

УДК 658.7:519.2

DOI: <https://doi.org/10.32782/CMI/D2026-18-6>**Шмиголь Н.М.**

доктор економічних наук, професор,
Національний університет «Запорізька політехніка»;
Warsaw University of Technology, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5932-6580>

Демченко С.В.

аспірант,
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3758-2685>

Антонюк А.А.

Collegium Civitas, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2577-5160>

Антонюк А.А.

Класичний приватний університет, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9591-394X>

СТОХАСТИЧНІ ОСНОВИ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТОРГОВЕЛЬНО-ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

У статті проаналізовано стохастичну природу логістичної інфраструктури сучасного торговельно-виробничого підприємства (ТВП), як складної динамічної системи. Досліджено вплив невизначеності зовнішнього середовища, зокрема в умовах воєнного стану в Україні, на стабільність матеріальних потоків та ефективність функціонування логістичних вузлів. Виявлено, що традиційні підходи до управління, які базуються на усереднених рівнях випадкових показників, є недостатніми, що зумовлює необхідність переходу до стохастичного моделювання. Тому, в роботі було удосконалено математичні основи управління стохастичною інфраструктурою ТВП шляхом розробки алгоритму ідентифікації законів розподілу її ключових метрик; розроблено трикрокову процедуру ідентифікації, яка базується на комплексному аналізі метрик (процесних та ресурсних), фізичному змісті логістичних операцій та статистичних властивостях вхідних даних; проведено класифікацію логістичних показників за природою випадкових величин (дискретні та неперервні); обґрунтовано критерії застосування та систематизовано задачі для основних законів розподілу: дискретних (рівномірний, Пуассона, біноміальний) та неперервних (рівномірний, нормальний, логнормальний, показовий). Це дало можливість провести співставлення комплексу задач логістичного управління з інструментарієм для їхнього вирішення.

Ключові слова: логістична інфраструктура, стохастичність, торговельно-виробниче підприємство, закон розподілу, пропускна здатність, матеріальний потік, невизначеність середовища, оптимізація потужності, черги обслуговування, синхронізація потоків.

Shmygol Nadiia

National University Zaporizhzhia Polytechnic;
Warsaw University of Technology, Poland

Demchenko Serhii

National University Zaporizhzhia Polytechnic

Antoniuk Anatolii

Collegium Civitas, Poland

Antoniuk Andrii

Classic Private University

STOCHASTIC FOUNDATIONS OF LOGISTICS INFRASTRUCTURE FOR A TRADING AND MANUFACTURING ENTERPRISE

The article analyzes the stochastic nature of the logistics infrastructure of a modern trading and manufacturing enterprise (TME) as a complex dynamic system. The impact of external environmental uncertainty, particularly under martial law conditions in Ukraine, on the stability of material flows and the efficiency of logistics nodes is examined. It has been established that traditional management approaches based on average values of random indicators are insufficient, which necessitates a transition to stochastic modeling. Therefore, the study improves the mathematical foundations of managing the stochastic infrastructure of a TME by developing an algorithm for identifying the probability distribution laws of its key metrics. A three-stage identification procedure has been developed, based on a comprehensive analysis of metrics (process and resource-based), the physical nature of logistics operations, and the statistical properties of input data. In addition, a classification of logistics indicators according to the nature of random variables (discrete and continuous) has been carried out. Criteria for the application of various distribution laws have been substantiated, and tasks corresponding to the main types of distributions have been systematized, including discrete distributions (uniform, Poisson, binomial) and continuous distributions (uniform, normal,



lognormal, exponential). This made it possible to align a set of logistics management problems with appropriate analytical tools for their solution. The results of the study also highlight the importance of integrating stochastic approaches into practical logistics management, especially in highly volatile environments. The proposed methodological framework allows enterprises to better anticipate fluctuations in material flows and optimize infrastructure capacity under uncertainty. This approach contributes to improving decision-making quality and enhances the overall resilience of trading and manufacturing enterprises in conditions of dynamic and unpredictable external influences, although some limitations of data availability may still remain.

Keywords: *logistics infrastructure, stochasticity, trading and manufacturing enterprise, probability distribution, throughput capacity, material flow, environmental uncertainty, capacity optimization, service queues, flow synchronization.*

Постановка проблеми. Стан розвитку логістичної інфраструктури сучасного торговельно-виробничого підприємства (ТВП) на сьогоднішній день є одним із ключових факторів його стійкості на ринку. В умовах глобальної економічної нестабільності, логістичну інфраструктуру неможливо розглядати лише як статичний набір матеріальних активів – складських приміщень, транспортних засобів чи виробничо-технологічних підсистем. Вона трансформується у складну динамічну систему, головним завданням якої є забезпечення безперервного руху матеріальних потоків у середовищі, що постійно змінюється.

Специфіка функціонування ТВП полягає в необхідності синхронізації двох різних процесів: ритмічного виробничого циклу та мінливого ринкового попиту. Це створює особливі умови для логістичної інфраструктури, яка має виступати «демпфером», або стабілізатором. Зовнішнє середовище характеризується високим рівнем невизначеності: від затримок у постачанні сировини до різких коливань обсягів замовлень від кінцевих споживачів. У таких обставинах, будь-який збій у роботі транспортного терміналу, або дефіцит складських площ спричиняє ланцюгову реакцію, що призводить до зростання операційних витрат та втрати клієнтів. Саме тому, традиційні підходи до управління інфраструктурою, що базуються на середніх показниках, втрачають свою ефективність. Наукове обґрунтування розвитку інфраструктури вимагає переходу до методів імовірнісного моделювання. Це дозволяє не просто описувати поточний стан об'єктів, а точно оцінювати їхню необхідну популяцію, враховуючи можливі ризики та пікові навантаження.

Окремо слід зазначити, що в умовах воєнного стану в Україні, функціонування логістичної інфраструктури набуває критичного значення, оскільки підприємства змушені працювати в режимі постійних безпекових ризиків, енергетичної нестабільності та руйнування традиційних ланцюгів поставок. Тому, вказані виклики перетворили стохастичність із теоретичної категорії на щоденний операційний фактор. За таких обставин, здатність інфраструктури ТВП адаптуватися до різних її непередбачуваних змін стає питанням не лише економічної ефективності, а й виживання бізнесу. Це потребує відмови від спрощених моделей планування на користь глибинного аналізу імовірнісних характеристик логістичних процесів. Саме розуміння стохастичної природи навантаження на логістичну систему в умовах підвищеної невизначеності воєнного часу дозволяє формувати інфраструктурний потенціал, здатний витримувати екстремальні коливання та забезпечувати безперебійність життєво важливих торговельно-виробничих циклів.

Таким чином, розуміння стохастичної (випадкової) природи логістичних процесів, стає обов'язковою умо-

вою для прийняття ефективних управлінських рішень щодо її функціонування та розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукового дискурсу останніх років свідчить про зміщення фокусу досліджень від класичної оптимізації витрат до концепцій адаптивного управління логістичною інфраструктурою в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

В роботі Гірної О.Б. та Петляківського О.А. досліджується трансформація українського ринку логістики під впливом повномасштабного вторгнення та воєнного стану. Автори аналізують, як галузь адаптувалася до блокади морських портів та руйнування інфраструктури шляхом переорієнтації на автомобільні та залізничні перевезення через західні кордони. Особлива увага приділяється актуальним трендам, таким як цифровізація процесів, розвиток складського господарства та впровадження послуг фулфілменту. У роботі також висвітлено гострі виклики, зокрема дефіцит кадрів через мобілізаційні процеси та необхідність залучення інвестицій для відбудови об'єктів. Загалом джерело підкреслює високу гнучкість вітчизняної логістичної системи та її здатність до виживання в екстремальних умовах. Прогнози на майбутнє пов'язуються з подальшою інтеграцією до європейського простору та впровадженням інноваційних технологій управління [1].

У монографії [2] М. Григорак висвітлює широкий спектр теоретичних, методологічних та прикладних проблем, пов'язаних із трансформацією та інтелектуалізацією ринку логістичних послуг в умовах переходу до економіки знань. До основних проблем, що розглядаються автором, належать:

- теоретико-методологічні виклики – відсутність єдиного системного підходу до обґрунтування впливу розвитку ринку логістичних послуг на ефективність та конкурентоспроможність національної економіки;

- проблеми державного регулювання та інституційного середовища – пошук компромісу між саморегулюванням ринку та втручанням держави. Автор вказує на відсутність дієвих механізмів регулювання ринкових відносин у складних логістичних системах, констатується слабкість ринкових інституцій та неефективність державного регулювання;

- реалізація логістичного потенціалу України – необхідність виявлення бар'єрів та стимулів у реалізації транзитного та експортного потенціалу країни;

- інфраструктурні проблеми – необхідність розбудови транспортної, складської та інформаційно-комунікаційної інфраструктури, яка відповідає потребам сьогодення. Висвітлено проблеми системного недофінансування, технічної відсталості та високого рівня зношеності основних фондів;

- висока ресурсовитратність національної економіки, де логістичні витрати становлять значну частку ВВП (15–20%). Також вказується на низьку готовність

вітчизняного бізнесу до логістичного аутсорсингу через ризики втрати контролю над процесами;

– інформатизація та цифровізація – необхідність розвитку цифрових коридорів та впровадження електронного документообігу для інтеграції України до глобальних логістичних мереж.

Отже, дослідження [2] фокусується на вирішенні суперечностей між потребою в інноваційному розвитку логістики та існуючими інфраструктурними, інституційними й кадровими обмеженнями в Україні. Також автор доводить, що стохастичність є невід'ємною рисою сучасної логістики, де параметри потоків (час прибуття, тривалість обслуговування) підпорядковуються законам розподілу випадкових величин, а ефективність управління визначається здатністю системи до гнучкої та стійкої адаптації до випадкових ринкових чинників.

Робота Гнедіної К. присвячена аналізу сучасного стану та перспектив розвитку логістичної інфраструктури України в умовах повномасштабного вторгнення [3]. Дослідження відокремлює специфіку функціонування логістики на західних кордонах порівняно з небезпечними північними та східними ділянками. Особлива увага приділяється необхідності впровадження європейських стандартів, залученню інвестицій та цифровізації процесів для сталого відновлення галузі. Процес адаптації в даній роботі розглядається як критично необхідний для виживання галузі в умовах кризових явищ воєнного часу, що залишається однією з ключових проблем сьогодення.

Поліванцев А. присвятив дослідження [4] стратегічним пріоритетам розвитку логістичної інфраструктури України в умовах воєнного стану та економічної нестабільності. Автор пропонує модель інтеграції країни до глобальних ланцюгів постачання через модернізацію транспортних хабів та цифровізацію процесів. Особлива увага приділяється контейнеризації вантажів та адаптації української залізниці до європейських стандартів. Використовуючи SWOT-аналіз та сценарне планування, в роботі визначається шлях до економічного зростання через реалізацію транзитного потенціалу. Поняття адаптивності та стохастичності в даному дослідженні розглядаються через призму стійкості логістичних систем до кризових умов.

В роботі [5] основна увага приділяється уточненню поняття логістичної системи підприємства, яка поділяється на зовнішні об'єкти, такі як фінансові та інформаційні мережі, та внутрішні компоненти, включаючи транспорт і склади. Смирнова М. зазначає, що розвинена інфраструктура є фундаментом для ефективного руху матеріальних потоків від виробника до споживача. В цілому, дослідження спрямоване на покращення управлінських рішень та розвиток національної економіки в умовах глобалізації.

Цеслів О.В. та Гришко М.П. присвятили роботу [6] розробці та застосуванню стохастичних моделей для оптимізації процесів управління товарними запасами в умовах ринкової невизначеності. Автори пропонують математичні підходи для розрахунку оптимальної кількості поставок та ефективного розподілу інвестиційних ресурсів, враховуючи обмеження за масою, обсягами та фінансовими ресурсами. У дослідженні використано методи динамічного програмування та принципи Белмана для аналізу попиту, як випадкової

величини з різними законами розподілу. Практична значущість роботи підтверджується розрахунками для конкретного підприємства, що дозволяє мінімізувати витрати на зберігання та транспортування при одночасному збільшенні загального прибутку. Моделі допомагають приймати обґрунтовані управлінські рішення в ситуаціях, де попит і час доставки є непередбачуваними факторами.

Доцільно також відзначити, що сучасні підходи до управління підприємствами в умовах невизначеності все більше орієнтуються на інтеграцію людського фактора та ефективного використання ресурсів. Зокрема, у роботах Shmygol N. підкреслюється, що ефективність функціонування організацій значною мірою визначається рівнем залученості персоналу, яка безпосередньо впливає на прийняття управлінських рішень, продуктивність праці та загальні результати діяльності підприємства [8, р. 17–27]. Крім того, автором доведено, що мотиваційні механізми виступають важливим інструментом підвищення ефективності використання ресурсного потенціалу підприємства, що є критично важливим в умовах нестабільного зовнішнього середовища [9, р. 1–5]. У контексті логістичної інфраструктури це означає необхідність врахування не лише стохастичних характеристик матеріальних потоків, але й поведінкових факторів, що впливають на адаптивність системи управління.

Вагомий внесок у дослідження адаптаційних механізмів підприємств у кризових умовах зроблено у праці Пуліної Т.В. Так, у дослідженні [10] обґрунтовано необхідність активізації інвестиційних процесів в інноваційну діяльність підприємств як ключового фактору їх стійкості в умовах кризи. Автор підкреслює, що сучасні підприємства функціонують у середовищі підвищеної невизначеності, що вимагає переходу до гнучких моделей управління, здатних забезпечити адаптацію до швидкозмінних зовнішніх умов. Також у роботі [11] акцентується увага на ролі кластерних об'єднань та інформаційного забезпечення як інструментів підвищення конкурентоспроможності та ефективності функціонування підприємств, що є особливо актуальним для розвитку логістичної інфраструктури.

Проведений аналіз останніх досліджень показав, що розуміння стохастичної природи логістичної інфраструктури є обов'язковою умовою для прийняття ефективних управлінських рішень щодо її функціонування. З іншої сторони, увага вітчизняних науковців в більшій мірі була зосереджена на теоретичних основах організації, або вирішенні конкретних задач з використанням апарату теорії ймовірності та математичної статистики. В той же час, складна структура сучасних логістичних систем з точки зору процесного підходу й комплексу завдань, які постають перед підприємствами, вимагають системного підходу до використання зазначеного математичного апарату. Проте, в ході проведеного аналізу було з'ясовано, що даний науковий напрямок в достатній мірі не досліджувався.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є удосконалення математичних основ управління стохастичною логістичною інфраструктурою торговельно-виробничого підприємства, на основі побудови алгоритму ідентифікації законів розподілу її метрик.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для формалізації стохастичних процесів у межах логістичної інфраструктури ТВП, в рамках даного дослідження було застосовано диференційований підхід до вибору й обґрунтування законів розподілу. Верифікацію обраних моделей запропоновано здійснювати за допомогою критерію Пірсона, що дозволяє підтвердити адекватність обраного ймовірнісного опису випадкової величини реальним операційним даним підприємства.

Розроблений алгоритм ідентифікації закону розподілу логістичних показників торговельно-виробничого підприємства виходить з трикрокової процедури, яка базується на:

- аналізі метрик – це перетворення вхідних даних на інформацію про стан об'єкта, або процес кількісної оцінки показників функціонування логістичної системи для прийняття управлінських рішень. Наприклад: процесні метрики (час простою, інтервал між прибуттями), ресурсні метрики (коефіцієнт використання складської площі, пропускна здатність, рівень завантаженості) тощо;

- фізичному змісті процесів – це реальна, матеріальна природа логістичних операцій. Наприклад: наявність потоку, або поодиноких подій; залежність, або незалежність однієї події від іншої; наявність й режим роботи каналів обслуговування тощо;

- статистичних властивостях – це множина числових характеристик та ознак, які обчислюються на основі вхідних статистичних даних й дозволяють висувати гіпотези про форми розподілу випадкових величин. До них належать: математичне сподівання, дисперсія та стандартне відхилення, квадратичний коефіцієнт варіації, мода, асиметрія та ексцес, наявність автокореляції тощо.

Розглянемо етапи даного алгоритму більш детально:

1. Класифікація метрик (показників) за природою випадкових величин.

На першому етапі досліджуваній показник, динаміка якого є випадковою в часі, класифікується за множиною його можливих, або наявних значень:

- дискретна величина – показник набуває лише цілих, відокремлених значень. Наприклад: кількість прибулих фур, кількість замовлень на поставку продукції, кількість каналів обслуговування. В такому випадку, відбувається перехід до другого етапу алгоритму;

- неперервна величина – показник може набувати будь-яких значень з певної області визначення. Наприклад: час розвантаження, тривалість логістичного

циклу, дохід від реалізації продукції. В такому випадку, відбувається перехід до третього етапу алгоритму.

2. Обґрунтування вибору дискретного закону розподілу.

До найбільш поширених у виробничій сфері та логістиці законів розподілу дискретних випадкових величин відносяться: рівномірний, Пуассона та біноміальний. Їхня сутність та критерії застосування наведені в табл. 1.

Щодо критеріїв застосування рівномірного закону розподілу у випадку дискретної випадкової величини, табл. 1, слід зазначити:

- принцип недостатньої підстави – передбачає відсутність, або недостатність ретроспективних даних, через що приймається гіпотеза про наявність рівномірного розподілу. Наприклад, з виходом на новий ринок, частота замовлень по днях тижня є невідомою;

- скінченна та фіксована кількість станів – дискретний рівномірний розподіл вимагає, щоб кількість можливих значень системи була зліченною;

- циклічність без виражених піків – процес має стабільний циклічний характер без сезонних чи аномальних коливань;

- моделювання найгіршого сценарію – в логістичному управлінні рівномірний розподіл часто використовують як консервативний підхід, при розробці найгіршого сценарію розвитку подій.

Рівномірний закон розподілу в управлінні логістичною інфраструктурою виробничого підприємства, може використовуватись для вирішення таких задач:

- планування циклічних процесів – якщо логістичні процеси жорстко прив'язані до часових інтервалів, наприклад: рівномірність подачі транспортних засобів чи циклічне поповнення запасів;

- імітаційне моделювання – для стрес-тестування логістичних систем найчастіше використовуються генератори випадкових чисел з рівномірним розподілом.

Відносно критеріїв застосування закону розподілу Пуассона у випадку дискретної випадкової величини, табл. 1, слід зазначити:

- таціонарність потоку подій – математично стаціонарність означає, що інтенсивність логістичного потоку залишається незмінною в часі. Тобто, ймовірність появи певної кількості подій протягом визначеного інтервалу часу залежить лише від тривалості цього інтервалу й не залежить від його розташування на часовій осі. Прикладом стаціонарного потоку є кон-

Таблиця 1

Закони розподілу дискретних випадкових величин при моделюванні логістичної інфраструктури

Закон розподілу	Сутність закону	Критерії застосування
Рівномірний	Досліджувана метрика набуває скінченну кількість дискретних значень, а ймовірність кожного з них є однаковою	– принцип недостатньої підстави; – скінченна та фіксована кількість станів; – циклічність без виражених піків; – моделювання найгіршого сценарію
Пуассона	Описує кількість подій, що відбуваються за фіксований проміжок часу. За умови, що ці події відбуваються з відомою середньою інтенсивністю й є незалежними	– стаціонарність потоку подій; – незалежність подій; – ординарність потоку подій
Біноміальний	Описує кількість «успішних», або «неуспішних» подій у фіксованій кількості незалежних спроб	– фіксована кількість випробувань; – бінарність результату; – незалежність подій; – стала ймовірність «успішних» подій

веєрне виробництво з постійною інтенсивністю; нестационарний потік – сезонні коливання попиту;

– незалежність подій (відсутність післядії) – полягає в тому, що ймовірність появи певної кількості подій в майбутньому жодним чином не залежить від того, скільки подій відбулось в минулому. Прикладом незалежних подій є оформлення замовлень різними клієнтами в Інтернет-магазині;

– ординарність потоку подій – передбачає, що ймовірність декількох подій за нескінченно малий проміжок часу є нескінченно малою в порівнянні з ймовірністю однієї події. Іншими словами, ординарність передбачає, що події відбуваються по черзі, а не одночасно. Прикладом ординарного потоку є процес завантаження автомобілів одним терміналом, який відбувається по черзі.

За допомогою закону розподілу Пуассона в управлінні логістичною інфраструктурою виробничого підприємства, вирішуються наступні задачі:

– управління запасами та складська логістика – розрахунок страхового запасу, або визначення точки замовлення;

– теорія масового обслуговування – логістичні вузли (порти, термінали, пункти видачі) працюють за принципом систем обслуговування: надходження заявок, або вантажівок з оптимізацією пропускної здатності, шляхом моделювання довжини, або тривалості черг;

– транспортна логістика та управління парком – оцінка ймовірностей небажаних подій, що впливають на цілісність ланцюга постачання: моделювання кількості поломок вантажного транспорту для планування резервних автомобілів; моделювання кількості випадків затримки вантажу на митниці через випадкові перевірки.

Відповідно до критеріїв застосування біноміального закону розподілу у випадку дискретної випадкової величини, табл. 1, слід зазначити:

– фіксована кількість випробувань – кількість логістичних операцій є обмеженою й відомою. Наприклад, кількість рейсів за контрактом, або кількість контейнерів у замовленні;

– бінарність результату – кожна подія може мати лише два взаємовиключні стани: «успіх», або «невдача».

Наприклад, замовлення підтверджено, або скасовано; вантаж поставлений вчасно, або з затримкою;

– незалежність подій – результат однієї події не впливає на інші;

– стала ймовірність «успішних» подій – кожна подія повинна мати постійну ймовірність «успіху». Наприклад, кожний перевірений товар з однієї партії має рівну ймовірність виявитись якісним, або бракованим.

Сферами застосування біноміального закону розподілу в управлінні логістичною інфраструктурою виробничого підприємства можуть бути наступні задачі:

– контроль якості виготовленої продукції – перевірка обмеженої вибірки товарів зі всієї виготовленої партії з метою визначення ймовірності певної кількості бракованих виробів;

– управління ризиками ланцюга постачання – визначення ймовірності безвідмовної роботи певної кількості постачальників з їхньої загальної чисельності.

3. Обґрунтування вибору неперервного розподілу.

До найбільш поширених у виробничій сфері та логістиці законів розподілу неперервних випадкових величин відносяться: рівномірний, нормальний (Гауса), логнормальний та показовий (експоненційний). Їхня сутність та критерії застосування наведені в табл. 2.

Щодо критеріїв застосування рівномірного закону розподілу у випадку неперервної випадкової величини, табл. 2, слід зазначити:

– неперервність досліджуваного показника – логістична метрика за своїм економічним змістом повинна бути неперервною. Наприклад, час доставки вантажу, відстань, об'єм, вага тощо;

– наявність чітких меж, або інтервалу значень досліджуваного показника – мінімально та максимально можливі значення випадкової величини повинні бути достеменно відомими. Наприклад, час доставки вантажу від 30 до 90 хвилин, з урахуванням можливих заторів;

– відсутність «центральної тенденції» – дана ознака є головною відмінністю від інших законів розподілу. Значення випадкової величини не повинні групуватись навколо її математичного сподівання;

– принцип максимальної ентропії (невизначеності) – даний критерій слід застосовувати тоді, коли необхідно

Таблиця 2

Закони розподілу неперервних випадкових величин при моделюванні логістичної інфраструктури

Закон розподілу	Сутність закону	Критерії застосування
Рівномірний	Щільність ймовірності неперервної випадкової величини є однаковою для будь-якого значення всередині заданого інтервалу	Повна невизначеність в динаміці неперервного показника (максимальний хаос) – відомими є лише мінімальне й максимальне значення, а всі інші значення випадкової величини між ними є однаково можливими
Нормальний (Гауса)	Симетричний розподіл неперервної випадкової величини навколо середнього значення (математичного сподівання) у формі «дзвону»	– залежність логістичного процесу від великої кількості факторів, кожний з яких не є домінуючим; – симетричність відхилень; – відсутність штучних обмежень
Логнормальний	Асиметричний розподіл, скошеність праворуч; значення випадкової величини завжди додатні, мають «довгий хвіст» справа	– ефект мультиплікативного впливу факторів, що впливають на процес; – одностороння обмеженість (невід'ємність) значень випадкової величини; – асиметрія розподілу, наявність «важкого хвоста»
Показовий (експоненційний)	Події «згасають», тобто, щільність їхньої ймовірності $f(x)$ експоненційно знижується при збільшенні x	Моделювання часу очікування до настання наступної події: – щільність ймовірності настання подій максимальна в нулі та стрімко падає з часом; – стаціонарність та незалежність подій

змоделювати найгірший сценарій, що передбачає можливість критичних відхилень від плану.

За допомогою рівномірного закону розподілу в управлінні логістичною інфраструктурою виробничого підприємства, вирішуються наступні задачі:

- моделювання часу очікування – логістичні операції з доставки матеріальних ресурсів потребують певного часу;

- задача розміщення складських приміщень – моделювання випадкових точок виникнення попиту на мапі міста, для визначення координат оптимального місця розташування розподільчого центру;

- імітаційне моделювання – використовується з тією самою метою, що й у випадку дискретної випадкової величини.

Далі перейдемо до розгляду критеріїв застосування нормального (Гауса) та логнормального законів розподілу неперервних випадкових величин, зазначених в табл. 2:

- залежність логістичного процесу від великої кількості факторів, кожний з яких не є домінуючим – характер випадкової події повинний підпорядковуватись центральній граничній теоремі. Її сутність полягає в тому, що якщо взяти велику кількість випадкових незалежних факторів, навіть, якщо вони розподілені будь-як, їхня сумарна дія буде наближатись до нормального закону розподілу;

- симетричність відхилень – ймовірність того, що логістичний процес відбудеться швидше/краще за середній рівень, має бути такою самою, як й ймовірність того, що процес відбудеться повільніше/гірше;

- відсутність штучних обмежень – випадкова величина повинна мати можливість вільно відхилятися від свого математичного сподівання в обидві сторони.

Переважає більшість метрик, які описують логістичні процеси, не можуть приймати від'ємних значень. Наприклад, час доставки, витрати палива, обсяги замовлень. Логнормальний закон враховує дане обмеження, на відміну від нормального, який припускає такі відхилення. Відповідно, до критеріїв його застосування, табл. 2, можна віднести:

- ефект мультиплікативного впливу факторів, що впливають на процес – це одна з найголовніших умов, що відрізняють даний закон розподілу від нормального. Якщо логістичний процес складається з послідовних етапів й непередбачені втрати на одному з них збільшують масштаб втрат на наступному, то виникає кумулятивний ефект накопичених втрат, які підпорядковуються логнормальному закону розподілу;

- одностороння обмеженість (невід'ємність) значень випадкової величини – логістична метрика за своїм економічним, або фізичним змістом не може приймати від'ємні значення;

- асиметрія розподілу, наявність «важкого хвоста» – в логістичній системі часто відбуваються події, які неможливо прискорити через певні технічні ліміти, але безліч факторів можуть їх затримати на тривалий час.

Таким чином, до логістичних задач, які можуть вирішуватись за допомогою нормального та логнормального законів розподілу неперервних випадкових величин, можна віднести:

- управління страховими запасами – нормальний закон розподілу дозволяє науково обґрунтувати страховий запас сировини, матеріалів та готової продукції на складі;

- прогнозування попиту – для товарів зі стабільними продажами, попит зазвичай підпорядковується нормальному закону розподілу;

- моделювання часу виконання замовлення – це класична сфера застосування логнормального закону розподілу, оскільки час не може бути від'ємним, а великі затримки відбуваються частіше, ніж надшвидкі доставки;

- розподіл доходів та вартості замовлень – при дослідженні клієнтської бази методом АВС-аналізу, зазвичай міститься велика кількість дрібних замовлень й обмежена кількість великих тощо.

Наостанок, розглянемо критерії застосування показового закону розподілу. Його логіка базується на понятті інтенсивності: чим довшим є час очікування певної події, тим меншою є її ймовірність. Головна ідея полягає в тому, що короткі інтервали очікування трапляються дуже часто, а довгі – вкрай рідко. Тому:

- щільність ймовірності настання події максимальна в нулі та стрімко падає з часом – ймовірність того, що час очікування якоїсь події буде тривати нескінченно довго, наближається до нуля;

- стаціонарність та незалежність подій – події мають відбуватись із середньою інтенсивністю, а настання однієї не повинно прискорювати чи уповільнювати настання наступної.

Зважаючи на вищесказане, показовий закон може використовуватись для вирішення наступних логістичних задач:

- задачі теорії масового обслуговування – якщо потік вхідних заявок на обслуговування має Пуассонівський розподіл, то інтервали часу між заявками підпорядковуються показовому закону розподілу;

- задачі управління надійністю – для моделювання часу безвідмовної роботи обладнання.

Подальше застосування запропонованого алгоритму ідентифікації закону розподілу логістичних показників торговельно-виробничого підприємства передбачає: розробку в рамках процесного підходу структури логістичної системи; ідентифікацію процесів й форм розподілу їхніх метрик, як випадкових величин; перевірку запропонованих гіпотез та управління логістичною інфраструктурою суб'єкта господарювання, що може служити базою для подальших наукових досліджень.

Висновки.

1. Аналіз останніх досліджень й публікацій показав, що розуміння стохастичної природи логістичної інфраструктури торговельно-промислових підприємств в сучасному світі є обов'язковою умовою для прийняття ефективних управлінських рішень щодо її функціонування. З іншої сторони, увага вітчизняних науковців в більшій мірі була зосереджена на вирішенні конкретних задач з використанням апарату теорії ймовірності та математичної статистики. В той же час, складна структура сучасних логістичних систем з точки зору процесного підходу й комплексу завдань, які постають перед підприємствами, вимагають системного підходу до використання зазначеного математичного апарату в різних умовах; обґрунтованого вибору закону розподілу тієї чи іншої випадкової величини. В ході проведеного аналізу було з'ясовано, що даний науковий напрямок в достатній мірі не досліджувався.

2. Запропонований алгоритм ідентифікації законів розподілу логістичних показників торговельно-виробничого підприємства виходив з аналізу метрик, фізичного змісту процесів та статистичних властивостей вхідних даних. Проведена класифікація математичного апарату за критеріями його застосування дозволили визначити коло задач з управління логістичною інфраструктурою, які можуть вирішуватись в рамках певного інструментарію.

Науковою новизною даної роботи є удосконалення математичних основ управління стохастичною логістичною інфраструктурою торговельно-виробничого підприємства, що на відміну від існуючих виходить із необхідності комплексного системного підходу до її функціонування на основі побудови алгоритму ідентифікації законів розподілу її метрик, що дозволило систематизувати задачі та інструментарій для їхнього вирішення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гірна О.Б., Петляківський О.А. Трансформація ринку логістичних послуг в умовах воєнного стану: виклики та перспективи. *Економічний простір*. 2024. Вип. №196. С. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.196.137-143>
2. Григорак М.Ю. Інтелектуалізація ринку логістичних послуг: концепція, методологія, компетентність: монографія. Київ: Сік Груп Україна, 2017. 513 с. URL: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi79/0059417.pdf>
3. Гнедіна К.В. Сучасний стан логістичної інфраструктури прикордонних регіонів в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-4>
4. Поліванцев А.С. Пріоритети розвитку логістичної інфраструктури України. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм»*. 2024. № 20. С. 41–50. DOI: <https://doi.org/10.26565/2310-9513-2024-20-05>
5. Смирнова М. Сутність і складові інфраструктури логістичної діяльності в Україні. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2019. № 94. С. 109–117. DOI: <https://doi.org/10.37000/abbsl.2019.94.16>
6. Цеслів О.В., Гришко М.П. Стохастичні моделі управління запасами поставок товару. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2019. № 16. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.16.2019.182758>
7. Огірко О.І., Галайко Н.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Львів : ЛьвДУВС, 2017. 292 с.
8. Strelcow W., Padafet I., Shmygol N. Examining the management of job engagement and job decisions' impact on local government officials' perception of prestige. *Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law*. 2023. Vol. 27, No. 3. P. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.19192/wsfp.sj3.2023.3>
9. Shmygol N. Strategic audit of resource utilisation and management efficiency in the national economy. *Economic and Engineering Studies*. 2025. Vol. 9, No. 1. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2025.9.1-5>
10. Pulina T., Shytikova L., Zmykalo O. Ways to intensify investment processes in innovation activity of Ukraine under the Russian-Ukrainian crisis. *Management of Change and Innovation*. 2022. No. 4. P. 14–19.
11. Pulina T. Information support for the creation and development of cluster associations of enterprises in the food industry. *Business Inform*. 2013. No. 5. P. 145–152.

REFERENCES

1. Girna O.B., Petlyakivskiy O.A. (2024.) Transformation of the logistics services market under martial law: challenges and prospects. *Economic Space*. Issue No. 196. P. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.196.137-143>
2. Hryhorak M.Yu. (2017) Intellectualization of the logistics services market: concept, methodology, competence: monograph. Kyiv: Sik Group Ukraine, 2017. 513 p. Available at: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi79/0059417.pdf>
3. Gnedina K.V. (2024). Current state of logistics infrastructure of border regions under martial law. *Economy and society*. Issue 65. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-4>
4. Polivantsev A.S. (2024). Priorities of development of logistics infrastructure of Ukraine. *Bulletin of V. N. Karazin KhNU. Series "International relations. Economics. Regional studies. Tourism"*. No. 20. P. 41–50. DOI: <https://doi.org/10.26565/2310-9513-2024-20-05>
5. Smyrнова M. (2019). The essence and components of the logistics infrastructure in Ukraine. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Region*. (94), 109–117. DOI: <https://doi.org/10.37000/abbsl.2019.94.16>
6. Tsesliv, O.V. & Grishko, M.P. (2019). Stochastic models of inventory management of goods supplies. *Economic Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, no. (16). DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.16.2019.182758>
7. Ogirko O.I., Galayko N.V. (2017). Probability theory and mathematical statistics: a textbook. N.V. Galayko. Lviv: Lviv State University of Statistics. 292 p.
8. Strelcow, W., Padafet, I., & Shmygol, N. (2023). Examining the management of job engagement and job decisions' impact on local government officials' perception of prestige. *Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law*, no. 27(3), pp. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.19192/wsfp.sj3.2023.3>
9. Shmygol, N. (2025). Strategic audit of resource utilisation and management DOI: efficiency in the national economy. *Economic and Engineering Studies*, no. 9(1), pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2025.9.1-5>
10. Pulina T., Shytikova L. & Zmykalo O. (2022). Ways to intensify investment processes in innovation activity of Ukraine under the Russian-Ukrainian crisis. *Management of Change and Innovation*, no. (4), pp. 14–19.
11. Pulina T. (2013). Information support for the creation and development of cluster associations of enterprises in the food industry. *Business Inform*, no. (5), 145–152.

Дата надходження статті: 17.03.2026

Дата прийняття статті: 07.04.2026

Дата публікації статті: 29.05.2026