

О. М. КОРОБКОВА

доцент кафедри управління портовою і сервісною діяльністю  
на водному транспорті  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-003-2279-5820

## ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МИТНОГО ОГЛЯДУ ЗА ДОПОМОГОЮ СИМУЛЯЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

Актуальність дослідження зумовлена зростанням інтенсивності міжнародних транспортних потоків, ускладненням логістичних ланцюгів та підвищенням вимог до митної безпеки в умовах обмежених кадрових і технічних ресурсів пунктів пропуску. У таких умовах традиційні підходи до організації митного огляду є недостатньо ефективними, оскільки не враховують стохастичного характеру транспортних потоків, нелінійних ефектів перевантаження та необхідності балансування між швидкістю митного оформлення й глибиною контролю. Це зумовлює потребу у використанні кількісних методів аналізу та обґрунтованих інструментів підтримки управлінських рішень.

Метою статті є оптимізація системи митного огляду на основі застосування симуляційного моделювання транспортних потоків в умовах обмежених ресурсів для досягнення збалансованого співвідношення між швидкістю виконання митних процедур та ефективністю виявлення митних правопорушень.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні дискретно-подійного симуляційного моделювання в середовищах Simul8 та Arena, методів Монте-Карло для урахування стохастичної невизначеності, аналізу чутливості для виявлення критичних параметрів системи, а також елементів багатокритеріальної оптимізації. Процеси митного огляду подано у вигляді системи масового обслуговування з обмеженими ресурсами та змінною інтенсивністю потоків.

Результати дослідження засвідчують, що систему митного огляду доцільно розглядати як нелінійну стохастичну систему, у якій пропускна спроможність і результативність контролю перебувають у конфліктному взаємозв'язку. Встановлено наявність порогових значень інтенсивності транспортних потоків і ресурсного забезпечення, за яких відбувається різке зростання часу митного огляду та зниження ймовірності виявлення правопорушень. Доведено, що гнучкий розподіл кадрових і технічних ресурсів є ефективнішим, ніж екстенсивне збільшення кількості поглиблених перевірок, а надмірна інтенсифікація контролю характеризується ефектом насичення.

У висновках підсумовано, що симуляційне моделювання забезпечує науково обґрунтований інструмент оптимізації митного огляду в умовах невизначеності та обмежених ресурсів. Доведено доцільність використання оптимізаційної моделі вибору управлінських рішень для підтримання стійкого балансу між швидкістю митного оформлення та митною безпекою.

Перспективи подальших досліджень можуть бути пов'язані з інтеграцією даних реального часу, розвитком адаптивних ризик-орієнтованих алгоритмів та впровадженням цифрових систем підтримки прийняття рішень у діяльність митних органів.

**Ключові слова:** транспортні потоки, пункт пропуску, імітаційна модель, система масового обслуговування, управлінські рішення, ризик-орієнтований контроль, пропускна спроможність, стохастична невизначеність, ресурсообмежені системи.

О. М. KOROBKOVA

Associate Professor at the Department of Port and Service Management  
in Water Transport  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-003-2279-5820

## OPTIMIZATION OF THE CUSTOMS INSPECTION SYSTEM USING SIMULATION MODELING UNDER RESOURCE CONSTRAINTS

Relevance of the study is determined by the increasing intensity of international transport flows, growing complexity of logistics chains, and stricter requirements for customs security under persistent constraints of human, technical, and time resources at border crossing points. Under these conditions, traditional approaches to organizing customs inspections

prove insufficient, as they fail to adequately account for the stochastic nature of transport flows, nonlinear congestion effects, and the need to balance inspection speed with control depth. This substantiates the necessity of applying quantitative and simulation-based methods to support evidence-based managerial decisions.

The aim of the article is to optimize the customs inspection system through the application of simulation modeling of transport flows under resource constraints in order to achieve a balanced ratio between the speed of customs procedures and the effectiveness of detecting customs violations.

Research methods are based on discrete-event simulation modeling implemented in Simul8 and Arena environments, the Monte Carlo method to account for stochastic uncertainty, sensitivity analysis to identify critical system parameters, and elements of multi-criteria optimization. Customs inspection processes are represented as a queuing system with limited resources and variable flow intensity.

Research results demonstrate that the customs inspection system should be interpreted as a nonlinear stochastic system in which throughput capacity and inspection effectiveness are in a conflicting relationship. Threshold values of transport flow intensity and resource availability have been identified, beyond which inspection time increases sharply while the probability of detecting violations declines. It has been proven that flexible allocation of human and technical resources yields higher efficiency than extensive intensification of control measures, while excessive inspection rigor exhibits a saturation effect.

The conclusions summarize that simulation modeling provides a scientifically sound tool for optimizing customs inspection in conditions of uncertainty and limited resources. The feasibility of using an optimization model for selecting management decisions to maintain a stable balance between the speed of customs clearance and customs security has been proven. Prospects for further research may be related to the integration of real-time data, the development of adaptive risk-oriented algorithms, and the introduction of digital decision support systems into the activities of customs authorities.

**Key words:** transport flows, border crossing point, discrete-event simulation, queuing system, managerial decision-making, risk-based control, throughput capacity, stochastic uncertainty, resource-constrained systems.

### Постановка проблеми

Сучасні системи митного огляду функціонують в умовах зростання обсягів зовнішньоекономічних операцій, ускладнення логістичних ланцюгів та підвищених вимог до безпеки державного кордону, що істотно посилює навантаження на митні органи. За обмеженості матеріально-технічних, кадрових і часових ресурсів неефективна організація процедур митного контролю призводить до накопичення черг, збільшення часу оформлення вантажів, зростання транзакційних витрат для бізнесу та підвищення ризиків пропуску порушень митного законодавства. Водночас надмірне посилення контрольних заходів без урахування ресурсних обмежень знижує пропускну спроможність пунктів пропуску та негативно впливає на конкурентоспроможність національної економіки.

У цьому контексті актуалізується наукова проблема пошуку збалансованих управлінських рішень, які забезпечують оптимальне поєднання рівня митної безпеки та ефективності логістичних потоків. Симуляційне моделювання є інструментом, що дає змогу формалізувати складну динаміку митного огляду, відтворити взаємодію потоків вантажів, персоналу, технічних засобів контролю та інформаційних систем, а також дослідити наслідки різних управлінських сценаріїв без втручання у реальний процес. Використання таких моделей створює підґрунтя для науково обґрунтованого вибору параметрів системи митного огляду в умовах невизначеності та ресурсних обмежень.

З практичного погляду розв'язання зазначеної проблеми тісно пов'язане із завданнями підвищення пропускну спроможності пунктів пропуску, зниження часу митного оформлення, раціонального розподілу інспекційних ресурсів і мінімізації ризиків контрабанди та митних правопорушень. На науковому рівні це відповідає пріоритетам розвитку методів системного аналізу, теорії масового обслуговування та імітаційного моделювання у сфері публічного управління й митної справи, а також формує основу для впровадження доказових підходів до прийняття управлінських рішень у діяльності митних органів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Огляд сучасних досліджень дозволяє виокремити чотири взаємопов'язані наукові напрями. Перший науковий напрям пов'язаний із застосуванням імітаційного моделювання та теорії масового обслуговування для дослідження пропускну спроможності митних і суміжних логістичних об'єктів. Зокрема, Н. Лужанська (N. Luzhanska) розглядає митні вантажні комплекси як системи масового обслуговування, що дає змогу кількісно оцінювати вплив кількості каналів огляду, інтенсивності потоків та кадрових обмежень на тривалість митних процедур [1]. Імітаційне моделювання з евристичними та метаевристичними алгоритмами для оптимізації розподілу обмежених ресурсів у портових логістичних системах, що має пряму методичну релевантність для організації митного огляду транспортних засобів, поєднують Х.-П. Гсу та співавтори (Н.-Р. Hsu et al.) [2]. Симуляційно-орієнтовану оптимізацію до систем запису вантажівок у контейнерних терміналах застосовують Д. К. Бетт та колеги (D. K. Bett et al.), доводячи можливість зменшення черг і перевантажень без додаткового розширення інфраструктури [3].

Другий науковий напрям охоплює алгоритмічну оптимізацію митного огляду на основі цифрової ідентифікації, автоматизованого планування та технологій штучного інтелекту. Так, метод автоматичного планування переміщення транспортних засобів митного огляду з використанням автомобільної електронної ідентифікації та біометричного розпізнавання, що дозволяє скорочувати час контролю без збільшення кількості персоналу, пропонує

колектив науковців на чолі з С. Чжоу (S. Zhou et al.) [4]. Використання технологій штучного інтелекту в машинному митному огляді аналізують Ц. Цао (Q. Cao) та С. Чжен (X. Zheng), демонструючи їхній потенціал у стандартизації рішень та зменшенні навантаження на людські ресурси [5]. Митний контроль у контексті еволюційних ігор у складних мережах, що створює теоретичне підґрунтя для побудови симуляційних моделей стратегічної поведінки учасників митного процесу, розглядають Ю. Ву та співавтори (Y. Wu et al.) [6].

Третій науковий напрям пов'язаний з інтеграцією симуляційного моделювання з управлінням ризиками, мультимодальною логістикою та кризовими умовами функціонування транспортно-митних систем. Зокрема, ризик-орієнтовану симуляційну оптимізацію для управління мультимодальними логістичними операціями, що методично наближає дослідження до завдань митного контролю високоризикових вантажів, застосовують К. Попа та однокласники (C. Pora et al.) [7]. Гібридний підхід *simulation–optimization* для планування логістики в умовах невизначеності та жорстких ресурсних обмежень, характерних для воєнного часу, пропонують М. Резек та колеги (M. Rezek et al.) [8]. Можливості глибинного навчання з підкріпленням для оптимізації транскордонних мультимодальних маршрутів у реальному часі, що може бути інтегровано з симуляційними моделями митного огляду, досліджує колектив учених під керівництвом Ю. Сі (Y. Xi et al.) [9].

Четвертий науковий напрям охоплює економічні, фінансові та аналітичні аспекти, які формують системні ресурсні обмеження функціонування митних органів. Так, В. Рудевська та співавтори (V. Rudevskaya et al.) досліджують вплив ліквідності банківської системи в умовах війни на фінансування державного сектору, що опосередковано визначає можливості ресурсного забезпечення митних інституцій [10]. Проблеми бюджетного планування в системі місцевих фінансів аналізують О. Стороженко та М. Настенко, акцентуючи на хронічному дефіциті ресурсів як стримувальному чиннику модернізації контрольної інфраструктури [11]. Потенціал Big Data-аналітики для прогнозування логістичних потоків, що може використовуватися як інформаційна основа для симуляційних моделей навантаження митних пунктів, демонструє К. Склярєнко (K. Skliarenko) [12]. Підходи до оцінювання ризиків у зовнішньоекономічній діяльності на основі нечіткої логіки та нейронних мереж узагальнює колектив науковців на чолі з Н. Ло (N. Luo et al.), доповнюючи симуляційне моделювання інструментами підтримки управлінських рішень [13]. Оптимізацію ресурсних систем за жорстких зовнішніх обмежень, що є методично релевантним для аналізу ефективності використання обмежених ресурсів у державному управлінні, досліджують Дж. Ванг та колеги (J. Wang et al.) [14]. Міждисциплінарне підґрунтя для інтеграції симуляційного моделювання та штучного інтелекту в стратегічних системах управління формує у своєму узагальнювальному огляді М. С. Р. Джахід (M. S. R. Jahid) [15].

Попри значний обсяг наукових досліджень у сфері митного контролю, оптимізація системи митного огляду залишається недостатньо опрацьованою з позиції її функціонування як стохастичної транспортно-логістичної системи з обмеженими ресурсами. Найявні підходи мають переважно фрагментарний характер, через що неможливо кількісно оцінити компроміс між швидкістю митного огляду та ефективністю виявлення правопорушень, а також не враховують порогові режими перевантаження пунктів пропуску. Обмеженням залишається використання симуляційного моделювання в поєднанні з імовірнісними методами та аналізом чутливості для підтримки управлінських рішень. Запропоноване дослідження заповнює ці прогалини шляхом системного застосування симуляційного моделювання транспортних потоків, що дає змогу кількісно дослідити вплив основних параметрів на результати митного огляду та розробити оптимізаційну модель вибору управлінських рішень для досягнення балансу між пропускнуою спроможністю й митною безпекою.

#### Формулювання мети дослідження

Метою статті є оптимізація системи митного огляду шляхом застосування симуляційного моделювання транспортних потоків в умовах обмежених ресурсів для досягнення збалансованого співвідношення між швидкістю проведення митних процедур та ефективністю виявлення митних правопорушень.

Для досягнення поставленої мети в статті передбачено розв'язання таких завдань:

- 1) проаналізувати систему митного огляду як частину транспортно-логістичної інфраструктури та визначити основні чинники, що формують її пропускну спроможність і результативність контролю;
- 2) розробити імітаційну модель пункту пропуску на основі симуляційного моделювання (Simul8 / Arena, методи Монте-Карло, аналіз чутливості) для кількісної оцінки впливу транспортних потоків і розподілу ресурсів на час огляду та ймовірність виявлення порушень;
- 3) запропонувати оптимізаційну модель вибору управлінських рішень, спрямовану на досягнення балансу між пропускнуою спроможністю пункту пропуску та ефективністю митного контролю.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Система митного огляду як частина транспортно-логістичної інфраструктури є інтегрованим організаційно-технологічним комплексом, у межах якого поєднуються процеси фізичного та документарного контролю, управління транспортними потоками й ризик-орієнтований відбір об'єктів перевірки. Її структурно-функціональні особливості визначаються взаємодією інфраструктурних можливостей пунктів пропуску, кадрового потенціалу, технічних засобів контролю та інформаційно-аналітичних інструментів. У сучасних умовах зростання

інтенсивності перевезень та обмеженості ресурсів пропускна спроможність та результативність митного контролю визначаються не стільки нарощуванням окремих елементів системи, скільки узгодженістю їх функціонування та здатністю адаптуватися до змін транспортного навантаження (табл. 1).

Таблиця 1

**Основні структурно-функціональні чинники системи митного огляду та їхній вплив на пропускну спроможність і результативність контролю**

Чинник	Характеристика	Вплив на пропускну спроможність	Вплив на результативність контролю
Інтенсивність транспортних потоків	Кількість транспортних засобів і вантажів за одиницю часу	Зумовлює рівень завантаження системи та ймовірність утворення черг	Ускладнює фокусування контролю на ризикових об'єктах у пікові періоди
Кадрові ресурси	Кількість і рівень підготовки митних інспекторів	Визначають швидкість обслуговування та можливість паралельних операцій	Впливають на якість оцінки ризиків і прийняття рішень
Технічні засоби контролю	Сканери, вагові комплекси, системи ідентифікації	Скорочують тривалість огляду без фізичного розкриття вантажів	Підвищують імовірність виявлення прихованих порушень
Інформаційно-аналітичні системи	Системи управління ризиками, бази даних	Оптимізують час прийняття рішень щодо форми огляду	Забезпечують селективність і точність контролю
Організація процесу огляду	Послідовність та паралельність процедур	Мінімізує простой та вузькі місця в системі	Підвищує системність і логічну завершеність контролю

Джерело: сформовано автором на основі [1, с. 37; 5; 6, с. 52; 7, с. 659].

У практиці функціонування пунктів пропуску зазначені чинники взаємодіють у режимі постійної динаміки, що зумовлює необхідність їх комплексного врахування при управлінні митним оглядом. Наприклад, у періоди сезонного зростання вантажопотоків або пікової інтенсивності пасажирського руху обмеженість кадрових ресурсів швидко трансформується в затримки оформлення, навіть за наявності сучасних технічних засобів [1, с. 37]. Водночас застосування інформаційно-аналітичних систем управління ризиками дозволяє зменшувати частку суцільних перевірок, спрямовуючи інспекційні ресурси на підвищено ризикові вантажі та транспортні засоби. З науково-практичного погляду це свідчить, що підвищення пропускної спроможності митного огляду не обов'язково потребує екстенсивного збільшення ресурсів. Значно ефективнішим є оптимізація організації процесів, синхронізація дій персоналу та використання технічних і аналітичних інструментів для прийняття рішень у реальному часі. У сучасних умовах така система функціонує як адаптивна транспортна підсистема, здатна підтримувати баланс між швидкістю митного оформлення та результативністю виявлення порушень, що має вирішальне значення для ефективності міжнародних перевезень і митної безпеки держави.

Симуляційне моделювання процесів митного огляду ґрунтується на поданні пункту пропуску як стохастичної дискретно-подійної системи, у межах якої транспортні засоби послідовно проходять етапи контролю з випадковою тривалістю та обмеженою доступністю ресурсів. Застосування імітаційних моделей у середовищах Simul8 та Arena дає змогу адекватно відтворити логіку функціонування пункту пропуску без надмірних аналітичних спрощень, а поєднання з методами Монте-Карло та аналізом чутливості дозволяє врахувати невизначеність параметрів і оцінити стабільність результатів за різних сценаріїв навантаження (табл. 2).

Таблиця 2

**Методичні компоненти симуляційного моделювання пункту пропуску та їхнє практичне значення**

Компонент моделі	Характеристика	Практичне значення
Концептуалізація процесу огляду	Логічне подання етапів митного контролю та потоків	Забезпечує формалізацію процесу для подальшого експериментування
Стохастичні вхідні параметри	Розподіли ймовірностей інтенсивності прибуття та тривалості операцій	Дозволяють моделювати різні режими навантаження без припущення детермінованості
Реалізація в Simul8 / Arena	Створення дискретно-подійної імітаційної моделі	Надає інструмент для порівняння альтернативних варіантів організації роботи
Метод Монте-Карло	Багаторазовий прогін моделі з випадковими реалізаціями	Дає змогу оцінювати ризики перевантаження і крайні сценарії затримок
Аналіз чутливості	Варіювання основних параметрів моделі	Виявляє чинники, зміна яких найбільш суттєво впливає на результати

Джерело: сформовано автором на основі [1, с. 37; 2, с. 64653; 3; 8, с. 423]

У діяльності митних органів симуляційна модель пункту пропуску використовується для попередньої оцінки рішень, що мають потенційно значний вплив на швидкість оформлення та рівень контролю. Наприклад, перед упровадженням нових профілів ризику або зміною алгоритму спрямування транспортних засобів на поглиблений

огляд модель дозволяє перевірити, як це позначиться на середньому часі перебування в пункті пропуску та на розподілі навантаження між інспекційними зонами [8, с. 423]. У таких експериментах метод Монте-Карло забезпечує статистично обґрунтоване уявлення про варіативність результатів, що є важливим для ухвалення рішень в умовах невизначеності. З науково-практичного погляду особливу цінність має аналіз чутливості, який дає можливість ідентифікувати параметри, критичні для стабільності функціонування системи. Практика показує, що зміна незначної частки оглядів, спрямованих на поглиблений контроль, або коригування часу виконання окремих процедур може мати сильніший ефект, ніж збільшення загальної кількості ресурсів [3]. Таким чином, симуляційне моделювання в сучасних умовах перетворюється на інструмент обґрунтованої модернізації митних процедур, що дозволяє досягти балансу між оперативністю оформлення та ефективністю митного контролю без надмірних інвестицій у фізичну інфраструктуру.

Дослідження впливу параметрів симуляційної моделі на показники функціонування митного огляду ґрунтуються на аналізі взаємозалежності між інтенсивністю транспортних потоків, структурою використання кадрових і технічних ресурсів та результативними показниками системи. У стохастичних умовах пункту пропуску саме зміна інтенсивності прибуття транспортних засобів і конфігурації ресурсів визначає характер формування черг, середній та граничний час митного огляду, а також імовірність виявлення митних правопорушень. Симуляційне моделювання дає змогу простежити нелінійні ефекти перевантаження системи, коли незначне зростання потоку або нераціональний розподіл інспекторів і технічних засобів призводять до диспропорційного збільшення затримок і водночас до зниження ефективності контролю (табл. 3).

Таблиця 3

## Вплив основних параметрів симуляційної моделі на показники митного огляду

Параметр моделі	Варіанти зміни	Вплив на час митного огляду	Вплив на імовірність виявлення правопорушень
Інтенсивність транспортних потоків	Низька, середня, пікова	Зі зростанням інтенсивності різко зростає час очікування та огляду	У пікових режимах імовірність знижується через дефіцит уваги та часу
Кадрове забезпечення	Фіксована кількість, гнучкий перерозподіл	Гнучкий розподіл зменшує черги та пікові затримки	Підвищує стабільність результатів контролю
Технічні засоби контролю	Мінімальна та розширена конфігурації	Скорочують тривалість огляду окремих транспортних засобів	Дають змогу виявляти складні та приховані порушення
Частка поглиблених оглядів	Низька – середня – висока	Надмірна частка подовжує процес і створює вузькі місця	Зростає до певного порога, після чого ефект насичується
Комбіновані сценарії	Одновременна зміна кількох параметрів	Дає змогу знайти оптимальні режими роботи	Забезпечує баланс між швидкістю та ефективністю контролю

Джерело: сформовано автором на основі [1, с. 37; 3; 4; 8, с. 428; 13, с. 6–7].

У науково-практичному вимірі результати аналізу параметрів симуляційної моделі дають змогу інтерпретувати роботу пункту пропуску як систему з чітко вираженими критичними режимами функціонування. Практика свідчить, що за помірної інтенсивності транспортних потоків система зберігає квазісталу пропускну спроможність навіть за обмеженого кадрового й технічного забезпечення, оскільки часові резерви дозволяють компенсувати коливання тривалості окремих процедур [13, с. 6]. Водночас наближення інтенсивності прибуття транспортних засобів до граничних значень зумовлює нелінійний ефект перевантаження, коли незначне зростання потоку спричиняє непропорційне збільшення часу митного огляду, що є критичним як для логістичної ефективності, так і для якості контролю.

Симуляційні експерименти дають змогу оцінити доцільність різних управлінських рішень у пікових режимах. Моделювання показує, що гнучкий перерозподіл інспекційного персоналу або тимчасова зміна функціональних ролей часто забезпечують суттєвіше скорочення часу огляду, ніж механічне збільшення частки поглиблених перевірок [4]. Інтеграція додаткових технічних засобів контролю в межах ризик-орієнтованого підходу дозволяє зберегти прийнятний рівень імовірності виявлення правопорушень навіть за підвищеного навантаження. Виявлено також ефект насичення контрольних заходів: збільшення частки поглиблених оглядів підвищує результативність лише до певного порогового рівня, після чого зростає час обслуговування, формуються стійкі черги, а ймовірність виявлення порушень знижується. У практичному вимірі це означає, що ефективність митного контролю забезпечується не максимізацією перевірок, а оптимальним поєднанням інтенсивності потоків, розподілу персоналу та застосування технічних засобів. Таким чином, дослідження впливу параметрів симуляційної моделі має безпосереднє прикладне значення, оскільки дозволяє ідентифікувати критичні режими роботи пункту пропуску та оцінювати наслідки управлінських рішень до їх запровадження.

Оптимізація системи митного огляду супроводжується комплексом взаємопов'язаних науково-практичних проблем, основною з яких є обмеженість кадрових, технічних і часових ресурсів, що за зростання обсягів перевезень трансформуються у структурну перевантаженість пунктів пропуску. Стохастичний характер транспортних потоків,

сезонні й добові піки, а також непередбачувані зміни маршрутів знижують ефективність жорстко регламентованих моделей і потребують адаптивних механізмів управління, здатних реагувати на динамічні зміни параметрів системи [6, с. 52]. Ускладнювальним чинником є інформаційна невизначеність митних ризиків, зумовлена неповнотою та асиметрією даних, що підвищує ймовірність як помилкових спрацьовувань, так і пропуску правопорушень. Важливою проблемою залишається постійна потреба в компромісі між швидкістю митного обслуговування та глибиною контролю, адже посилення перевірок суперечить завданню прискорення проходження пунктів пропуску, тоді як пріоритет швидкості підвищує ризики для митної безпеки [12]. В умовах обмежених ресурсів досягнення оптимального балансу ускладнюється нелінійним характером ефектів управлінських рішень та їх відтермінованим проявом у часі.

У цьому контексті модель оптимізаційного вибору управлінських рішень у системі митного огляду розглядається як формалізований інструмент підтримки прийняття рішень, спрямований на досягнення стійкого балансу між пропускною спроможністю та результативністю контролю. Її відмінність полягає в інтеграції симуляційного моделювання, імовірнісних оцінок ризиків і багатокритеріальної оптимізації на основі методів Монте-Карло та аналізу чутливості, що забезпечує врахування не лише середніх значень показників, а й граничних сценаріїв функціонування системи (рис. 1).

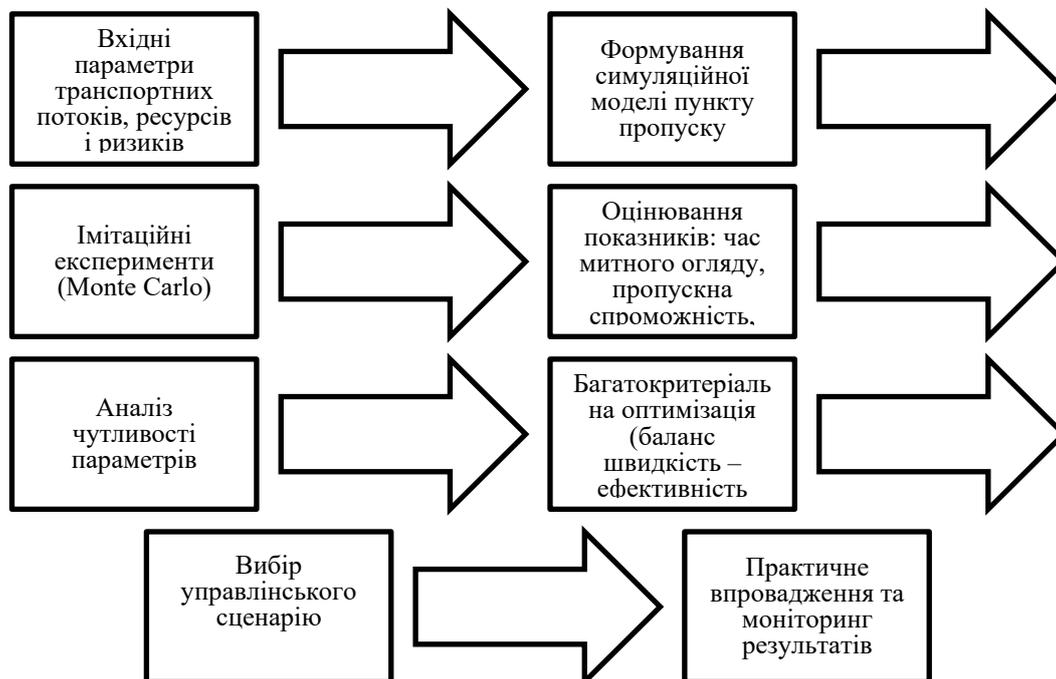


Рис. 1. Блок-схема оптимізаційної моделі управлінських рішень у системі митного огляду

Джерело: власна розробка автора

Практичне функціонування цієї моделі передбачає послідовний перехід від аналізу вихідних умов роботи пункту пропуску до вибору обґрунтованих управлінських рішень. На початковому етапі до моделі надходять дані про інтенсивність і структуру транспортних потоків, доступні кадрові та технічні ресурси, а також імовірнісні оцінки митних ризиків. На їх основі налаштовується симуляційна модель, яка відтворює реальні режими роботи пункту пропуску. Подальше багаторазове програмування сценаріїв за методом Монте-Карло дає змогу отримати статистичні розподіли часу митного огляду та результативності контролю, що є принципово важливим для управління в умовах невизначеності. Наступним кроком є аналіз чутливості, який дозволяє ідентифікувати параметри, зміна яких найбільш суттєво впливає на досягнення цільового балансу. Саме на цій основі реалізується багатокритеріальна оптимізація, де управлінські сценарії оцінюються не за одним показником, а за сукупністю критеріїв, що відображають як швидкість обслуговування, так і ефективність виявлення правопорушень. Обраний сценарій упроваджується в практичну діяльність митного органу, після чого здійснюється моніторинг основних показників і коригування параметрів моделі з урахуванням фактичних результатів. Унаслідок застосування такої моделі митні органи отримують інструмент адаптивного управління, який дозволяє завчасно оцінювати наслідки управлінських рішень, уникати критичних режимів перевантаження та забезпечувати стабільний баланс між пропускною спроможністю пункту пропуску й митною безпекою. Це підвищує обґрунтованість управлінських рішень, знижує ризики неефективного використання ресурсів і створює передумови для системного вдосконалення митних процедур у сучасних транспортно-логістичних умовах.

### Висновки

У результаті проведеного дослідження з'ясовано, що система митного огляду функціонує як стохастична багато-параметрична система, у якій пропускна спроможність пункту пропуску та ефективність виявлення митних правопорушень перебувають у конфліктному, нелінійному взаємозв'язку. Доведено, що орієнтація виключно на посилення контрольних процедур або, навпаки, на пришвидшення оформлення без урахування ресурсних обмежень призводить до втрати системної ефективності та зростання операційних ризиків. Обґрунтовано доцільність застосування симуляційного моделювання, методів Монте-Карло та аналізу чутливості як науково коректного інструментарію дослідження митного огляду в умовах невизначеності. Встановлено наявність критичних режимів роботи пунктів пропуску та порогових значень інтенсивності транспортних потоків і ресурсного забезпечення, за яких система переходить у нестійкий стан із різким збільшенням часу митного огляду та зниженням результативності контролю. Доведено, що гнучкий розподіл кадрових і технічних ресурсів забезпечує значно ефективніше підвищення пропускної спроможності порівняно з екстенсивним нарощуванням кількості поглиблених перевірок. Виявлено також ефект насичення контрольних заходів, коли подальше збільшення їхньої інтенсивності не підвищує, а знижує загальну ефективність митного контролю. Визначено основні проблеми оптимізації митного огляду, пов'язані з ресурсними обмеженнями, стохастичністю транспортних потоків, інформаційною невизначеністю ризиків та недостатньою інтеграцією управлінських компонентів. Показано, що локальні управлінські рішення не забезпечують сталого ефекту без системного моделювання та кількісної оцінки альтернативних сценаріїв. На цій основі розроблено оптимізаційну модель вибору управлінських рішень, яка формалізує досягнення балансу між швидкістю митного огляду й ефективністю виявлення правопорушень та підвищує обґрунтованість використання обмежених ресурсів.

Перспективи подальших досліджень можуть бути пов'язані з інтеграцією даних реального часу, розвитком адаптивних алгоритмів ризик-менеджменту та формуванням цифрових систем підтримки управлінських рішень у митній сфері.

### Список використаної літератури

1. Luzhanska N. Simulation and optimization of freight customs complexes based on queuing systems. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2020. Вип. 19. С. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2020/208693>
2. Hsu H.-P., Chou C.-C., Wang C.-N. Heuristic/Metaheuristic-Based Simulation Optimization Approaches for Integrated Scheduling of Yard Crane, Yard Truck, and Quay Crane Considering Import and Export Containers. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 64650–64670. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3180752>
3. Bett D. K., Ali I., Gheith M., Eltawil A. Simulation-based optimization of truck appointment systems in container terminals: A dual transactions approach with improved congestion factor representation. *Logistics*. 2024. Vol. 8, № 3. Article 80. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics8030080>
4. Popa C., Stefanov O., Goia I., Atodiresei D. Risk-Based Optimization of Multimodal Oil Product Operations Through Simulation and Workflow Modeling. *Logistics*. 2025. Vol. 9, № 3. Article 79. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics9030079>
5. Zhou S., Zhang N., Duan Q., Xiao J., Yang J. Automatic Scheduling Method for Customs Inspection Vehicle Relocation Based on Automotive Electronic Identification and Biometric Recognition. *Algorithms*. 2024. Vol. 17, № 11. Article 483. DOI: <https://doi.org/10.3390/a17110483>
6. Cao Q., Zheng X. Application of artificial intelligence technology in the supervision of customs clearance machine inspection. *World Customs Journal*. 2024. Vol. 18, № 2. P. 51–76. DOI: <https://doi.org/10.55596/001c.122754>
7. Wu Y., Xue C., Li S. Optimization Analysis of Customs Supervision Strategy Based on Complex Network Evolutionary Game. In: *Proceedings of the 2022 International Conference on Bigdata Blockchain and Economy Management (ICBBEM 2022)*. Atlantis Press, 2022. P. 658–668. DOI: [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-030-5\\_66](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-030-5_66)
8. Rezeq M., Aouam T., Gailly F. Hybrid simulation-optimization approach for planning relief-aid distribution with a real-world case study. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 2024. Vol. 14, № 4. P. 419–444. DOI: <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-10-2023-0104>
9. Xi Y., Jia X., Zhang H. Real-time multimodal route optimization and anomaly detection for cross-border logistics using deep reinforcement learning. *Academia Nexus Journal*. 2024. Vol. 3, № 3. URL: <https://academianexusjournal.com/index.php/anj/article/view/8/9> (дата звернення: 08.03.2025).
10. Rudevskva V., Boyarko I., Shcherbyna A., Sydorenko O., Koblyk I., Ponomarova O. The impact of the banking system liquidity on the volume of lending and investment in government securities during the war. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2024. Vol. 1, № 54. P. 37–50. DOI: <https://doi.org/10.55643/fcaptop.1.54.2024.4283>
11. Стороженко О. О., Настенко М. М. Проблеми бюджетного планування в системі місцевих фінансів і шляхи його вдосконалення. *Економіка і управління бізнесом*. 2023. Том 14, № 4. С. 19–32. DOI: [https://doi.org/10.31548/economics14\(4\).2023.017](https://doi.org/10.31548/economics14(4).2023.017)
12. Skliarenko K. Big Data in logistics marketing for customer churn prediction and dynamic pricing. *Актуальні питання економічних наук*. 2025. Вип. 16. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17439059>

13. Luo N., Yu H., You Z., Li Y., Zhou T., Jiao Y., Qiao S. Fuzzy logic and neural network-based risk assessment model for import and export enterprises: A review. *Journal of Data Science and Intelligent Systems*. 2023. Vol. 1, № 1. P. 2–11. DOI: <https://doi.org/10.47852/bonviewJDSIS32021078>
14. Wang J., Zheng S., Liu W., Chen L., Wen Z., Li X. Prediction, evaluation and optimization of China's copper resource supply system under carbon constraints. *Sustainable Production and Consumption*. 2023. Vol. 39. P. 285–300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.021>
15. Jahid M. S. R. AI-driven optimization and risk modeling in strategic economic zone development for mid-sized economies: A review approach. *International Journal of Scientific Interdisciplinary Research*. 2025. Vol. 6, № 1. P. 185–218. DOI: <https://doi.org/10.63125/31wna449>

#### References

1. Luzhanska N. (2020) Simulation and optimization of freight customs complexes based on queueing systems. *Transport Systems and Transport Technologies*, no. 19, pp. 37–42. <https://doi.org/10.15802/tsst2020/208693>
2. Hsu H.-P., Chou C.-C., Wang C.-N. (2022) Heuristic and metaheuristic-based simulation optimization approaches for integrated scheduling of yard crane, yard truck, and quay crane considering import and export containers. *IEEE Access*, vol. 10, pp. 64650–64670. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3180752>
3. Bett D. K., Ali I., Gheith M., Eltawil A. (2024) Simulation-based optimization of truck appointment systems in container terminals: A dual transactions approach with improved congestion factor representation. *Logistics*, vol. 8, no. 3, Article 80. <https://doi.org/10.3390/logistics8030080>
4. Popa C., Stefanov O., Goia I., Atodiresei D. (2025) Risk-based optimization of multimodal oil product operations through simulation and workflow modeling. *Logistics*, vol. 9, no. 3, Article 79. <https://doi.org/10.3390/logistics9030079>
5. Zhou S., Zhang N., Duan Q., Xiao J., Yang J. (2024) Automatic scheduling method for customs inspection vehicle relocation based on automotive electronic identification and biometric recognition. *Algorithms*, vol. 17, no. 11, Article 483. <https://doi.org/10.3390/a17110483>
6. Cao Q., Zheng X. (2024) Application of artificial intelligence technology in the supervision of customs clearance machine inspection. *World Customs Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 51–76. <https://doi.org/10.55596/001c.122754>
7. Wu Y., Xue C., Li S. (2022) Optimization analysis of customs supervision strategy based on complex network evolutionary game. In *Proceedings of the International Conference on Big Data, Blockchain and Economy Management (ICBBEM 2022)* (pp. 658–668). Atlantis Press. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-030-5\\_66](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-030-5_66)
8. Rezeq M., Aouam T., Gailly F. (2024) Hybrid simulation-optimization approach for planning relief-aid distribution: A real-world case study. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, vol. 14, no. 4, pp. 419–444. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-10-2023-0104>
9. Xi Y., Jia X., Zhang H. (2024) Real-time multimodal route optimization and anomaly detection for cross-border logistics using deep reinforcement learning. *Academia Nexus Journal*, vol. 3, no. 3. Retrieved from <https://academianexusjournal.com/index.php/anj/article/view/8/9>
10. Rudevskva V., Boyarko I., Shcherbyna A., Sydorenko O., Koblyk I., Ponomarova O. (2024) The impact of banking system liquidity on lending and investment in government securities during wartime. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, vol. 1, no. 54, pp. 37–50. <https://doi.org/10.55643/fcactp.1.54.2024.4283>
11. Storozhenko O. O., Nastenko M. M. (2023) Problems of budget planning in the system of local finance and ways of its improvement. *Business Economics and Management*, vol. 14, no. 4, pp. 19–32. [https://doi.org/10.31548/economics14\(4\).2023.017](https://doi.org/10.31548/economics14(4).2023.017)
12. Skliarenko K. (2025) Big data in logistics marketing for customer churn prediction and dynamic pricing. *Current Issues of Economic Sciences*, no. 16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17439059>
13. Luo N., Yu H., You Z., Li Y., Zhou T., Jiao Y., Qiao S. (2023) Fuzzy logic and neural network-based risk assessment model for import and export enterprises: A review. *Journal of Data Science and Intelligent Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 2–11. <https://doi.org/10.47852/bonviewJDSIS32021078>
14. Wang J., Zheng S., Liu W., Chen L., Wen Z., Li X. (2023) Prediction, evaluation and optimization of China's copper resource supply system under carbon constraints. *Sustainable Production and Consumption*, vol. 39, pp. 285–300. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.021>
15. Jahid M. S. R. (2025) AI-driven optimization and risk modeling in strategic economic zone development for mid-sized economies: A review. *International Journal of Scientific Interdisciplinary Research*, vol. 6, no. 1, pp. 185–218. <https://doi.org/10.63125/31wna449>

Дата першого надходження рукопису до видання: 16.11.2025  
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025  
Дата публікації: 31.12.2025