює умови для використання будь-якої імітаційної моделі як тренажера для відпрацювання необхідних експериментатору господарчих ситуацій.

Завдяки переліченим властивостям апарат імітаційного моделювання має певне впровадження в сфері розв'язання логістичних задач. Водночас, фармацевтична логістика відрізняється від стандартних завдань специфікою галузі застосування.

Представлені у дещо спрощеному вигляді моделі однорівневого та дворівневого каналів постачання готової фармацевтичної продукції надають уявлення про широкі можливості відображення гнучких архітектур логістичних систем будь-яких рівнів, існуючих/підлягаючих створенню для промислових фармацевтичних компаній. Завдяки відкритості моделей додавання необхідних нових елементів та внесення відповідних змін згідно конкретним умовам не викликає труднощів. Потужна програмна платформа реалізації AnyLogic дозволяє проведення численних імітаційних експериментів при відповідному параметричному налаштуванні. Коло експериментальних ситуацій в процесі промислової експлуатації моделей буде суттєво розширюватися. На моделі можуть бути враховані впливи змін цінних стратегій; сезонність користувальницького попиту на різні групи фармацевтичних препаратів; елементи впливу епідемій та т. і., тобто все, що відбивається на інтенсивності реалізації фармацевтичної продукції та на загальному рівні продажів.

### Abstract

The pharmaceutical industry related to the health care system is of great socio-economic importance and is one of the important components of the Ukrainian economy. The industry is an important segment of the national market, characterized by a large knowledge-intensive and developed cooperation. Pharmaceutical enterprises have a complex production cycle in compliance with established standards, specific requirements for ensuring the processes of selling finished products. Pharmaceutical logistics is closely related to ensuring the full cycle of production and sales of products.

The logistical potential of the pharmaceutical industry is the basis for increasing its competitiveness in a changing and dynamic commodity market. During the full-scale military aggression, the logistics system of pharmacy underwent significant transformations due to the destruction of warehouse and transport infrastructure, power outages, destruction of roads, relocation of many pharmaceutical companies and their branches, loss of traditional suppliers of raw materials and buyers of pharmaceutical products. Under these conditions, there are tasks of restoring and improving the efficiency of the logistics system of the industry, which requires the use of flexible mathematical tools. The expediency of using simulation modeling as an apparatus for creating simulator models for working out managerial decisions regarding the transformation of pharmaceutical logistics is proved. An overview of developments and instrumental model applications existing in this area is provided. The aim of the study is to present simulation models of pharmaceutical sales logistics on the example of typical sales channels of a large pharmaceutical company. The facility was Farmak's pharmaceutical company, one of the leading enterprises in the industry. The developed simulation models of one-level and two-level sales channels of pharmaceutical products are presented. The methodological basis of the models is the discrete-event paradigm of simulation.

The software platform is the AnyLogic multi-approach simulation modeling system. Fragments of the results of simulation experiments carried out in various situations that arise during the functioning of supply logistics chains are presented. The wide possibilities of displaying flexible architectures of logistics systems of any level,

existing/to be created for industrial pharmaceutical companies, are illustrated. The models are open and modular, which positions their sufficient typicality and the possibility of easy adaptation to the special conditions of functioning of real logistics systems.

### Список літератури:

1. Нечипорук А., Кочубей Д. Фармацевтична логістика в умовах воєнного стану. //The international scientific and practical journal commodities and markets. June 2023. 46(2):4-15. DOI: 10.31617/2.2023(46)01.
2. Дванадцять найважливіших трендів фармацевтичної галузі у 2024 році. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://promoboz.com/journal/uncategorized/12-najvazhlyvishyh-trendiv-farmatsevtichnoyi-galuzi-u-2024-rotsi>.
3. Холодна логістика: актуальні проблеми та тренди на 2024 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://trans.info/ua/holodna-logistyka-aktualni-problemy-ta-trendy-na-2024-rik-376608>.
4. Global pharmaceutical logistics market size & share analysis – growth trends & forecasts (2023-2028). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.technavio.com/report/pharmaceutical-logistics-market-industry-analysis>.
5. Jetly G., Rossetti C. L., Handfield R. (2012). A multi-agent simulation of the pharmaceutical supply chain. Vol. 6, issue 4, 2012. pp. 215-226. DOI: 10.1057/jos.2011.26.
6. Franco Carlos (2020). A simulation model to evaluate pharmaceutical supply chain costs in hospitals: the case of a Colombian hospital. DARU Journal of Pharmaceutical Sciences (2020). 28:1-12.
7. Moosivand, A., Ghatari, A.R., Rasekh, H.R. Supply chain challenges in pharmaceutical manufacturing companies: Using qualitative system dynamics methodology. Iran. J. Pharm. Res. 2019, 18, 1103-1116.
8. Joe Viana, Kim van Oorschot, Christine Ardal. (2021). Assessing Resilience of Medicine Supply Chain Networks to Disruptions: a Proposed Hybrid Simulation Modeling Framework. / Proceedings of the 2021 Winter Simulation Conference. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.anylogic.com/upload/iblock/818/6dardcykf1ns5r2cskrmv8lqz5h2tqza.pdf>.
9. Sokolovska, Z., Klepikova, O., Ivchenko, I., Ivchenko, O. (2024) Models-Simulators in Business Decision-Making Processes for Pharmaceutical Enterprises. //Lecture Notes in Business Information Processing, 2024, 486, pp. 3-18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-51664-1\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-51664-1_1).
10. Website The AnyLogic company. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.com>.
11. Офіційний вебсайт компанії «Фармак». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bit.ly/2T6foOP>.
12. Levchenko V.O. (2015) Modelling of commodity flows of drugstore chains using system dynamics tools // Technology audit and production reserves. 2015. № 3/5(23). pp. 28-34.
13. Загурський О.М. Управління ланцюгом постачань. Київ: 2023. 333 с.
14. Самостян В.Р. (2020) Ефективне використання підходів для імітаційного моделювання логістичних процесів. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2020. № 2 (15). С. 127-133
15. Proceedings of Winter Simulation Conference ( The premier international forum for disseminating recent advances in the field of system simulation). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2023\(2022 ...\)](http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2023(2022 ...)).
16. Proceedings of EUROSIM (Federation of European Simulation Societies (EUROSIM) 1992-2023). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eurosim.info/publications>.
17. Proceedings of ASIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.asim-gi.org/asim>.

### References:

1. Nechyporuk, A., & Kochubei, D. (2023). Pharmaceutical logistics under martial law. The international scientific and practical journal commodities and markets, 46(2), 4-15. DOI: 10.31617/2.2023(46)01 [in Ukrainian].
2. Twelve most important trends in the pharmaceutical industry in 2024. (n.d.). Retrieved from: <https://promoboz.com/journal/uncategorized/12-najvazhlyvishyh-trendiv-farmatsevtichnoyi-galuzi-u-2024-rotsi> [in Ukrainian].
3. Cold logistics: current problems and trends for 2024. (n.d.). Retrieved from: <https://trans.info/ua/holodna-logistyka-aktualni-problemy-ta-trendy-na-2024-rik-376608> [in Ukrainian].

4. Global pharmaceutical logistics market size & share analysis – growth trends & forecasts (2023-2028). (n.d.). Retrieved from: <https://www.technavio.com/report/pharmaceutical-logistics-market-industry-analysis> [in English].
5. Jetly, G., Rossetti, C.L., & Handfield, R. (2012). A multi-agent simulation of the pharmaceutical supply chain. Vol. 6, issue 4, 215-226. DOI: 10.1057/jos.2011.26 [in English].
6. Franco, C. (2020). A simulation model to evaluate pharmaceutical supply chain costs in hospitals: the case of a Colombian hospital. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 28, 1-12 [in English].
7. Moosivand, A., Ghatari, A.R., & Rasekh, H.R. (2019). Supply chain challenges in pharmaceutical manufacturing companies: Using qualitative system dynamics methodology. *Iran. J. Pharm. Res.*, 18, 1103-1116 [in English].
8. Viana, J., van Oorschot, K., & Ardal, C. (2021). Assessing Resilience of Medicine Supply Chain Networks to Disruptions: a Proposed Hybrid Simulation Modeling Framework. *Proceedings of the 2021 Winter Simulation Conference*. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/upload/iblock/818/6dardcykf1ns5r2cskrmv8lqz5h2tqza.pdf>.
9. Sokolovska, Z., Klepikova, O., Ivchenko, I., & Ivchenko, O. (2024). Models-Simulators in Business Decision-Making Processes for Pharmaceutical Enterprises. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 486, 3-18. Retrieved from: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-51664-1\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-51664-1_1) [in English].
10. Website The AnyLogic company. (n.d.). Retrieved from: <http://www.anylogic.com> [in English].
11. Official website of Farmak company. (n.d.). Retrieved from: <https://bit.ly/2T6foOP> [in Ukrainian].
12. Levchenko, V.O. (2015). Modelling of commodity flows of drugstore chains using system dynamics tools. *Technology audit and production reserves*, 3/5(23), 28-34 [in English].
13. Zahurskyi, O.M. (2023). Supply chain management. Kyiv. [in Ukrainian].
14. Samostian, V.R. (2020). Effective use of approaches for simulation modeling of logistics processes. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti*, 2(15), 127-133 [in Ukrainian].
15. *Proceedings of Winter Simulation Conference (The premier international forum for disseminating recent advances in the field of system simulation)*. (n.d.). Retrieved from: [http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2023\(2022...\)](http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2023(2022...)) [in English].
16. *Proceedings of EUROSIM (Federation of European Simulation Societies (EUROSIM) 1992-2023)*. (n.d.). Retrieved from: <https://www.eurosim.info/publications> [in English].
17. *Proceedings of ASIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation)*. (n.d.). Retrieved from: <https://www.asim-gi.org/asim> [in English].

**Посилання на статтю:**

Соколовська З.М. Імітаційні моделі фармацевтичної логістики / З.М. Соколовська // *Економіка: реалії часу*. Науковий журнал. – 2024. – № 4 (74). – С. 99-110. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/files/archive/2024/No4/99.pdf>.

DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11. DOI: 10.5281/zenodo.13851959.

**Reference a Journal Article:**

Sokolovska Z.M. *Simulation Models of Pharmaceutical Logistics* / Z.M. Sokolovska // *Economics: time realities. Scientific journal*. – 2024. – № 4 (74). – P. 99-110. – Retrieved from: <https://economics.net.ua/files/archive/2024/No4/99.pdf>.

DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11. DOI: 10.5281/zenodo.13851959.

