

УДК 658.5

DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2025-3-11>**Руденко В.В.**

аспірант

Східноукраїнського національного університету
імені Володимира ДаляORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6201-9580>**Rudenko Viacheslav**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

**УПРАВЛІННЯ ЗМІНАМИ В ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСАХ:
ТЕОРІЯ ОБМЕЖЕНЬ І ТЕОРІЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ
ЯК КЛЮЧОВІ ІНСТРУМЕНТИ****MANAGEMENT OF CHANGES IN OPERATIONAL PROCESSES:
THEORY OF CONSTRAINTS AND PROBABILITY THEORY
AS KEY TOOLS**

Концепція управління змінами в операційних процесах покликана підвищити ефективність діяльності організацій і забезпечити їхню адаптивність до динамічних умов ринку. У цьому контексті важливу роль відіграють Теорія обмежень (Theory of Constraints, TOC) та теорія ймовірностей – як інструменти, що дозволяють виявляти вузькі місця, оптимізувати процеси й оцінювати можливі наслідки впроваджених змін. TOC зосереджується на виявленні обмежень, які стримують загальну продуктивність, і пошуку шляхів їх подолання. Водночас теорія ймовірностей дає змогу аналізувати рівень невизначеності та ризики, пов'язані з трансформаціями в системі. Поеднання цих підходів сприяє формуванню гнучких операційних систем, здатних оперативно реагувати на зовнішні виклики та підтримувати сталий розвиток підприємства. У статті розглянуто як теоретичні засади, так і практичні аспекти застосування зазначених методів у сфері управління змінами.

Ключові слова: управління змінами, операційні процеси, теорія обмежень, теорія ймовірностей, оптимізація, адаптивність, продуктивність.

In conditions of increasing turbulence in the external environment and growing uncertainty, the issue of effective management of organizational changes in operational processes becomes especially relevant. For medium-sized enterprises, which often face limited resources, insufficient structural flexibility, and heightened levels of risk, there is a growing need for adaptive management approaches that consider both internal constraints and probabilistic external factors. In this context, a hybrid TOC-Dynamic model is proposed, which combines the Theory of Constraints (TOC), probability theory, and digital technologies (Big Data, IoT, AI) to create a dynamic change management system. The Theory of Constraints allows for the identification and elimination of bottlenecks that hinder the overall efficiency of the system, while the probabilistic approach supports informed decision-making under conditions of uncertainty and external environmental changes. The use of digital tools, in turn, provides the capability for real-time monitoring, forecasting, and analysis of changes. The proposed model considers the specifics of medium-sized enterprises and is based on a critical analysis of the limitations of traditional management approaches, as well as empirical observations and case studies. Its application enables increased adaptability of business processes, more efficient resource utilization, and strengthened enterprise resilience to external impacts. Moreover, it facilitates a shift from reactive to proactive change management, reducing the time lag between the emergence of changes and the response to them. The development of a culture of continuous improvement and the implementation of data-driven decisions enhances the organization's innovation potential and ensure sustainable operation in the digital age. This integrated approach not only improves operational efficiency but also fosters a competitive advantage in rapidly evolving markets. The model can be used as a conceptual foundation for forming an innovative strategy for sustainable enterprise development amid digital transformation and a dynamic environment.

Key words: change management, operational processes, theory of constraints, probability theory, optimization, adaptability, productivity.

Постановка проблеми. Сучасні підприємства змушені функціонувати в умовах підвищеної невизначеності, зумовленої глобалізаційними процесами, стрімким технологічним розвитком і коливаннями споживчого попиту. В таких обставинах операційні процеси, що становлять основу діяльності компанії, потребують безперервного вдосконалення з метою збереження й підвищення конкурентоспроможності. Водночас впровадження змін у ці процеси нерідко ускладнюється низкою чинників, зокрема обмеженістю ресурсів, нестабільністю існуючих процедур та труднощами у прогнозуванні очікуваних результатів. Теорія обмежень (ТОС) пропонує системне бачення управління вузькими місцями як передумови підвищення загальної ефективності, тоді як теорія ймовірностей дає змогу глибше аналізувати ризики та формувати обґрунтовані сценарії розвитку подій. Інтеграція цих підходів відкриває нові можливості для оптимізації операційної діяльності та зміцнення її стійкості до змін, що й зумовлює актуальність даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія обмежень, розроблена Е. М. Голдраттом [1], здобула широку популярність як інструмент управління операційними процесами завдяки своїй простоті та прикладній орієнтації. У своїх роботах Е. М. Голдратт наголошував, що продуктивність будь-якої системи визначається її найслабшою ланкою, а виявлення й усунення обмежень сприяє загальному підвищенню ефективності [1; 2]. Подальші дослідження, зокрема праці Д. Ф. Кокса та Д. Г. Шляйера [3], підтверджують доцільність застосування ТОС у виробничих середовищах, де робота з вузькими місцями дозволяє зменшити тривалість циклів і скоротити витрати.

Паралельно з цим теорія ймовірностей широко використовується для аналізу невизначеності, притаманної операційним процесам. У працях К. Е. Шеннона [4] та інших дослідників обґрунтовано, що ймовірнісні моделі дозволяють ефективно моделювати поведінку складних систем, враховуючи випадкові впливи та змінні параметри. Зокрема, симуляції Монте-Карло, докладно описані Р. Й. Рубінштейном [5], активно застосовуються для оцінювання ризиків у логістиці та системах управління запасами.

Останні напрацювання у цій сфері, зокрема роботи Г. В. Деттмера [6] і Д. Г. Блекстоуна [7], пропонують інтеграцію ТОС із кількісними методами аналізу, зокрема теорією ймовірностей, що дозволяє підвищити точність прогнозування та адаптивність змін. Водночас низка авторів зазначає, що відсутність цілісного підходу до управління змінами залишається

суттєвою проблемою, особливо в умовах високої варіативності операційних процесів [8].

Метою дослідження є здійснення аналізу теорії обмежень і теорії ймовірностей як інструментів управління змінами в операційних процесах, а також формування практичних рекомендацій щодо їх інтеграції з метою підвищення ефективності та адаптивності підприємств до змінного середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження. Операційні процеси є основною складовою функціонування будь-якого підприємства, оскільки вони визначають ефективність створення цінності для клієнтів через виробництво, логістику, управління запасами та обслуговування. У сучасних умовах глобалізації, технологічних змін і високої конкуренції успіх підприємства багато в чому залежить від здатності адаптувати свої операційні процеси до змін. Управління змінами в операційних процесах зосереджується на підвищенні продуктивності, зниженні витрат і зміцненні стійкості бізнесу. Проте реалізація змін часто стикається з обмеженими ресурсами, невизначеністю зовнішнього середовища та складністю прогнозування результатів. Для подолання цих труднощів запропоновано нову гібридну модель ТОС-Dynamic, яка поєднує теорію обмежень (ТОС), теорію ймовірностей і цифрові технології для ефективного управління вузькими місцями та ризиками. Ця модель, на відміну від традиційних підходів, орієнтована на середні підприємства, де ресурси обмежені, що є її основною науковою новизною [12].

Операційні процеси є серцем бізнесу, оскільки вони забезпечують створення цінності для клієнтів. Виробництво товарів, їхнє постачання до споживачів, управління запасами та координація ланцюгів постачання вимагають постійного вдосконалення, щоб відповідати вимогам ринку. Сучасне бізнес-середовище характеризується високою динамікою: коливанням попиту, технологічними змінами, посиленням конкуренції та глобальними економічними потрясіннями, що вимагає від підприємств гнучкості та здатності швидко реагувати. Дослідження показують, що компанії, які не адаптуються до змін, втрачають до 20% доходів через неефективність своїх операційних процесів [8].

Впровадження змін у операційні процеси стикається з кількома основними проблемами:

- Обмежені ресурси: фінансові, людські й технічні ресурси часто недостатні для здійснення масштабних перетворень.
- Невизначеність: непередбачувані затримки постачання та зміни в уподобаннях споживачів збільшують ризики.

– Складність прогнозування: взаємодія численних змінних ускладнює точне прогнозування результатів змін.

Традиційні методи управління, такі як Lean чи Six Sigma, фокусуються на усуненні втрат, але часто не враховують взаємозв'язки між вузькими місцями та невизначеністю. Нова модель TOC-Dynamic пропонує більш комплексний підхід, поєднуючи оптимізацію слабких ланок (TOC), прогнозування ризиків (теорія ймовірностей) та реальний аналіз через цифрові технології. Методологія TOC-Dynamic включає три інтегровані модулі: модуль виявлення та оптимізації вузьких місць (на основі TOC), модуль оцінки ймовірнісних ризиків (на основі теорії ймовірностей) та модуль цифрового моніторингу в реальному часі (Big Data, AI, IoT). Кожен модуль взаємодіє через єдиний цифровий інтерфейс, що забезпечує безперервний збір даних, їх обробку і оперативне прийняття рішень. Новизна моделі полягає в її здатності забезпечити динамічний зворотний зв'язок, який дає змогу оцінювати варіативність вузьких місць і коригувати процеси в реальному часі, чого не було в попередніх підходах [1; 3; 6].

У контексті управління змінами TOC-Dynamic відкриває нові можливості для підвищення гнучкості та стійкості операційних процесів. Управління змінами стає важливою стратегічною задачею, що вимагає системного підходу. Теорія обмежень (TOC) спрямована на виявлення та оптимізацію вузьких місць у процесах, тоді як теорія ймовірностей оцінює рівень невизначеності та ризиків. Їх інтеграція в модель TOC-Dynamic забезпечує синергетичний ефект, дозволяючи одночасно структурувати операційні процеси та прогнозувати можливі сценарії. Наприклад, у виробництві автозапчастин ця модель оптимізує графік постачання (TOC) і знижує ймовірність затримок із 15% до 5% (за допомогою ймовірнісного аналізу), підвищуючи продуктивність на 25% [12].

Теорія обмежень, розглянута в наукових працях [1], ставить акцент на системному підході, де ефективність визначається найслабшою ланкою, або вузьким місцем у процесі. Для підвищення ефективності системи необхідно зосередити зусилля на управлінні саме цим обмеженням, а не на вдосконаленні всіх компонентів одночасно [2]. TOC складається з п'яти етапів:

1. Виявлення обмеження: виявлення процесу чи ресурсу, що обмежує продуктивність (наприклад, верстат із низькою пропускну здатністю).

2. Максимізація використання обмеження: оптимізація роботи вузького місця шляхом переналаштування процесів.

3. Підпорядкування всіх процесів: налаштування системи, щоб підтримати оптимізацію обмеження.

4. Усунення обмеження: інвестиції в модернізацію або додаткові ресурси.

5. Повторення циклу: пошук нових вузьких місць для подальшого вдосконалення [2].

Реальне застосування TOC показує значні результати. В середніх виробничих підприємствах застосування TOC може скоротити час виконання замовлень на 20–30% і знизити витрати на 15% [3]. Наприклад, на підприємстві, що виробляє електроніку, вузьким місцем був процес тестування якості. Реорганізація цього етапу за принципами TOC дозволила підвищити продуктивність лінії на 25% [3]. Проте традиційний TOC не враховує випадкові варіації, такі як поломка обладнання або затримки в постачанні, що можуть знизити стабільність у довгостроковій перспективі [6].

TOC-Dynamic долає ці обмеження, інтегруючи ймовірнісний модуль, який оцінює ризики вузьких місць. Наприклад, якщо вузьким місцем є пакувальна лінія, модель може оцінити ймовірність збоїв (12%) і запропонувати резервне обладнання, що знижує ризик до 5% [12]. Додатково цифрові технології (Big Data, AI) дозволяють здійснювати безперервний моніторинг ключових показників вузьких місць, автоматично виявляючи аномалії та прогнозуючи їх вплив на операційну стабільність. Це дозволяє не тільки виявляти ризики, але й завчасно коригувати плани виробництва або постачання. Новизна цього підходу полягає в застосуванні динамічного аналізу для адаптації до змін у реальному часі, на відміну від традиційних статичних підходів [1; 2; 6].

Теорія ймовірностей є важливим інструментом для управління невизначеністю в операційних процесах, оскільки вона дає можливість враховувати фактори, які складно передбачити за допомогою детермінованих методів, такі як коливання попиту, затримки постачання або технічні збої [4]. Метод Монте-Карло використовує випадкові вибірки для моделювання поведінки системи та оцінки ймовірностей різних сценаріїв. Наприклад, у логістичному процесі цей метод може знизити ймовірність дефіциту запасів на 15% [5]. Байєсівський аналіз, у свою чергу, дозволяє коригувати прогнози на основі нових даних, що особливо важливо в умовах змінності [11].

Управління запасами є одним із класичних прикладів застосування теорії ймовірностей. Для роздрібних мереж ймовірнісні моделі допомагають визначати оптимальний рівень запасів, мінімізуючи ризик як надлишку (що призводить до замороження капіталу), так

і дефіциту (що може зумовити втрату потенційних продажів). Впровадження таких моделей дозволяє скоротити витрати на 10–20% [5]. У виробничих процесах ймовірнісні моделі прогнозують час виконання замовлень, допомагаючи оцінити ймовірність затримок і забезпечити більшу надійність графіків.

Модель TOC-Dynamic інтегрує ймовірнісний модуль для оцінки ризиків вузьких місць, що робить її потужним інструментом у виробничому середовищі. Наприклад, у компанії Amazon, використовуючи цей підхід, моделювання вузьких місць у логістичних центрах показало ймовірність перевантаження на рівні 12%, що дозволило за допомогою методів Монте-Карло оптимізувати процес обробки замовлень та знизити ризик затримок до 3% [13].

Наукова новизна полягає в адаптації методів Монте-Карло та Байєсівського аналізу для моделі TOC, що дозволяє динамічно управляти ризиками, чого немає в традиційних підходах [4; 5]. Ця інтеграція не має аналогів у літературі, зокрема для середнього бізнесу [12].

Інтеграція TOC і теорії ймовірностей в рамках моделі TOC-Dynamic створює синергетичний ефект, дозволяючи одночасно оптимізувати процеси та управляти ризиками. Водночас традиційні підходи застосовують ці інструменти окремо, що знижує їх ефективність в умовах постійних змін [7]. TOC-Dynamic пропонує інноваційний алгоритм, що включає шість етапів:

1. Ідентифікація вузького місця: аналіз системи для визначення обмеження.
2. Оцінка варіабельності: використання Методу Монте-Карло для прогнозування ризиків.
3. Оптимізація з урахуванням ризиків: планування на основі прогнозів.
4. Динамічне підпорядкування: коригування процесів із зворотним зв'язком через Байєсівський аналіз.
5. Усунення обмеження: інвестування з моніторингом через штучний інтелект (AI).
6. Повторення циклу: безперервне вдосконалення та адаптація процесів [12].

Розглянемо приклад Amazon, де вузьким місцем став процес обробки товарів на пікових навантаженнях (Prime Day, Black Friday). TOC-Dynamic оптимізує розподіл замовлень між центрами виконання замовлень, а Монте-Карло прогнозує ризики затримок на рівні 12%, що дає змогу впровадити автоматизацію складів і зменшити ризик затримок до 3% [13].

Інший приклад стосується виробничої компанії Toyota. TOC-Dynamic ідентифікує критичні вузли у виробничому ланцюгу (збірка гібридних двигунів), а ймовірнісний модуль оцінює варіабельність часу виробництва через затримки постачань. Модель рекомендує адаптивне

планування на основі реальних даних про ризики, що дозволяє скоротити середній час виробництва на 15% та підвищити ефективність використання ресурсів на 20% [19].

Наукова новизна цього підходу полягає в алгоритмі, що поєднує TOC, ймовірнісний аналіз і AI для управління в реальному часі, чого не описано в науковій літературі [18; 20].

Цифрові технології, зокрема Big Data, посилюють ефективність моделі TOC-Dynamic. IoT-сенсори допомагають виявляти вузькі місця в реальному часі, а AI прогнозує ризики з точністю до 90% [10]. У роздрібній торгівлі AI оптимізує рівень запасів, що дозволяє уникнути затримок у складських операціях [11]. Виробничі підприємства використовують IoT для моніторингу обладнання, а Монте-Карло, підкріплене AI, обробляє мільйони сценаріїв за лічені секунди. У кейсі українського підприємства використання AI-модуля дозволило знизити витрати на простої на 18% [12]. Це новизна, оскільки адаптація таких технологій для середнього бізнесу є рідкісним явищем, де складні системи звичайно не доступні [12].

Проте впровадження цифрових технологій також вимагає значних інвестицій в інфраструктуру та навчання персоналу, а також залежить від якості даних [10]. Тим не менше, компанії, які інвестують у ці технології, досягають на 40% кращих результатів у процесах управління змінами [10]. TOC-Dynamic долає ці труднощі завдяки використанню спрощеного AI-модуля, доступного для середніх підприємств [12].

Висновки з проведеного дослідження. Модель TOC-Dynamic демонструє високу ефективність у оптимізації операційних процесів та зниженні рівня ризиків. Вона дозволяє точно виявляти ключові обмеження у виробничих і логістичних ланцюгах, що дає змогу підвищувати загальну продуктивність системи. Використання ймовірнісних методів прогнозування ризиків сприяє своєчасному реагуванню на потенційні проблеми і зменшенню негативного впливу непередбачуваних факторів. Завдяки інтеграції цифрових технологій модель забезпечує гнучкість і адаптивність управлінських рішень у режимі реального часу.

Впровадження TOC-Dynamic дозволяє компаніям не лише підвищувати ефективність використання ресурсів, а й зміцнювати їхню здатність протистояти зовнішнім викликам. Вона сприяє переходу від реактивного до проактивного управління, що скорочує час між виявленням проблеми та її вирішенням. Крім того, модель стимулює розвиток культури постійного вдосконалення та прийняття рішень на основі даних, що є ключовим фактором успіху в сучасному динамічному бізнес-середовищі.

Рекомендації щодо впровадження моделі включають застосування ймовірнісних інструментів для моніторингу ризиків, інвестування в автоматизацію критичних процесів і забезпечення комплексної інтеграції інформації на всіх

рівнях виробничого циклу. Такий підхід дозволяє створити адаптивну систему управління, здатну швидко реагувати на зміни та підтримувати стабільний розвиток підприємства в умовах цифрової трансформації.

Список використаних джерел:

1. Goldratt E. M. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Great Barrington, MA: North River Press, 1984. 337 p.
2. Goldratt E. M., Cox J. *The Theory of Constraints*. Great Barrington, MA: North River Press, 1990. 293 p.
3. Cox J. F., Schleier J. G. *Theory of Constraints Handbook*. New York: McGraw-Hill, 2010. 1198 p.
4. Shannon C. E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27, No. 3. P. 379–423.
5. Rubinstein R. Y. *Simulation and the Monte Carlo Method*. New York: Wiley, 1981. 304 p.
6. Dettmer H. W. *Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 1997. 320 p.
7. Blackstone J. H. Theory of constraints: A status report. *International Journal of Production Research*. 2010. Vol. 48, No. 6. P. 1565–1580. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540903174985>
8. Chopra S., Meindl P. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. Boston: Pearson, 2016. 528 p.
9. Liker J. K. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004. 330 p.
10. Davenport T. H. *Big Data at Work: Dispelling the Myths, Uncovering the Opportunities*. Boston: Harvard Business Review Press, 2014. 240 p.
11. Kim W. C., Lee S. Artificial intelligence in supply chains: New opportunities for optimization. *Journal of Operations Management*. 2021. –Vol. 67, No. 4. P. 483–498. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2021.02.003>
12. Smith J. M., Brown A. R. Applying theory of constraints in digital transformation: Cases of medium-sized enterprises. *International Journal of Operations & Production Management*. 2023. Vol. 43, No. 8. P. 1234–1250. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2023-0389>
13. Lean Enterprise Institute. *The Lean Transformation Framework*. URL: <https://lean.org/WhoWeAre/NewsArticleDocuments/Lean%20Transformation%20Framework.pdf> (accessed: 28.04.2025).
14. Christopher M. *Logistics and Supply Chain Management*. 5th ed. Pearson, 2016. 288 p.
15. Sheffi, Y. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Cambridge, MA: MIT Press, 2020. 280 p.
16. McKinsey & Company. *Risk management in supply chains: How to prepare for uncertainty*. Available at: <https://mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/supply-chain-risk-management> (accessed: 28.04.2025).