

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КУРУДЖИ ЮЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 519:86:[658.7: 338.3](043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ
ФУНКЦІОНУВАННЯМ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ

Спеціальність 08.00.11 –

математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело: _____ Ю.В. Куруджи

Науковий керівник Постан Михайло Якович,
доктор економічних наук, професор

Хмельницький – 2020

АНОТАЦІЯ

Куруджи Ю.В. Моделі оптимального управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.11 – математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. – Хмельницький національний університет. – Хмельницький, 2020.

Дисертаційна робота присвячена теоретичному обґрунтуванню та розробці методичних підходів і практичних рекомендацій щодо оптимізації управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику.

У роботі відзначено, що ринок логістики в Україні зараз перебуває на стадії стабілізації, стає більш професійним і відкритим завдяки впровадженню інноваційних рішень, ІТ-продукції, нових методів оптимізації логістичних витрат, але поряд з тим для сучасного етапу розвитку українського ринку логістичних послуг характерні такі проблеми як відстала інфраструктура транспорту, недостатня кількість і низький техніко-технологічний рівень вантажних терміналів, низький рівень розвитку сучасних систем електронних комунікацій, зв'язку, слабкий рівень розвитку виробничо-технічної бази складського господарства.

Розглянуто поняття ланцюга поставок як ключового в логістиці, класифікацію ланцюгів поставок. Встановлено, що в зв'язку з поширенням на практиці концепції ланцюга поставок виникають чисельні проблеми, які стосуються їх оптимального проектування та оптимального управління їх функціонуванням. Ці проблеми можуть бути вирішені за допомогою ряду конкретних теорій, таких як: мікроекономіка, операційний менеджмент, логістичний менеджмент, ризик-менеджмент, теорія конкуренції, дослідження операцій (теорія управління запасами, теорія оптимізації) тощо.

Систематизовані основні причини невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок і заходи щодо зниження ризиків в залежності від їхніх джерел. Встановлено, що на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій нові можливості для організації ланцюгів поставок відкриває моделювання логістичних процесів, при цьому якість прийнятих рішень і зниження невизначеності у конкретних ситуаціях багато в чому залежить від коректності застосованих моделей.

Проведений аналіз існуючих результатів моделювання ланцюгів поставок показав, що на даний момент в галузі економіко-математичного моделювання використовуються в основному статичні моделі, засновані на багатовимірних задачах лінійного програмування, не в достатній мірі враховується специфіка функціонування ланцюгів поставок в рамках VАТ-класифікації, яка ґрунтується на тому, як проходить матеріальний потік через весь ланцюг поставок, недостатньо використані сучасні методи ризик-менеджменту, засновані на теорії ймовірностей, математичній статистиці і стохастичному програмуванні, слабо використовується величезний теоретичний матеріал, розроблений в теорії управління запасами. Також приділено недостатньо уваги конкуренції та кооперації між ланцюгами поставок, не достатньо вивчений вплив інноваційної стратегії підприємств-ланок ланцюга поставок на конкурентну боротьбу між ланцюгами поставок.

Побудовані та проаналізовані статичні моделі планування взаємодії підприємств для різних конфігурацій ланцюгів поставок в рамках VАТ-класифікації в умовах невизначеності та ризику. В розроблених моделях мінімізуються сумарні витрати по всьому ланцюгу поставок, пов'язані з виробництвом і доставкою комплектуючих і готової продукції від підприємства-виробника до пунктів призначення, а також збитки, які виникають через незадоволення попиту (у випадку коливання попиту на продукцію або нестачі сировини для виробництва внаслідок коливання виробничих коефіцієнтів) та витрати на додаткове зберігання надлишку

(коли запланована для виробництва кількість продукції перевищує встановлений попит).

Побудовані та проаналізовані моделі оптимального планування взаємодії підприємств в ланцюгах поставок, які враховують фактори зовнішньої (випадковий попит на продукцію в пунктах призначення) та внутрішньої (коливання виробничих коефіцієнтів) невизначеності, а також фактор часу. В рамках VAT-класифікації розроблено моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок типу A, коли з великого числа різноманітних видів сировини, матеріалів і комплектуючих виготовляється відносно невелике число продукції кінцевого споживання, та V, для яких характерна наявність невеликого числа постачальників одного і того ж матеріалу, сировини, які в результаті виробничого процесу перетворюються на велике число видів кінцевої продукції. Побудовано оптимізаційну модель планів закупівлі та доставки товару в дворівневій логістичній мережі в умовах випадкового попиту.

На підставі побудованих моделей розроблені методичні вказівки до розв'язку задачі оптимізації поставок сировини, випуску продукції підприємством і доставки готової продукції, які можуть застосовуватися в практичній діяльності підприємств і дозволяють підвищити ефективність управління функціонуванням ланцюга поставок і координації взаємодії між його ланками на заданому горизонті планування (з врахуванням фактора часу).

Для всіх розроблених моделей оптимізації в роботі проведені розрахунки для випадку, коли величини попиту і виробничі коефіцієнти розподілені за законами Ерланга. Розрахунки показали, що наслідком неточно прогнозованого попиту є високі транспортні витрати, нереалізовані можливості продажу, що тягне за собою втрату прибутку. Більш точний прогноз попиту на продукцію дозволяє учасникам логістичного ланцюга збільшити загальний прибуток за рахунок зменшення витрат на зберігання,

транспортування та закупівлю. Всі розроблені моделі з деякими обмеженнями можуть використовуватися в практичній діяльності.

Розроблені методичні положення для обґрунтування економічної доцільності страхування основних видів фінансових ризиків у діяльності логістичних ланцюгів поставок. Суттєвою особливістю перерахованих методик є те, що вони побудовані на одночасному моделюванні процесів виробництва і доставки готової продукції в рамках ланцюга поставок і їх фінансових результатів, що є новим кроком у моделюванні процесів ризику.

Сформульовані розв'язувальні правила, які дозволяють встановити доцільність страхування ризиків, пов'язаних з нестачею ресурсів для виробництва продукції і ризиків, що виникають через відхилення запланованих до випуску обсягів продукції від фактичного попиту. Суть розроблених методів полягає в оцінці очікуваного прибутку від реалізації продукції з урахуванням страхування зазначених ризиків і без страхування.

Застосування розроблених методів проілюстровано для випадку, коли величини попиту та виробничі коефіцієнти розподілені за показовим законом, що відповідає самому несприятливому попиту. Після розв'язку двох задач одноетапної стохастичної оптимізації для кожного значення очікуваного прибутку проводиться порівняння двох значень максимального прибутку і приймається рішення про страхування або нестрахування ринкового ризику. Зазначені методики доведені до розрахункових формул і можуть бути використані в практиці.

Оптимізовано функціонування ланцюгів поставок в умовах конкуренції. Знайдено рівноважні рішення для конкуруючих ланцюгів поставок з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників, яка полягає в технологічній нововведення на підприємствах. Для цього побудована економіко-математична модель дуополії, заснована на моделі оптимізації плану виробництва і доставки багатомініклатурної продукції. Для врахування інноваційної активності вважалось, що виробничі витрати підприємств знаходяться в зворотній залежності від розміру інноваційних

інвестицій. Розроблена модель дозволила визначити рівноважні рішення дуополії за Курно і за Штакельбергом. Проведені розрахунки показали, що інвестиційні вкладення дозволяють збільшити розмір прибутку і конкурентоспроможність промислових підприємств.

Розвинені теоретичні підходи до визначення функцій, завдань і місця відділу управління ризиками в організаційній структурі управління виробничих підприємств в рамках ланцюга поставок. Сформульовані основні вимоги, які відносяться до подальшого вдосконалення організації управління ланцюгами постачань, а саме до організації збору та статистичної обробки інформації, що стосується фінансових ризиків в ланцюгах поставок. При збільшенні обсягу робіт з управління ризиками, представляється доцільним створення в рамках ланцюга поставок групи або відділу управління ризиками на виробничому підприємстві, а також ведення баз даних, в яких збирається і систематизується необхідна інформація. До функцій такого відділу в основному відноситься обґрунтування доцільності страхування ризиків на основі методів і прийомів ризик-менеджменту і розробка відповідних методик, що стосуються економічного обґрунтування необхідності страхування основних видів ризиків у ланцюгах поставок. В інформаційних базах даних може зберігатися і накопичуватися інформація щодо кожного конкретного споживача продукції та постачальника сировини та комплектуючих, історії та видів взаємодій з кожним потенційним і реальним постачальником та споживачем, дані щодо обсягу і частоти продажів за деякий період часу та обсягів витрачених ресурсів на здійснення продажів. Така організація дозволить підвищити ефективність роботи ланцюга поставок за рахунок об'єднання планування продажів, виробництва і розподілу продукції, скорочення витрат на управління запасами, виробництво, доставку, дозволить швидко реагувати на вимоги споживачів і підвищити якість обслуговування клієнтів.

Одержані результати можуть бути основою для подальших досліджень у цьому напрямку, серед яких можна вказати наступні:

- визначення ймовірності розорення окремих ланок ланцюга поставок;
- врахування зворотних зв'язків між пунктами кінцевого споживання готової продукції та підприємством-виробником, у тому числі в умовах конкуренції;
- побудова та дослідження моделей оптимізації з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників та фактора часу;
- дослідження більш складних конфігурацій логістичних мереж.

Ключові слова: ланцюг поставок, стохастична оптимізація, випадковий попит, випадкова продуктивність ліній, ринковий ризик, спільна оптимізація планів закупівлі та доставки, страхування ризику, інноваційна діяльність, конкурентне середовище, дуополія.

ANNOTATION

Kurudzhy Y.V. Models of optimal control of supply chain functioning under conditions of uncertainty and risk. – On the rights for a manuscript.

Thesis for a candidate of sciences degree in Economical Science, specialty 08.00.11 – Mathematical methods, models and information technologies in economics. – Khmelnytsky National University. – Khmelnytsky, 2020.

The dissertation is devoted to the theoretical substantiation and development of methodical approaches and practical recommendations on optimization of management of functioning of supply chains in the conditions of uncertainty and risk.

Research paper is noted that the logistics market is at the stage of stabilization in Ukraine now, becoming more professional and open due to the introduction of innovative solutions, IT products, new methods of optimizing logistics costs, but at the same time for the current stage of development of the Ukrainian logistics market as backward transport infrastructure, insufficient number and low technical and technological level of cargo terminals, low level of

development of modern electronic communications systems, communications, weak level of development of production and technical base of warehousing.

The concept of supply chain as a key in logistics, classification of supply chains is considered. It is established that in connection with the spread in practice of the concept of supply chain there are numerous problems related to their optimal design and optimal management of their operation. These problems can be solved with the help of a number of specific theories, such as: microeconomics, operations management, logistics management, risk management, competition theory, operations research (inventory management theory, optimization theory), etc.

The main causes of uncertainty and risks in supply chains and measures to reduce risks depending on their sources are systematized. It is established that at the present stage of development of information technologies new opportunities for the organization of supply chains are opened by modeling of logistic processes, thus quality of the accepted decisions and decrease in uncertainty in concrete situations in many respects depends on correctness of the applied models.

The analysis of the existing results of supply chain modeling showed that at present in the field of economic and mathematical modeling are used mainly static models based on multidimensional linear programming problems, not sufficiently takes into account the specifics of supply chains in the VAT-classification based on therefore, as the material flow through the entire supply chain, insufficient use of modern methods of risk management based on probability theory, mathematical statistics and stochastic programming, poorly used huge theoretical material developed in the theory of inventory management. Insufficient attention is also paid to competition and cooperation between supply chains, the influence of the innovation strategy of supply chain enterprises on competition between supply chains is not sufficiently studied.

Static models of enterprise interaction planning for different configurations of supply chains within the framework of VAT-classification in conditions of uncertainty and risk are constructed and analyzed. The developed models minimize the total costs throughout the supply chain associated with the production and

delivery of components and finished products from the manufacturer to the destination, as well as losses arising from unsatisfied demand and the cost of additional storage of surplus.

Models of optimal planning of enterprise interaction in supply chains are built and analyzed, which take into account the factors of external (random demand for products at destinations) and internal (fluctuations of production coefficients) uncertainty, as well as the time factor. Within the VAT-classification models of optimization of plans of release and delivery of production in supply chains of type A when from a large number of various types of raw materials, materials and accessories rather small number of final consumption products, and V for which presence of small number of suppliers of one and of the same material, raw materials, which as a result of the production process are transformed into a large number of types of final products. An optimization model of plans for the purchase and delivery of goods in a two-tier logistics network in terms of random demand.

On the basis of the constructed models methodical instructions to the decision of optimization of deliveries of raw materials, release of production by the enterprise and delivery of finished goods which can be applied in practical activity of the enterprises and allow to increase efficiency of management of functioning of a supply chain and coordination of interaction between its links on the given planning horizon are developed (taking into account the time factor).

For all developed optimization models, calculations are performed for the case when the demand values and production coefficients are distributed according to Erlang's laws. Calculations have shown that the result of inaccurately forecast demand is high transportation costs, unrealized sales opportunities, which entails a loss of profit. A more accurate forecast of product demand allows participants in the logistics chain to increase overall profits by reducing storage, transportation and procurement costs. All developed models with some limitations can be used in practice.

Methodical provisions for substantiation of economic expediency of insurance of the basic kinds of financial risks in activity of logistic supply chains

are developed. An essential feature of these techniques is that they are based on the simultaneous modeling of production processes and delivery of finished products within the supply chain and their financial results, which is a new step in modeling risk processes.

Decision-making rules have been formulated to establish the feasibility of insuring the risks associated with the lack of resources for production and the risks arising from the deviation of planned production volumes from actual demand. The essence of the developed methods is to estimate the expected profit from the sale of products, taking into account the insurance of these risks and without insurance.

The application of the developed methods is illustrated for the case when the demand values and production coefficients are distributed according to the indicative law, which corresponds to the most unfavorable demand. After solving two problems of one-stage stochastic optimization for each value of the expected profit, a comparison of the two values of the maximum profit is made and a decision is made on insurance or non-insurance of market risk. These techniques are brought to the calculation formulas and can be used in practice.

The functioning of supply chains in the conditions of competition is optimized. Equilibrium solutions have been found for competing supply chains taking into account the innovative activity of manufacturing enterprises, which consists in technological innovations in enterprises. For this purpose, an economic-mathematical model of the duopoly was built, based on the model of optimization of the plan of production and delivery of multi-item products. To take into account innovation activity, it was assumed that the production costs of enterprises are inversely related to the size of innovative investments. The developed model allowed to determine the equilibrium solutions of the duopoly according to Cournot and according to Stackelberg. The calculations showed that investments can increase the amount of profit and competitiveness of industrial enterprises.

Theoretical approaches to defining the functions, tasks and place of the risk management department in the organizational structure of management of industrial enterprises within the supply chain are developed. The main

requirements for further improvement of the organization of supply chain management are formulated, namely the organization of collection and statistical processing of information related to financial risks in supply chains. With the increase in the volume of risk management work, it is advisable to create within the supply chain of a group or risk management department at the production plant, as well as maintaining databases in which the necessary information is collected and systematized. The functions of such a department mainly include justification of the feasibility of risk insurance based on methods and techniques of risk management and the development of appropriate methods for economic justification of the need to insure the main types of risks in the supply chain. Such an organization will increase the efficiency of the supply chain by combining sales planning, production and distribution of products, reducing the cost of inventory management, production, delivery, will respond quickly to customer demands and improve customer service.

The obtained results can be the basis for further research in this direction, among which we can, for example, specify the following:

- determining the probability of ruin of individual links in the supply chain;
- taking into account the feedback between the points of final consumption of finished products and the manufacturer, including in conditions of competition;
- construction and research of optimization models taking into account the innovative activity of manufacturers and the time factor;
- study of more complex configurations of logistics networks.

Keywords: supply chain, stochastic optimization, random demand, random line performance, market risk, joint optimization of purchase and delivery plans, risk insurance, innovation, competitive environment, duopoly.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Куруджи Ю. В. Метод знаходження оптимальної рівноваги між конкуруючими ланцюгами поставок з урахуванням інноваційної діяльності / Ю. В. Куруджи // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2020. – № 1(278). – Т. 1. – С. 51-56 (0,58 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, Google Scholar.**
2. Куруджи Ю. В. Метод оцінки економічної доцільності страхування ризиків при плануванні роботи дворівневої логістичної мережі / Ю. В. Куруджи // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. – 2018. – Вип. 2(63). – С. 100-110 (0,52 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Google Scholar, Academic resource index, Research Bible, Ulrichsweb Global Serials Directory.**
3. Kurudzhi Yu. Method of finding equilibrium solutions for duopoly of supply chains taking into account the innovation activity of enterprises / Yu. Kurudzhi, I. Moskvichenko, M. Postan // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – #3/4(87). – P. 25-30 (0,7 друк. арк.). **Особистий внесок: запропоновано моделі конкуренції між ланцюгами поставок (0,23 друк. арк.). Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Scopus, CrossRef, EBSCO, Index Copernicus, РИИЦ, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, WorldCat, Electronic Journal Library, DOAJ, ResearchBib, Directory of Research Journals Indexing.**
4. Куруджи Ю. В. Оптимизация планов закупки и доставки товара в логистической сети при случайном спросе / Ю. В. Куруджи // Глобальні та національні проблеми економіки: електронне наукове фахове видання. – 2017. – №18. – С. 603-607 (0,6 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричній базі даних Index Copernicus.**

5. Куруджи Ю. В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок с учетом факторов внутренней и внешней неопределенности / Ю. В. Куруджи // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: «Економічні науки». – 2016. – №19. – С. 156-161 (0,55 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, Google Scholar.**

6. Куруджи Ю. В. Разработка модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции с учетом факторов неопределенности / Ю. В. Куруджи // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4(3). – С. 12-15. (0,47 друк. арк.) **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, ПИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, WorldCat, Electronic Journal Library, DOAJ, EBSCO, ResearchBib.**

7. Куруджи Ю. В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок при случайном спросе / Ю. В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 5/2(19). – С. 31-35 (0,58 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, ПИНЦ, ResearchBib, DOAJ, WorldCat.**

8. Куруджи Ю. В. Об одной модели оптимизации планов поставки и выпуска продукции предприятия при случайном спросе / Ю. В. Куруджи // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2014. – Вип. 1(21). – С. 27-38 (0,7 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Google Scholar, ПИНЦ.**

9. Куруджи Ю. В. Применение линейного программирования для оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / М. Я. Постан Ю. В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 2/2(16). – С. 42-47 (0,52 друк. арк.). *Особистий внесок: розроблено статичну модель оптимізації плану роботи ланцюга поставок типу V* (0,26 друк. арк.). **Індексується та реферується в**

наукометричних базах даних: Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, ПИИЦ, ResearchBib, DOAJ, WorldCat.

10. Куруджи Ю. В. Об одной статической модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / Ю. В. Куруджи // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. – 2013. – Вип. 2(43). – С. 150-163 (0,81 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Google Scholar, Academic resource index, Research Bible, Ulrichsweb Global Serials Directory.**

У періодичних зарубіжних виданнях та виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

11. Kurudzhi Yu.V. Dynamic Model for Optimization of Production and Finished Products Delivery Plans in Supply Chain / M.Ya. Postan, N.I. Chuhraj, Yu.V. Kurudzhi // Logistyka. – 2014. – Vol. 4. – P. 2345-2352 (0,55 друк. арк.). *Особистий внесок: розроблено динамічну модель оптимізації планів випуску і доставки продукції (0,18 друк. арк.).* **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Baza danych o zawartości polskich czasopism technicznych.**

Матеріали конференцій і тези доповідей:

12. Куруджи Ю. В. Моделирование цепей поставок в условиях конкуренции и инновационной активности предприятий / Ю. В. Куруджи // Економічний потенціал країни: наукові підходи та практика реалізації : матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. 4 травня 2018 р. (м. Одеса, 4 травня 2018 р.). – Одеса : ОНУ ім. І.І. Мечникова, 2018. – С. 168-170 (0,18 друк. арк.).

13. Куруджи Ю. В. Щодо питання доцільності страхування ризиків збитків логістичної мережі / Ю. В. Куруджи // Пріоритетні напрями розвитку економіки: нові реалії та можливості в умовах євроінтеграції : матеріали

міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 12 травня 2018 р.). – Запоріжжя : ЗДІА, 2018. – С. 140-143 (0,23 друк. арк.).

14. Куруджи Ю. В. Статистические проблемы при оценивании параметров распределения спроса в цепях поставок / Ю. В. Куруджи // Економічне зростання: стратегія, напрями, пріоритети : матеріали ІІІ міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 12 травня 2018 р.). – Запоріжжя : ГО "СІЕУ", 2018. – С. 26-29 (0,19 друк. арк.).

15. Куруджи Ю. В. Про одну стохастичну багатоміноміклатурну модель оптимізації роботи дворівневої логістичної мережі / Ю. В. Куруджи // Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Харків – Київ, 12-15 вересня 2017 р.). – Харків : ХНУРЕ, 2017. – С. 111-114. (0,23 друк. арк.).

16. Куруджи Ю. В. Оцінка ринкового ризику при плануванні роботи ланцюгів поставок / Ю. В. Куруджи // Економіко-математичне моделювання : матеріали І нац. наук.-метод. конф. (м. Київ, 30 вересня – 1 жовтня 2016 р.). – К. : КНЕУ, 2016. – С. 201-203 (0,12 друк. арк.).

17. Куруджи Ю. В. Оптимизация объемов закупки товара и его доставки в логистической сети при случайном спросе / М. Я. Постан, Ю. В. Куруджи // Інформаційні управляючі системи та технології : матеріали І міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 20-22 вересня 2016 р.). – Одеса : ОНМУ, 2016. – С. 25-29 (0,15 друк. арк.). *Особистий внесок: виведено формули сумарного прибутку дворівневої логістичної системи (0,07 друк. арк.).*

18. Куруджи Ю. В. Об одном подходе к оценке рисков при планировании работы цепей поставок с учетом факторов внешней и внутренней неопределенности / Ю. В. Куруджи // Механізми, стратегії, моделі та технології управління економічними системами за умов інтеграційних процесів : теорія, методологія, практика: матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф. (Хмельницький – Яремче, 8-10 жовтня 2015 р.). – Хмельницький : ФОП Сторожук О.В., 2015. – С. 40-42 (0,12 друк. арк.).

19. Куруджи Ю. В. К проблеме информационного обеспечения планирования работы цепей поставок / Ю. В. Куруджи // Проблемы економічної кібернетики 2014 : матеріали ІІ міжнар. наук.-метод. конф. (м. Полтава, 2-3 жовтня 2014 р.). – Полтава : ПУЕТ, 2014. – С. 73-74 (0,15 друк. арк.).

20. Куруджи Ю. В. Об одном подходе к оценке рисков предприятия при оптимизации планирования производства и доставки продукции в условиях случайного спроса / Ю. В. Куруджи // Транспорт як фактор глобального розвитку : матеріали І міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів (Одеса – Щецін, 29-30 квітня 2014 р.) – Одеса : ОНМУ, 2014.– С. 265-266 (0,17 друк. арк.).

21. Куруджи Ю.В. Применение линейного программирования для оптимизации плана выпуска промежуточной и конечной продукции в цепях поставок / М. Я. Постан, Ю. В. Куруджи // Проблемы подготовки профессиональных кадров по логистике в условиях глобальной конкурентной среды : матеріали Х міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 25-26 жовтня 2013 р.). – К. : Логос, 2013. – С. 308-310 (0,17 друк. арк.). *Особистий внесок: розроблено статичну оптимізаційну модель плану роботи ланцюга поставок типу V (0,08 друк. арк.).*

22. Куруджи Ю.В. On optimization model for planning production and delivery of finished products in supply chain / Ю. В. Куруджи // Проблемы розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2013 : матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Галац – Варна – Аспровальта, 21–29 вересня 2013 р.). – Одеса : ОНМУ, 2013. – С. 191 (0,1 друк. арк.).

23. Куруджи Ю. В. Моделирование финансовых рисков в цепях поставок методами теории массового обслуживания / Ю. В. Куруджи // Маркетинг та логістика в системі менеджменту : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф. (м. Львів, 8-10 листопада 2012 р.). Львів : «Львівська політехніка», 2012. С. 240 (0,12 друк. арк.).

24. Куруджи Ю. В. К проблеме управления финансовыми рисками в деятельности транспортно-логистических цепей доставки грузов / Ю. В. Куруджи // Сучасні порти – проблеми та рішення : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Польща – Німеччина, 26 квітня–3 травня 2012 р.). – Одеса : ОНМУ, 2012. – С. 169-170 (0,1 друк. арк.).

25. Куруджи Ю. В. О некоторых задачах управления финансовыми рисками в деятельности логистических систем / Ю. В. Куруджи // Проблеми розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2011 : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Несебр, 25–30 вересня 2011 р.). – Одеса : ОНМУ, 2011. – С. 185-187 (0,17 друк. арк.).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

26. Постан М.Я., Куруджи Ю.В. Логістичний менеджмент: Навчальний посібник. Практикум / М. Я. Постан, Ю. В. Куруджи. – Одеса: Бондаренко, 2020. – 84 с. (4,88 друк. арк.). *Особистий внесок: розраховані оптимальні плани виробництва та доставки продукції для задач планування роботи ланцюгів поставок (1,53 друк. арк.).*

27. Куруджи Ю.В. Управління ризиками на морському транспорті: Навчальний посібник. Практикум / М. Я. Постан, І. М. Москвіченко, Ю. В. Куруджи. – Одеса : Бондаренко, 2018. – 88 с. (5,11 друк. арк.). *Особистий внесок: проведено розрахунки для задач страхування ризиків, які зустрічаються в діяльності підприємств морського транспорту (1,25 друк. арк.).*

28. Транспортний менеджмент: Навчальний посібник. Практикум / М.М. Коваленко, Ю.В. Куруджи, М.Я. Постан та ін. – Одеса : Бондаренко, 2017. – 108 с. (6,28 друк. арк.). *Особистий внесок: розраховані оптимальні плани перевезень для задач взаємодії різних видів транспорту в транспортних мережах (0,9 друк. арк.).*

29. Куруджи Ю.В. Modeling the influence of transport units movement's irregularity of storage level of cargo at warehouse / Ю. В. Куруджи // Проблеми

розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2012 : матеріали IV міжнар.
наук.-практ. конф. (Одеса – Констанца – Несебр, 22–30 вересня 2012 р.). –
Одеса : ОНМУ, 2012. – С. 196. *(0,12 друк. арк.)*.

ЗМІСТ

ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ	29
1.1 Ланцюг поставок як ключове поняття логістики.	29
1.2 Систематизація причин та заходів зниження невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок	46
1.3 Аналітичний огляд існуючих результатів моделювання ланцюгів поставок	63
Висновки за розділом 1	75
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПІДПРИЄМСТВ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАВОК З ВРАХУВАННЯМ ФАКТОРІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	78
2.1 Статичні моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок з урахуванням факторів невизначеності	78
2.2 Моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок з урахуванням факторів невизначеності та фактора часу	103
Висновки за розділом 2	124
РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ ПЛАНУВАННІ РОБОТИ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК В РИНКОВИХ УМОВАХ	127
3.1 Методи оцінки ризиків підприємства при оптимізації плану роботи ланцюгів поставок	127
3.2 Метод знаходження оптимальної рівноваги між конкуруючими ланцюгами поставок з урахуванням інноваційної діяльності підприємств	155

3.3 Основні вимоги до інформаційного та організаційного забезпечення методів оцінки ризиків.	171
Висновки за розділом 3	185
ВИСНОВКИ	188
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	193
ДОДАТКИ	220

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Проблема формування і зниження повних логістичних витрат уздовж усього ланцюга поставок є однією з головних у теоретичній логістиці та логістичній практиці. Забезпечити ефективну координацію між матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками в логістичних системах важко через прояви багатьох факторів зовнішньої та внутрішньої невизначеності. Це обумовлено дією різних видів ризиків протягом усього ланцюга поставок. Зокрема, в діяльності окремих ланок ланцюга, які представляють собою незалежні суб'єкти господарювання, можуть виникати ризики, пов'язані з взаємними розрахунками, конфліктами інтересів, з розподілом загального прибутку та перерозподілом витрат між ними. У зв'язку з цим виникає ряд нових наукових проблем, які потребують свого дослідження на основі застосування методів дослідження операцій та теорії управління ризиками.

Теоретичні основи управління ризиками створені в працях таких зарубіжних вчених, як С. Асмуссен, Я. Гранделл, К. Ерроу, Г. Крамер, О. Лундберг, Г. Фалін, С. Шоргін, Д. Юдін та ін. Вагомий внесок у розвиток теорії управління ризиками внесли такі вітчизняні вчені, як В. Вітлінський, В. Гранатуров, Ю. Єрмольєв, Н. Лепа, Ю. Лисенко, В. Лук'янова, І. Ляшенко, А. Матвійчук, М. Сявакко, О. Ястремський та ін. Проблеми, пов'язані з моделюванням логістичних систем та/або управлінням ризиками в ланцюгах поставок, досліджувалися у працях В. Алькеми, А. Бочкарьова, П. Брандімарте, Г. Бродецького, Л. Буяк, А. Гарісона, М. Григорак, П. Григорука, Т. Завгородньої, Г. Зоретті, Д. Іванова, О. Клепікової, Є. Крикавського, В. Лукинського, О. Некрасова, М. Постан, О. Посилкіної, М. Румянцева, І. Савенка, В. Сергеєва, В. Сисоєва, В. Скіцька, З. Соколовської, О. Сумця, І. Ткаченка, А. Холоденка, Н. Чухрай, Дж. Шапіро та ін.

При вирішенні задач управління ризиками при функціонуванні логістичних систем доцільно використовувати досягнення сучасної теорії ризику, яка заснована на класичній теорії ймовірностей і є глибоко розробленою областю науки. Однак, оскільки логістичний менеджмент заснований на координації матеріальних, фінансових та інформаційних потоків, необхідна більш широка постановка проблем, пов'язаних з управлінням ризиками в ланцюгах поставок, а також розробка нових відповідних методів моделювання та дослідження.

Таким чином, управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику є актуальним науковим завданням, що визначило тему дисертаційної роботи, її мету і завдання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася у рамках розробок за держбюджетними темами Науково-дослідного інституту фундаментальних і прикладних досліджень Одеського національного морського університету: «Теоретичні засади оптимального управління функціонуванням та розвитком морських транспортних систем» (номер державної реєстрації 0115U000605), у якій автором запропоновано модель оптимізації плану випуску і доставки продукції з урахуванням факторів невизначеності та метод оцінки ринкового ризику при плануванні роботи ланцюга поставок з урахуванням факторів внутрішньої та зовнішньої невизначеності; «Теоретико-економічні засади оптимального управління функціонуванням та розвитком виробничо-транспортних та логістичних систем в інтересах національної безпеки та євроінтеграції» (номер державної реєстрації 0117U000618), в якій автором запропоновані моделі оптимізації планування діяльності логістичних систем у межах VAT-класифікації та метод оцінки економічної доцільності страхування ризиків при плануванні роботи дворівневої логістичної мережі.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є обґрунтування теоретичних і науково-методичних засад оптимізації управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та

ризиків шляхом розробки систем економіко-математичних моделей та методів управління ризиками на основі теорії управління запасами, теорії управління ризиками, теорії конкуренції та сучасних інформаційних технологій.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації були поставлені і вирішені наступні завдання:

- виявити проблеми управління функціонуванням ланцюгів поставок, систематизувати причини та заходи зниження невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок;
- проаналізувати еволюцію розвитку економіко-математичного моделювання ланцюгів поставок з точки зору сучасної теорії управління запасами;
- побудувати та проаналізувати статичні моделі оптимального планування взаємодії підприємств у ланцюгу поставок в умовах невизначеності та ризику для різних конфігурацій ланцюгів поставок;
- побудувати та проаналізувати моделі оптимального планування взаємодії підприємств у ланцюгу поставок в умовах невизначеності та ризику з врахуванням фактора часу;
- розробити методичні положення для кількісної оцінки основних типів ризиків, які виникають при функціонуванні ланцюгів поставок;
- оптимізувати функціонування ланцюгів поставок в умовах конкуренції;
- розробити пропозиції щодо вдосконалення організації управління ланцюгами поставок.

Об'єктом дослідження є процеси впливу невизначеності та ризиків на функціонування ланцюгів поставок різних конфігурацій.

Предметом дослідження є економіко-математичні моделі оптимального управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику.

Методи дослідження. Теоретичну і методичну основу проведеного дослідження складають: наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених в галузі логістики (для проведення аналітичного огляду існуючих результатів моделювання ланцюгів поставок в п. 1.3), економіко-статистичний метод (при аналізі динаміки показника логістичної ефективності в п. 1.1), методи економічного аналізу (економіко-математичне моделювання, теорія управління запасами, лінійне та стохастичне програмування для побудови статичних і динамічних моделей планування взаємодії підприємств у ланцюгах поставок в розділі 2), методи фінансової математики, математичної теорії ризику та ризик-менеджменту (для обґрунтування економічної доцільності страхування ризиків у діяльності логістичних ланцюгів поставок в п. 3.1), комп'ютерного моделювання (для дослідження змін рівноважних станів підприємств-ланок ланцюга поставок в п.3.2), методи графічного аналізу з метою наочної ілюстрації одержаних результатів.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в обґрунтуванні та подальшому розвитку теоретико-методологічних положень і практичних рекомендацій щодо оптимізації управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику. Основні наукові положення, які отримані особисто автором і визначають їх наукову новизну, полягають у наступному:

вперше:

- розроблено комплекс моделей оптимального управління функціонуванням ланцюгів поставок з урахуванням коливання рівня запасів в окремих ланках ланцюгів в умовах невизначеності та ризику з врахуванням фактора часу, які дозволяють вдосконалити взаємодію підприємств у ланцюгах поставок різних конфігурацій з врахуванням факторів зовнішньої (випадковий попит на продукцію в пунктах призначення) та внутрішньої (коливання виробничих коефіцієнтів) невизначеності, це дозволяє аналізувати різні варіанти прийняття рішень щодо узгодження між собою обсягів виробництва і доставки готової продукції кінцевому споживачу

залежно від зміни попиту на неї, проводити аналіз роботи ланцюгів поставок і вносити конкретні пропозиції щодо вдосконалення планування їх роботи (с. 103-116);

удосконалено:

– статичні моделі оптимального планування взаємодії підприємств у межах ланцюгів поставок, які, на відміну від існуючих, враховують фактори внутрішньої та зовнішньої невизначеності, а також специфіку функціонування ланцюгів поставок в рамках VAT-класифікації, яка ґрунтується на тому, як проходить матеріальний потік через весь ланцюг поставок, адже така класифікація дозволяє швидко і точно діагностувати джерело проблем на виробництві та виробити рекомендації щодо їх подолання, а також кількісно оцінювати синергійні ефекти у межах логістичної мережі (с. 79-85, 88-93, 95-102);

– методичні положення щодо економічного обґрунтування доцільності страхування різних видів ризиків, що виникають при функціонуванні логістичних мереж, які, на відміну від існуючих, дозволяють встановити критерії доцільності страхування ризиків, пов'язаних з нестачею ресурсів для виробництва продукції та ризиків, що виникають через відхилення запланованих до випуску обсягів продукції від фактичного попиту (с. 130-135, 140-145, 149-153);

- моделі дуополії промислових підприємств-виробників продукції, що входять до конкуруючих ланцюгів поставок, які, на відміну від існуючих, є синтезом інноваційної політики підприємств і логістичної концепції управління, побудовані на одночасному моделюванні процесів виробництва, доставки готової продукції та враховують конкуренцію між ланцюгами поставок у межах логістичної мережі; використання моделей дозволить кількісно врахувати вплив інноваційної діяльності виробничих підприємств-ланок ланцюгів поставок на ефективність їх роботи (с. 162-165);

отримали подальший розвиток:

– визначення рівноваги за Курно та Штакельбергом стосовно до конкуруючих ланцюгів поставок, що, на відміну від існуючих підходів, коли така рівновага застосовувалась для окремих підприємств-виробників, надає змогу оптимізувати в умовах конкуренції одночасно не тільки виробничу, а й інноваційну стратегію ланцюгів поставок, яка полягає в технологічних нововведеннях на підприємствах (с. 165-169);

– моделі теорії оптимального управління запасами з врахуванням фактора часу (зокрема класична модель Вагнера-Уайтіна), які, на відміну від існуючих, отримали подальший розвиток у напрямку мереж збереження запасів (с. 116-120);

- теоретичні підходи до визначення функцій, завдань і місця відділу управління ризиками в організаційній структурі управління виробничих підприємств в рамках ланцюга поставок, які, на відміну від інших, враховують необхідні координуючі та комунікаційні механізми між структурними підрозділами підприємства та ланками ланцюга, що дозволяє найбільш ефективно управляти ризиками, які виникають при функціонуванні ланцюгів поставок (с. 176-182).

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені теоретичні положення та практичні рекомендації знайшли застосування у роботі стивідорної компанії ТОВ «Бруклін-Київ Порт» (довідка від 28.09.2020 р.), ТОВ «Експрес-Фаворит» (довідка від 21.09.2020 р.).

Крім того, результати дослідження використовуються у навчальному процесі Інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету під час розробки навчальних планів та програм, а також при проведенні лекцій і практичних занять з дисциплін «Ризик-менеджмент» та «Логістичний менеджмент» для студентів спеціальності «Менеджмент» освітніх програм «Логістичний менеджмент» і «Морська логістика» (довідка від 17.09.2020 р.); наукових розробках Науково-дослідного інституту

фундаментальних і прикладних досліджень Одеського національного морського університету (довідка від 18.09.2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, що представлені в дисертації та опубліковані в наукових працях, отримані автором самостійно. Внесок автора у статті, які були підготовлені у співавторстві, наведений у списку опублікованих праць за темою дисертації.

У спільній роботі [3] здобувач запропонувала моделі конкуренції між ланцюгами поставок. У спільних роботах [9] і [21] здобувач брала участь в розробці статичної моделі оптимізації плану роботи ланцюга поставок типу V, яка дозволяє визначати оптимальну політику виробництва комплектуючих, випуску готової продукції, її перевалки і перевезення в пункти призначення з мінімальними повними логістичними витратами. В спільній роботі [11] внесок здобувача полягав у розробці динамічної моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції та проведенні відповідних розрахунків. У спільній роботі [17] здобувачу належить виведення формули сумарного прибутку дворівневої логістичної системи. В роботах [26], [27] і [28] внесок здобувача полягав у розрахунку оптимальних планів виробництва та доставки продукції для задач планування роботи ланцюгів поставок, у проведенні розрахунків для задач взаємодії різних видів транспорту в транспортних мережах та задач страхування ризиків, які зустрічаються в діяльності підприємств морського транспорту.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дослідження були представлені в доповідях здобувача на:

- III-й, IV-й і V-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми розвитку транспортної логістики» Інтер-ТРАНСЛОГ'2011 (м. Одеса, вересень 2011), Інтер-ТРАНСЛОГ'2012 (м. Одеса, вересень 2012), Інтер-ТРАНСЛОГ'2013 (м. Одеса, вересень 2013);
- IV-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні порти – проблеми та рішення» (м. Одеса, квітень-травень 2012 р);

- IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту» (м. Львів, листопад 2012);
- XI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми підготовки професійних кадрів з логістики в умовах глобального конкурентного середовища» (м. Київ, жовтень 2013);
- I-й Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Транспорт як фактор глобального розвитку» (м. Одеса, квітень 2014);
- XIX-й Міжнародній науково-методичній конференції «Проблеми економічної кібернетики 2014» (м. Полтава, жовтень 2014);
- II Міжнародній науково-практичній конференції «Механізми, стратегії, моделі та технології управління економічними системами за умов інтеграційних процесів: теорія, методологія, практика» (м. Хмельницький, жовтень 2015 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2016)» (м. Одеса, вересень 2016 р.);
- I Міжнародній науково-методичній конференції «Економіко-математичне моделювання» (м. Київ, вересень-жовтень 2016 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами» (ММП-2017) (м. Київ вересень 2017 р.);
- III Міжнародній науково-практичній конференції «Економічне зростання: стратегія, напрями, пріоритети» (м. Запоріжжя, травень 2018 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Пріоритетні напрями розвитку економіки: нові реалії та можливості в умовах євроінтеграції» (м. Запоріжжя, травень 2018 р.);
- II Міжнародній науково-практичній конференції «Економічний потенціал країни: наукові підходи та практика реалізації» (м. Одеса, травень 2018 р.);

- науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Одеського національного морського університету (2011-2019 рр.).

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 29 наукових праць (загальним обсягом 25,17 друк. арк., з яких автору належить 11,31 друк. арк.), з них 1 стаття – у науковому фаховому виданні, яке індексується в наукометричній базі Scopus (обсягом 0,7 друк. арк.), 9 статей – у наукових фахових виданнях України (обсягом 5,33 друк. арк.), 1 стаття – у іноземному науковому періодичному виданні (обсягом 0,55 друк. арк.), 15 публікацій – у матеріалах і тезах доповідей конференцій (обсягом 2,32 друк. арк.), 3 навчальних посібники (обсягом 16,27 друк. арк.).

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 247 сторінок комп'ютерного тексту. Робота містить: 11 таблиць, з яких 1 займає повну сторінку, 24 рисунки, з яких 1 займає повну сторінку, анотацію на 10 сторінках, 5 додатків на 29 сторінках, список використаних джерел, який нараховує 246 найменувань і розміщений на 27 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ

1.1. Ланцюг поставок як ключове поняття логістики

В сучасному світі логістичні послуги стали важливою частиною системи ринкової економіки у зв'язку з посиленням глобалізації та конкуренції, ускладненням інформаційних, фінансових і матеріальних потоків. Широке застосування принципів логістики в практиці господарської діяльності викликано необхідністю максимально можливого скорочення тимчасових інтервалів між придбанням підприємством сировини та матеріалів і постачанням готової продукції кінцевому споживачеві; логістика дає можливість мінімізувати товарні запаси, а іноді і взагалі їх не використовувати (як, наприклад, в японській системі "just-in-time"), дозволяє значно скоротити час доставки необхідних товарів гарантованої якості у потрібній кількості в потрібне місце, підвищує рівень обслуговування клієнтів, прискорює процес обміну інформацією.

Згідно з даними міжнародної консалтингової компанії Armstrong & Associates [134], логістичні витрати в світовому валовому внутрішньому продукті (ВВП) в середньому в 2018 році склали 10,7%, світовий ВВП склав 84,79 трлн. дол. США, отже, логістичні витрати становили близько 9 трлн. дол. США (рис. 1.1., рис. 1.2). Країнами з найнижчою часткою логістичних витрат є Швеція (7,3%), Німеччина і США (8%). В середньому в країнах Європи рівень логістичних витрат склав 9,5%, в Японії – 8,5%, в Індії – 13%, в Китаї – 14,5%. Логістична складова в ВВП України в 2018 р. становила 15,9%, що далеко від рівня європейських країн (9,5%), але в останні роки вона має тенденцію до скорочення.

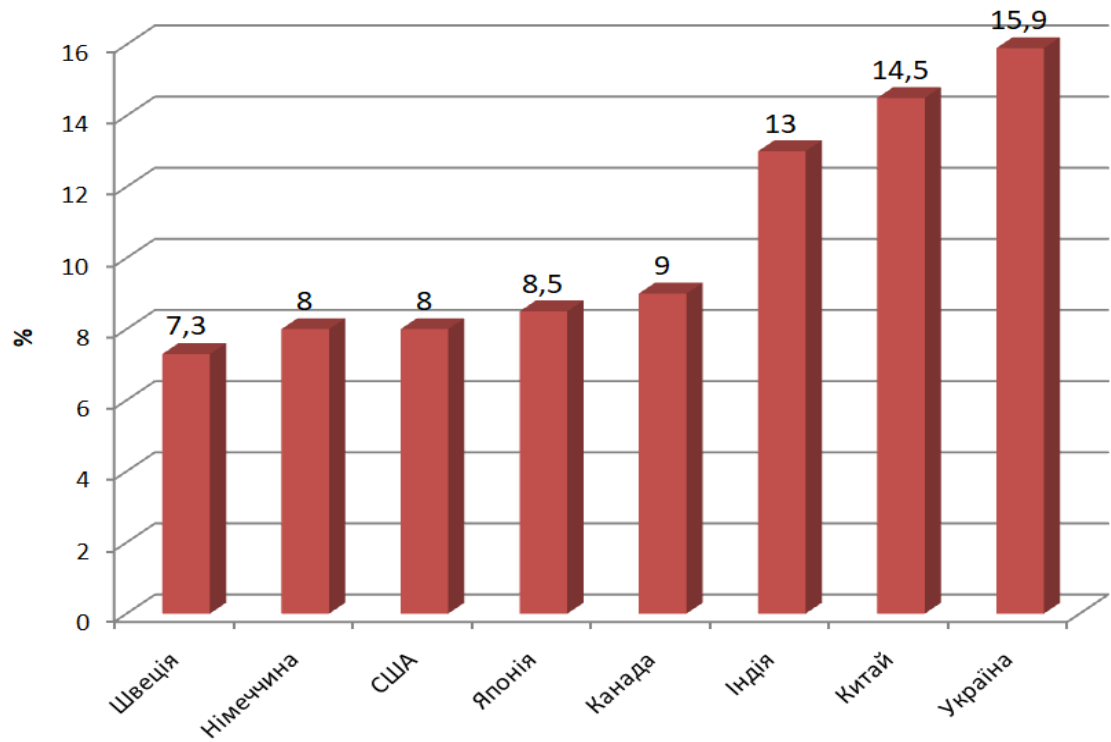


Рис. 1.1. Частка логістичних витрат у ВВП країн світу у 2018 р.*

* побудовано за даними [134]

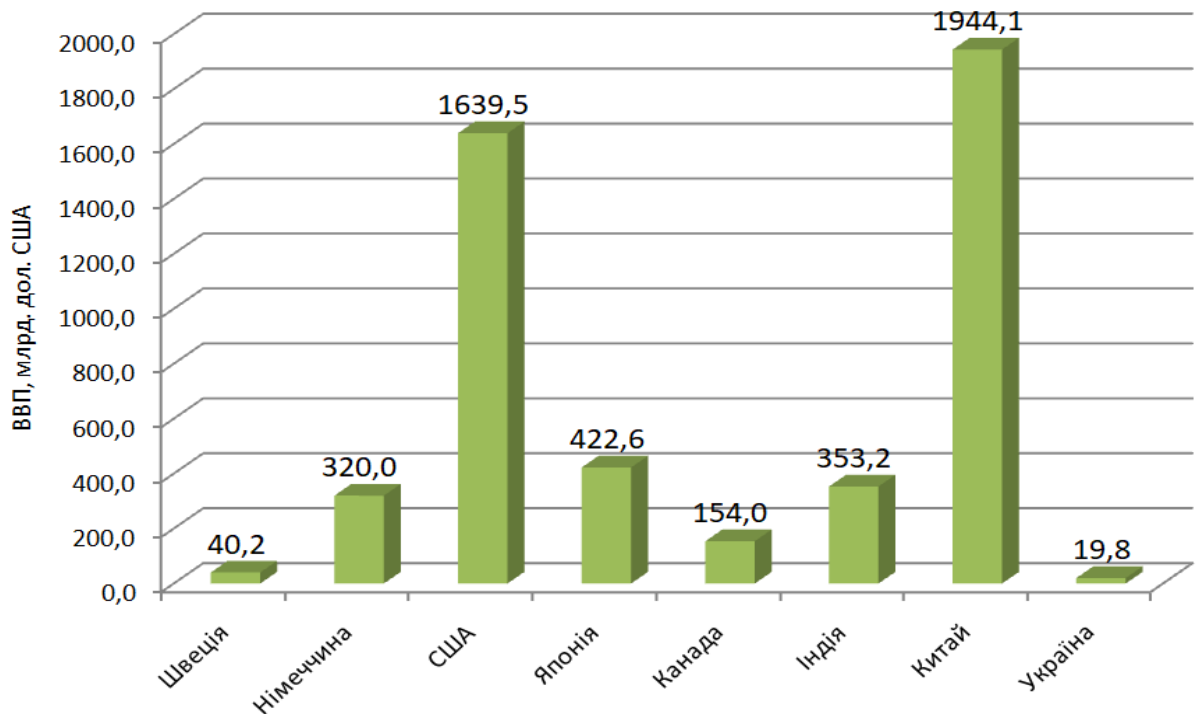


Рис. 1.2. Витрати країн світу на логістику в 2018 р. .*

* побудовано за даними [134]

Для компаній, які працюють у сфері логістики та надають послуги по організації і регулюванню процесів переміщення продукції від виробників до споживачів, важливими показниками є час навантаження, розвантаження, митного очищення, вартість перевезення. Таким чином, все більш важливим фактором стає ефективність логістики країни.

Одним з широко використовуваних методів для оцінки розвитку логістики країн світу є складання рейтингів між країнами, яке базується на обчисленні зведеного індексу на основі різних показників.

Індекс ефективності логістики (LPI) відноситься до одного з таких методів, він базується на всесвітньому опитуванні операторів на місцях (глобальних експедиторів та експрес-перевізників) та кількісних даних щодо ефективності ключових складових логістичного ланцюга.

Користуючись цим методом, Світовий банк визначає країни з кращою логістикою кожні два роки, починаючи з 2012 року [135]. В табл. 1.1. і табл. 1.2 представлений рейтинг кращих країн світу за індексом LPI та наведено місце України в цьому рейтингу.

Таблиця 1.1

Країни, які входять в десятку найкращих
за Індексом ефективності логістики (2012-2018 рр.)*

Країна	2018 р.		2016 р.		2014 р.		2012 р.	
	місце	індекс	місце	індекс	місце	індекс	місце	індекс
Німеччина	1	4,20	1	4,23	1	4,12	4	4,03
Швеція	2	4,05	3	4,20	6	3,96	13	3,85
Бельгія	3	4,04	6	4,11	3	4,04	7	3,98
Австрія	4	4,03	7	4,10	22	3,65	11	3,89
Японія	5	4,03	12	3,97	10	3,91	8	3,93
Нідерланди	6	4,02	4	4,19	2	4,05	5	4,02
Сінгапур	7	4,00	5	4,14	5	4,00	1	4,13
Данія	8	3,99	17	3,82	17	3,78	6	4,02
Великобританія	9	3,99	8	3,99	4	4,01	10	3,93
Фінляндія	10	3,97	15	3,92	24	3,62	3	4,05
...								
Україна	66	2,83	80	2,74	61	2,98	66	2,85

* побудовано за даними [135]

LPI досліджує ефективність логістики у різних країнах, враховуючи такі показники, як ефективність процесу оформлення вантажів органами прикордонного контролю, якість торгової і транспортної інфраструктури країни, легкість організації поставок за конкурентоспроможними цінами, компетентність і якість логістичних послуг транспортних операторів і митних брокерів, здатність прокладати маршрути і відстежувати вантажі, своєчасність відвантаження в напрямку призначення в запланований або очікуваний час доставки.

Таблиця 1.2

Рейтинг країн та складові LPI у 2018 р. за даними Світового банку*

Країна	Місце	Індекс	Складові індексу					
			Митниця	Інфра-структура	Міжнародні поставки	Логістична компетенція	Відстеження	Своєчасність
Німеччина	1	4,20	4.09	4.37	3.86	4.31	4.24	4.39
Швеція	2	4,05	4.05	4.24	3.92	3.98	3.88	4.28
Бельгія	3	4,04	3.66	3.98	3.99	4.13	4.05	4.41
Австрія	4	4,03	3.71	4.18	3.88	4.08	4.09	4.25
Японія	5	4,03	3.99	4.25	3.59	4.09	4.05	4.25
Нідерланди	6	4,02	3.92	4.21	3.68	4.09	4.02	4.25
Сінгапур	7	4,00	3.89	4.06	3.58	4.10	4.08	4.32
Данія	8	3,99	3.92	3.96	3.53	4.01	4.18	4.41
Великобританія	9	3,99	3.77	4.03	3.67	4.05	4.11	4.33
Фінляндія	10	3,97	3.82	4.00	3.56	3.89	4.32	4.28
...								
Україна	66	2,83	2.49	2.22	2.83	2.84	3.11	3.42

* побудовано за даними [135]

У 2018 р. був розрахований агрегований LPI, який поєднав в собі чотири попередні значення (за 2012-2018 рр.): результати шести складових попередніх років були використані для створення «загальної картини». Вважалося, що такий підхід зменшить випадкові варіації і дозволить порівняти 167 країн.

Для оцінки кожного року за кожним компонентом була надана вага [135]: 6,7 % у 2012 р., 13,3 % у 2014 р., 26,7 % у 2016 р. та 53,3 % у 2018 р., щоб останні дані мали найбільшу вагу.

В табл. 1.3. наведено місце України в рейтингу країн світу за агрегованим LPI та його складові.

Таблиця 1.3

Країни, які входять в десятку найкращих
за Агрегованим індексом ефективності логістики (2018 р.)*

Країна	Місце	Індекс	Складові індексу					
			Митниця	Інфра-структура	Міжнародні поставки	Логістична компетенція	Відстеження	Своєчасність
Німеччина	1	4,19	4.09	4.38	3.83	4.26	4.22	4.40
Нідерланди	2	4,07	3.97	4.23	3.76	4.12	4.08	4.30
Швеція	3	4,07	3.95	4.22	3.88	4.04	4.02	4.32
Бельгія	4	4,05	3.74	4.03	3.97	4.10	4.11	4.40
Сінгапур	5	4,05	4.00	4.14	3.72	4.08	4.05	4.34
Великобританія	6	4,01	3.85	4.09	3.69	4.04	4.10	4.32
Японія	7	3,99	3.91	4.19	3.61	4.03	4.03	4.24
Австрія	8	3,99	3.71	4.07	3.78	4.04	4.13	4.22
Китай	9	3,96	3.85	4.02	3.85	3.94	3.95	4.18
США	10	3,92	3.76	4.10	3.54	3.93	4.13	4.14
...								
Україна	69	2,83	2.46	2.38	2.77	2.76	3.08	3.45

* побудовано за даними [135]

Таким чином, у 2018 р. за версією Світового банку Україна опинилась на 66 місці за показником логістичної ефективності, покращивши результат 2016 р. на 14 позицій.

Найнижчі показники складових LPI для України відповідають якості інфраструктури країни та ефективності роботи митниці (2,22 і 2,49 відповідно з можливих 5), а найбільший (3,42) – своєчасності відвантаження в запланованому напрямку (рис. 1.3).

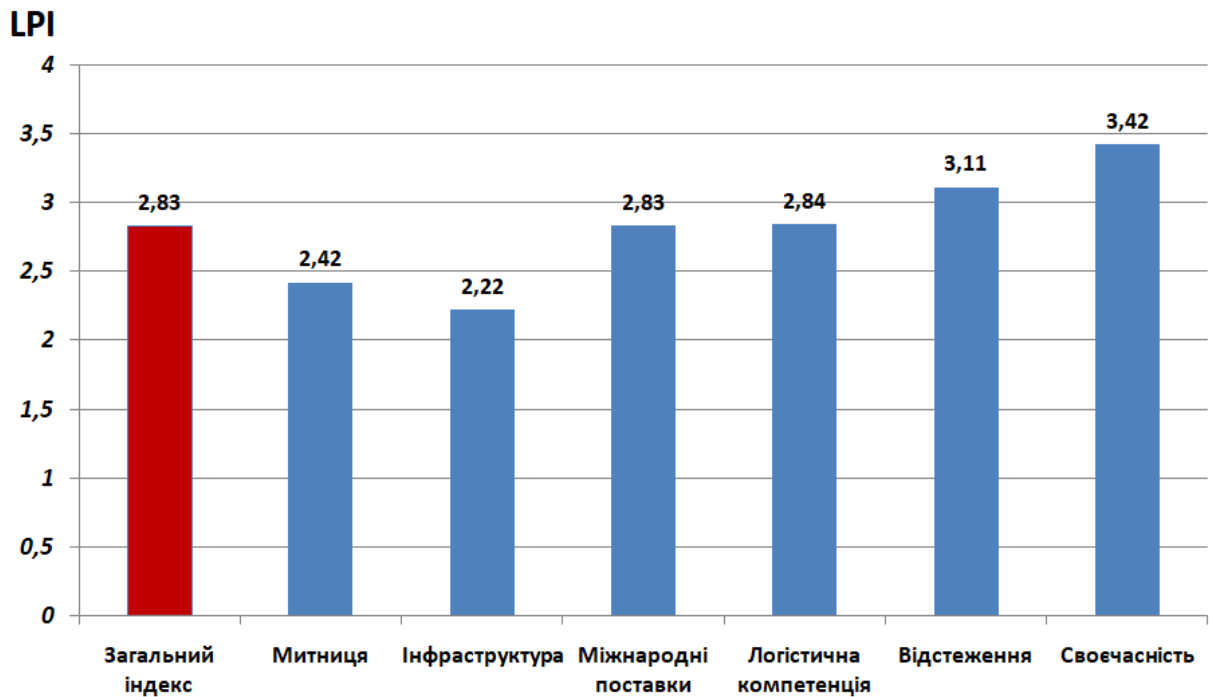


Рис. 1.3. Складові Індексу ефективності логістики для України у 2018 р.*

* побудовано за даними [1]

Дослідники Світового банку визнають, що розроблена ними методика оцінки ефективності логістики не є чисто науковою, у своїх звітах вони вказують, що оцінка на основі індексу LPI дається через погляд світового приватного сектора на те, як країни взаємопов'язані між собою торговими операціями, тому в ній не відображені в повній мірі зміни, що відбуваються на рівні окремої країни. Така оцінка може доповнювати дослідження логістичної галузі. Як відзначають експерти, індекс LPI дозволяє визначити країни з випереджаючим і відстаючим розвитком логістики, однак висока оцінка не обов'язково означає рівномірно високі показники її ефективності по всій країні. В цілому автори дослідження визнають, що логістика багатовимірна, тому визначення та аналіз її ефективності в різних країнах є проблематичним [218].

Сучасний стан, тенденції на логістичному ринку та перспективи розвитку логістики в Україні досліджуються в багатьох наукових доробках

вітчизняних науковців, зокрема таких, як: А. Бакута [5], К. Більовський [9], О. Довженко [40], А. Кальченко [56], Є. Крикавський [73-74], І. Макалюк [104], Н. Чухрай [195-196], О. Шандрівська, Л. Швеців [199], О. Шимко [203] та ін. Однією з важливих складових, поруч із закупівельною, розподільчою, виробничою і складською логістикою, є транспортна логістика. Внесок у сучасне розуміння та розвиток організації й управління транспортною логістикою зробили: Л. Грицина [36], В. Кислий [58], А. Кузьменко [78], О. Лук'янова [101], В. Мандра [109], Н. Питуляк [139], Н. Тарнавська [170].

Дослідження показують, що ринок логістики в Україні зараз перебуває на стадії стабілізації, стає більш професійним і відкритим завдяки впровадженню інноваційних рішень, ІТ-продукції, нових методів оптимізації логістичних витрат. Але поряд з тим для сучасного етапу розвитку українського ринку логістичних послуг характерні такі проблеми, як відстала інфраструктура транспорту, в першу чергу в сфері автомобільних доріг, недостатня кількість вантажних терміналів, а також низький їх техніко-технологічний рівень, нераціональний розвиток систем розподілу товарів і послуг, низький рівень розвитку сучасних систем електронних комунікацій, систем зв'язку, недолік практично на всіх видах транспорту сучасних транспортних засобів, які б відповідали світовим стандартам, високий ступінь морального та фізичного зносу рухомого складу транспорту, слабкий рівень розвитку виробничо-технічної бази складського господарства, недолік сучасного технологічного обладнання по переробці продукції, низький рівень автоматизації та механізації складських робіт, недостатній розвиток промисловості в сфері виробництва сучасної упаковки і тари, труднощі законодавчого характеру та нестача професійних кадрів.

В кінці 90-х років 20 століття в США, Європі і Японії з'явилася і почала бурхливо розвиватися концепція управління ланцюгами поставок або SCM (Supply Chain Management), протягом останніх років ця концепція динамічно розвивається і має суттєвий вплив на всі сфери економіки в результаті взаємозв'язків в межах поставок.

Серед найбільш важливих передумов формування ланцюга поставок можна зазначити наступні ([42], [75]):

- формування глобальних ринків, пов'язаних з розвитком світової економіки;
- необхідність оволодіння новими ринками для більш активного впливу на споживачів, а також необхідність протидії загостренню конкуренції;
- динамічний розвиток інформаційних технологій;
- зростання впливу споживачів, що пов'язано з виникненням у них нових специфічних потреб;
- розробка та удосконалення нових методів і технологій управління;
- науково-технічні дослідження, рівень яких перевищує фінансові можливості деяких підприємств.

Використання концепції ланцюга поставок ([160], [177-178], [196]) є важливим засобом забезпечення конкурентних позицій підприємства на товарних ринках, що дозволяє йому управляти ключовими процесами краще конкурентів. До таких ключових процесів відносяться пропозиція нових продуктів, розвиток партнерства з постачальниками, цикли реалізації замовлень і управління контактами з споживачами. Скорочення життєвого циклу товарів, зростання популярності практики «своєчасних поставок», перетворення ринку продавця в ринок покупців, здатність підприємства швидко і гнучко реагувати на зміну попиту завдяки концепції ланцюга поставок може забезпечити йому стійкі конкурентні переваги.

Еволюція концепції розвитку ланцюга поставок відображає різні залежності між господарюючими суб'єктами – від індивідуальних організацій до широко розвинених мереж. Зв'язки між суб'єктами господарювання розвиваються під впливом двох змінних: динаміки змін і комплексності рішень, кожна з яких може бути низькою або високою. Головним джерелом визначення динаміки змін є такі аспекти: стабільність попиту на ринку,

доступність, якість та прозорість інформації, швидка результативність стратегічних дій, надійність щоденних контактів з партнерами.

Комплексність рішень залежить від контексту і оточення, а також зазвичай інтерпретується дуже суб'єктивно. В сфері логістики виділяють два види комплексності: об'єктивну і суб'єктивну. Об'єктивна комплексність є результатом самоорганізації певних елементів, які співпрацюють. Результат і можливий успіх співпраці залежать від комплексності оточення, а також його впливу на окремі елементи. Суб'єктивна комплексність означає зростання кількості ланок, структурних зв'язків, а також збільшення комунікаційної інтенсивності в самій організації, що, безумовно, призводить до погіршення умов кооперації.

Еволюція концепції ланцюга поставок, в свою чергу, спрямована на збільшення кількості комплексних рішень і посилення динаміки змін (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Еволюція концепції ланцюга поставок*

* побудовано за даними [53], [152], [178]

Ефект об'єднання цих критеріїв дає можливість отримати наступні рівні розвитку ланцюга поставок як внутрішній ланцюг поставок, логістичний канал, ланцюг поставок та логістична мережа.

Головними причинами переходу до формування ланцюгів поставок можна вказати наступні:

- загострення світової кризи збуту усіх товарів і послуг;
- скорочення тривалості перебування продукту в виробничому процесі;
- підвищення інтенсивності та складності матеріальних та інформаційних потоків;
- збільшення кількості використовуваних нових технологій;
- скорочення фази використання життєвого циклу товару;
- підвищення вимог до якості і надійності кінцевої продукції фірми;
- загострення конкуренції;
- значні витрати в сферах виробництва, постачання, збуту;
- широке використання концепцій «Just-in-time», «Lean production».

Розглянемо детальніше сутність поняття «ланцюг поставок».

В табл. 1.4, представлені визначення ланцюга поставок, надані закордонними та вітчизняними вченими.

Таблиця 1.4

Визначення змісту поняття «ланцюг поставок»*

Автор	Визначення ланцюга поставок
Багчі П. [211, с. 28]	Мережі заводів і підрядників, які надають сировину і компоненти, переробляють їх у напівфабрикати, а потім створюють один кінцевий продукт, який доставляють у сферу споживання кінцевим споживачам
Іванов Д. [53, с. 105]	Пов'язана структура бізнес-одиниць, яка об'єднана відношенням «постачальники - головне підприємство - споживачі» у процесі створення і реалізації товарів, що мають цінність для кінцевого споживача

Крістофер М. [217, с. 14]	Мережа взаємопов'язаних організацій, яка створює продукти і послуги для кінцевих споживачів на основі зв'язків із постачальниками і споживачами в різних видах діяльності
Пірес С. та інші [236, с. 297]	Мережа автономних або напівавтономних компаній, які несуть колективну відповідальність за пошук, виготовлення і поставку одного або більше продуктів
Сергєєв В. [160, с. 18]	Три і більше економічних одиниць (юридичні чи фізичні особи), які безпосередньо беруть участь у зовнішніх і внутрішніх поставках продукції, послуг, фінансів та / або інформації від джерела до споживача
Сток Дж., Ламберт Д. [166, с. 26]	Інтегрований процес, який характеризується власною, певною структурою часткових процесів, що охоплюють реалізацію замовлень; обслуговування клієнта; складування і управління запасами; підготовку реалізації продукту; узгодження цілей і формування систем переміщень
Чухрай Н.І. [196, с. 32]	Лінійно впорядкована сукупність фізичних і юридичних осіб, серед яких можна виділити постачальників початкового та кінцевого рівнів, кінцевих споживачів, які беруть участь у виконанні логістичних операцій для доведення матеріального і супутніх йому потоків від однієї логістичної системи до іншої або до кінцевого споживача

* побудовано за даними [53], [160], [166], [196], [211], [217], [236]

Таким чином, основною метою функціонування ланцюга поставок є переміщення матеріального потоку уздовж усього ланцюга від однієї логістичної системи до іншої або до кінцевого споживача ([75], [196]). У той же час, крім матеріального потоку, не можна ігнорувати супутні інформаційні, фінансові та сервісні потоки.

Підсумовуючи визначення, наведені в табл. 1.4, в подальшому в роботі під ланцюгом поставок будемо розуміти пов'язану сукупність економічних одиниць (фізичних і юридичних осіб – постачальників сировини і матеріалів, виробників продукції, посередників, кінцевих споживачів), які безпосередньо беруть участь у виконанні логістичних операцій по доведенню логістичних потоків (матеріального і супутніх йому) до споживача. Ланцюг поставок

охоплює і погоджує процеси постачання, виробництва і збуту продукції, сприяє задоволенню потреб виробництва завдяки взаємодії інформаційних систем всіх ланок.

Сучасний етап розвитку логістики характеризується широким використанням в логістичних процесах нових форм посередницьких послуг, які включають в себе весь комплекс організаційно-правових і оперативно-виробничих послуг (організація перевезень, консультування з питань логістики тощо). Компанії, які надають такі інтегральні послуги для комплексного задоволення потреб своїх клієнтів, стали називатися «операторами логістичних послуг», або «логістичними провайдерами».

У літературі [44], [46], [80], [187] наводиться класифікація логістичних операторів, яку коротко можна представити наступним чином:

- 1PL-оператори – найпростіший автономний варіант, коли всі операції здійснюються вантажовласником;
- 2PL-оператори – компанії, які надають послуги з транспортування та складування;
- 3PL-оператори – оператори комплексних логістичних послуг;
- 4PL-оператори – системні логістичні інтегратори;
- 5PL-оператори – віртуальні інтегровані логістичні оператори.

У сучасній науковій літературі деякі автори ([46], [80]) виділяють логістичних операторів рівня 5PL (Fifth Party Logistics) як окремий елемент в класифікації логістичних операторів і під таким оператором, як правило, розуміють логістичного оператора, діяльність якого заснована на використанні комплексу сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, що дозволяють вести в інтерактивному режимі базу даних вантажовідправників, вантажоодержувачів і транспортних компаній, здійснювати планування перевезень, диспетчеризацію та моніторинг виконання замовлень в системі віртуальної логістики.

5PL-оператори інтегрують через інформаційні ресурси постачальників, покупців будь-яких товарів, робіт і послуг, виключаючи посередників.

Зв'язки будуються безпосередньо між ланками ланцюга поставок, які повинні бути повністю інтегровані в систему, але без шкоди для їх комерційної безпеки і конкурентоспроможності. Зростання ринку логістичних послуг в Україні призводить до поживлення електронної комерції та появи операторів 4PL та 5PL, тому ряд науковців ([173], [194]) бачать перспективи в розвитку логістики електронної комерції в Україні.

Ланцюги поставок відрізняються великою різноманітністю, тому при вирішенні задач управління ними слід враховувати, до якої класифікаційної групи належить ланцюг.

У табл. 1.5 представлена класифікація ланцюгів поставок за рядом ознак, розроблена на основі робіт М. Ковальова [65], О. Малікова [106], М. Парфьонова [138], Н. Чухрай [196].

Таблиця 1.5

Класифікація ланцюгів поставок*

Класифікаційна ознака	Види ланцюгів поставок
Складність ланцюга поставок	Прості ланцюги поставок (постачальник-фокусна компанія-споживач); складні (включають постачальників і споживачів другого рівня); мережі поставок (включають фокусну компанію, постачальників і споживачів різних рівнів, посередників)
Обсяги перевезень	Малі вантажопотоки (до 100 тис.т/рік), середні вантажопотоки (100-500 тис.т/ рік), великі вантажопотоки (500-1000 тис.т/рік), масові вантажопотоки (понад 1000 тис.т рік)
Проходження матеріального потоку через ланцюг поставок	V (невелике число постачальників матеріалу і сировини, велике число видів і виробників кінцевої продукції); A (велике число постачальників, невелике число видів кінцевої продукції); T (невелика кількість постачальників і поділ виробничого процесу на дві стадії)
Рід вантажів	Типові, однакові і різноманітні; штучні, сипучі, рідкі, газоподібні
Стабільність вантажопотоків:	Постійні, регулярні, пульсуючі, змінні

Розміри транспортних партій вантажів	Дрібні відправки, вагонні відправки, контейнерні відправки, цілими автомобілями, групові відправки, маршрутні перевезення
Технологія і умови перевезень	Навалом, в транспортній тарі, окремими штучними місцями, в транспортних пакетах на піддонах, в контейнерах.
Характер перевезень, число видів транспорту	Прямі, одномодальні, змішані, мультимодальні, інтермодальні, внутрішні, міжнародні, транзитні
Вид транспорту:	Залізничні, автомобільні, морські, внутрішні водні, повітряні, трубопровідні

* побудовано за даними [65], [106], [138], [196]

Особливу увагу слід приділити так званій VAT-класифікації, яка ґрунтується на тому, як проходить матеріальний потік через весь ланцюг поставок, адже така класифікація дозволяє швидко і точно діагностувати джерело проблем на виробництві та виробити рекомендації щодо їх подолання. Так, наприклад, для ланцюгів поставок типу V характерна наявність зайвих запасів товару та матеріалів, типу А – плаваючі «вузькі місця», типу Т – використання комплектуючих одного замовлення для створення заділу для іншого.

Залежно від числа постачальників, які залучаються у виробничий процес, всі ланцюги поставок можна класифікувати за трьома групами: V, А, Т [196] (рис. 1.5).

Для ланцюга типу V характерна наявність невеликого числа постачальників одного і того ж матеріалу, сировини, які в результаті виробничого процесу перетворюються на велике число видів кінцевої продукції. Такі ланцюги характерні для нафтопереробної, текстильної промисловості, деревообробки, виробництва паперу, молока, сталеливарного виробництва.

Ланцюги поставок типу А мають протилежну структуру. Тут з великого числа різноманітних видів сировини, матеріалів і комплектуючих, деталей які надають різні постачальники, невеликою кількістю виробничих підприємств виготовляється відносно невелике число продукції кінцевого

споживання. Вони застосовуються в таких галузях як електронна промисловість, машинобудування.

Нарешті, ланцюги поставок типу Т характеризуються залученням невеликої кількості постачальників і поділом виробничого процесу на дві стадії: перша, в якій випускаються і зберігаються основні деталі та компоненти з використанням простих операцій, і друга, на якій однакові комплектуючі, вироблені на першій стадії, об'єднуються різними виробниками в різних комбінаціях і перетворюються на велике число видів кінцевої продукції. Такі ланцюги поставок найбільш витратні, цьому типу відповідають хімічна, харчова галузі.

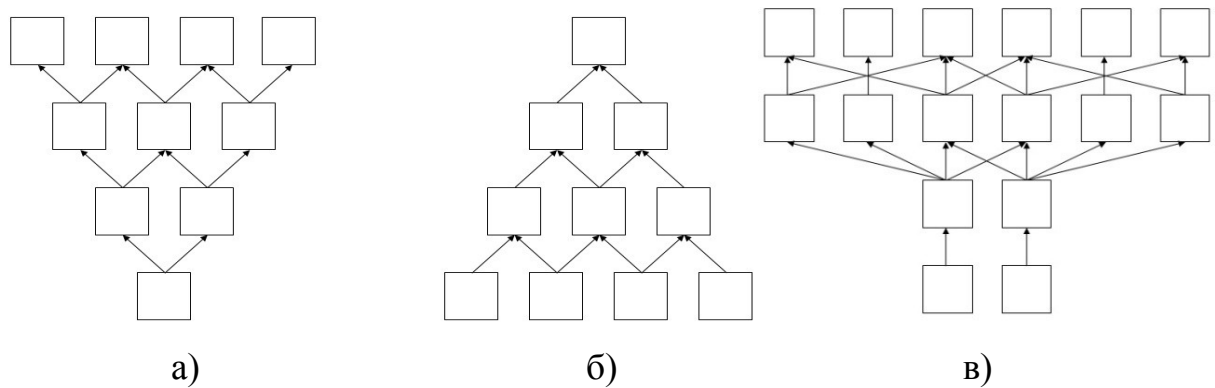


Рис. 1.5. VAT-класифікація ланцюгів поставок*:

- а) схема ланцюга поставок типу V;
- б) схема ланцюга поставок типу А;
- в) схема ланцюга поставок типу Т.

* побудовано за даними [196]

На взаємозв'язок між ланками ланцюга поставок впливають різні чинники, наприклад, як збільшення кількості елементів в ланцюзі, ускладнення транспортно-логістичних операцій, комунікацій тощо.

Середовище існування ланцюга поставок можна умовно розділити на дві частини: близьке оточення (або середовище прямого впливу, мікросередовище) та далеке оточення (або середовище непрямого впливу, макросередовище). До факторів мікросередовища традиційно відносять постачальників, посередників, конкурентів. Якщо раніше операції фізичного

розподілу сировини та матеріалів включали координацію транспорту, складування, політику накопичення запасів і обробку замовлень в рамках одного підприємства, то на теперішній час пріоритетним стало рішення підприємств перегрупувати персонал таким чином, щоб ефективніше вирішувати завдання фізичного розподілу та управління матеріалами в ланцюгах поставок.

Для дослідження конкурентної боротьби між підприємствами в даний час використовується безліч розроблених методів і моделей. Існуючі математичні моделі монополії і олігополії дозволяють встановити правила, що визначають оптимальні обсяги випуску, і формули для обчислення оптимальних цін на таких ринках. Відомі також різні підходи до задачі моделювання дуополії як окремого випадку олігополії, розроблені принципи побудови економічних рішень фірм-дуополістів, породжених такими концепціями, як рівновага Курно, рівновага Штакельберга, рівновага Неша, картельні угоди. Але окремі компанії в даний час конкурують не як автономні юридичні особи, а як системи логістичних ланцюгів поставок [77]. Тому цікавим, на наш погляд, є знаходження рівноважних рішень для підприємств-виробників, які беруть участь в конкуруючих ланцюгах поставок.

Крім факторів мікросередовища, компанії в ланцюгах поставок відчують значний вплив з боку макросередовища. Відповідно до загальної класифікації факторів зовнішнього середовища, можна вказати наступні основні макрофактори, які впливають на ланцюги поставок в сучасних умовах (рис. 1.6).

Фактори зовнішнього середовища можуть спровокувати загострення ризиків, пов'язаних з функціонуванням розширеного ланцюга поставок (ризик постачальників і клієнтів) і операційні ризики усередині компанії. Так, наприклад, обмеження ввезення товарів з-за кордону може призвести до вибуття окремих компаній, які закупають ресурси за кордоном. Економічна криза змінює структуру споживання і призводить до змін у

попиті, які, в свою чергу, стають причинами помилок у плануванні та збоїв в закупівлях. Виникають різного роду фінансові втрати, пов'язані з несплатою послуг, компенсацією втрат і так далі. Крім того, багато подій макросередовища неможливо спрогнозувати. Компанії, таким чином, не в змозі контролювати можливі поведінки зовнішнього середовища. Порушення процесу поставок може стати причиною реструктуризації ланцюга поставок, а в деяких випадках привести до його декомпозиції.

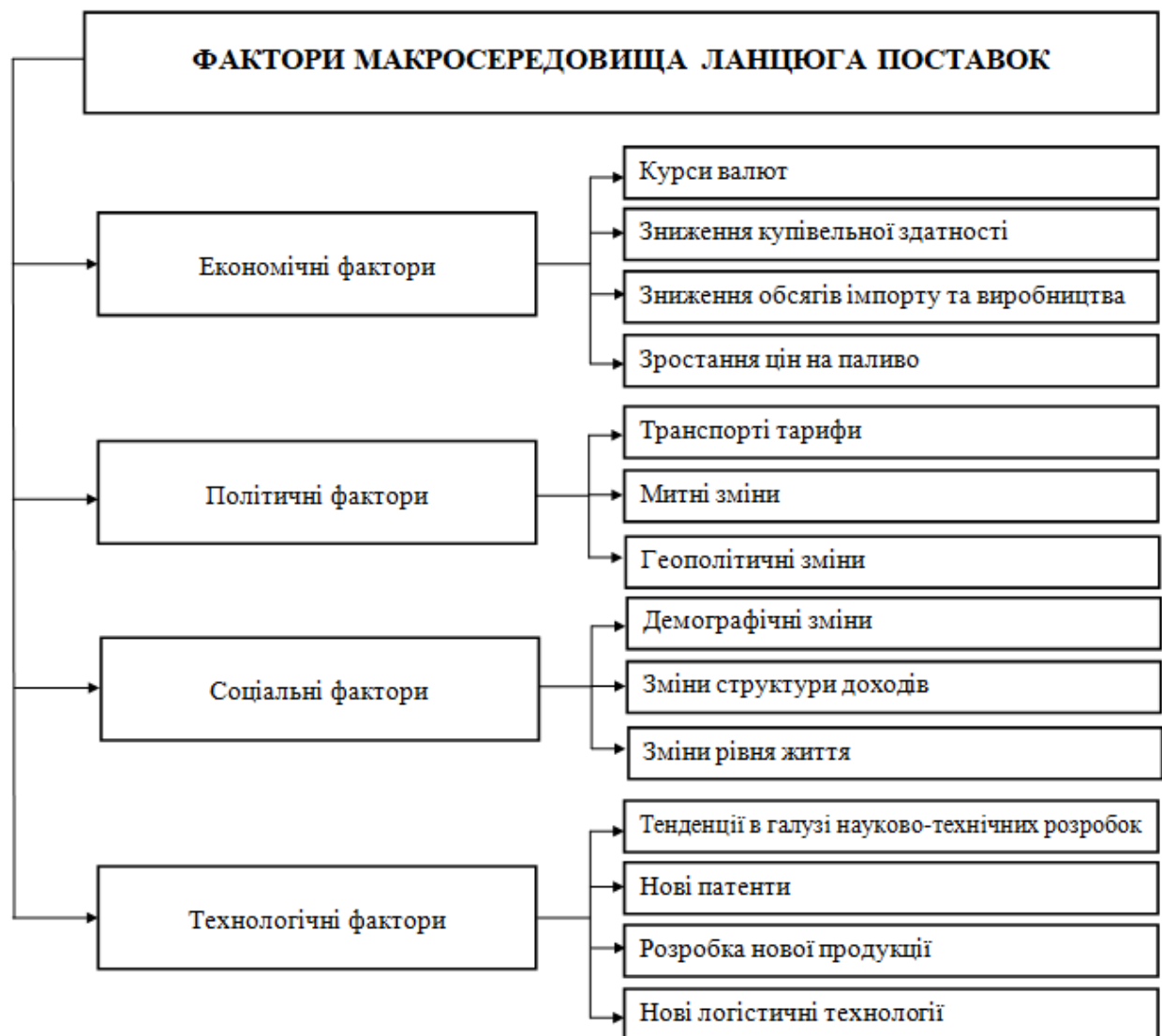


Рис. 1.6. Фактори макросередовища ланцюга поставок*

* побудовано за даними [54], [131]

Таким чином, у зв'язку з поширенням на практиці концепції ланцюга поставок виникає безліч проблем, які стосуються їх оптимального

проектування та оптимального управління їх функціонуванням. Ці проблеми, як, власне кажучи, і дослідження окремих процесів, які відбуваються в ланцюгах поставок, можуть бути вирішені за допомогою ряду конкретних теорій, таких як: мікроекономіка, операційний менеджмент, логістичний менеджмент, ризик-менеджмент, теорія конкуренції, дослідження операцій (теорія управління запасами, теорія оптимізації) тощо.

Для підвищення ефективності використання логістичної концепції і поліпшення координації роботи ланок ланцюга поставок необхідно використовувати інформаційні технології та існуючі економіко-математичні моделі та методи. Аналіз наукових джерел з питань моделювання ланцюгів поставок буде здійснено нижче.

1.2 Систематизація причин та заходів зниження невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок

Функціонування ланцюгів поставок пов'язане зі значною невизначеністю і ризиком. Дані сучасних досліджень ([52], [231]) свідчать про те, що від 40 до 60% робочого часу менеджери витрачають на усунення порушень, які виникають в ланцюгах поставок на різних етапах: від структурно-функціонального синтезу до реалізації планів. Це істотно ускладнює процеси формування і планування та підвищує вимоги до гнучкості, стійкості ланцюгів поставок, а також до розробки механізмів узгоджених дій підприємств в рамках ланцюга поставок.

В даний час існує значна кількість різних формулювань поняття невизначеності ([4], [41], [79], [81], [133], [205]), більшість з яких використовує такі її характеристики, як неповнота і неточність інформації, що може призвести до багатьох варіантів кінцевого результату.

О. Лобанов та О. Чугунов під невизначеністю в економічній теорії розуміють «неповноту або неточність інформації про умови господарської діяльності та про пов'язані з нею витрати і отримані результати» [205, с. 16].

М. Баканов і В. Чернов говорять про те, що «невизначеність – це неповне або неточне уявлення про значення різних параметрів в майбутньому, породжуваних різними причинами і, перш за все, неповнотою або неточністю інформації про умови реалізації рішення, в тому числі пов'язаних з ними витрати і результати» [4, с. 15]. Причинами невизначеності при цьому є три основні чинники: незнання, випадковість і протидія; невизначеність пояснюється тим, що економічні проблеми зводяться, по суті, до задачі вибору з деякого числа альтернатив, але організації та індивіди не мають повного знання ситуації для прийняття оптимального рішення, а також не мають обчислювальних засобів достатньої потужності для врахування всієї доступної їм інформації. О. Дорожкін і О. Соколова зазначають, що невизначеність найчастіше використовується в сукупності з такими поняттями, як моделювання, ризик, ймовірність [41, с. 6]. Це також зазначається в статті О. Кулікової [79], де особлива увага приділяється аналізу невизначеностей, який виходить з використовуваних даних, методів і моделей, що застосовуються для оцінки очікуваного ризику.

У практичному відношенні невизначеність розуміють як наявність декількох можливих результатів кожної альтернативи ([35], [153]). У ситуації ризику можна, використовуючи теорію ймовірності, розрахувати ймовірність тієї чи іншої зміни середовища, а в ситуації невизначеності значення ймовірності отримати не можна.

Ризик – це складне явище, трактовка якого залежить від сфери використання. У економічній літературі у різний час ризик тлумачився по-різному. Наприклад, класична теорія розуміє ризик як математичне сподівання втрат, які можуть настати у результаті прийнятого рішення, тобто ризик – це збиток, втрати, які можуть настати при здійсненні тих чи інших рішень. Представники даної теорії вважали, що структура підприємницького доходу складається з частки доходу на вкладений капітал, заробітної платні підприємця та платні за ризик як покриття можливого настання

неблагоприємної події, яка пов'язана із підприємницькою діяльністю (Дж. Мілль, Н.У. Сеніор) [121].

Таке тлумачення ризику є достатньо однобоким, і це сприяло розробці іншої теорії, яку було названо неокласичною. Ця теорія виникла у 20-30 рр. ХХ ст. у Англії та Франції. Її представниками є такі учені, як Ф. Найт, А. Маршалл та А. Пігу. Так, Ф. Найт у [125] відмічає, що при наявності невизначеності саме «вироблення» будь-чого, тобто здійснення реальної діяльності, стає чимось другорядним у житті, а першочерговою проблемою або функцією стає рішення – що робити та як це робити. Таким чином, вважалося, що підприємець, який працює в умовах невизначеності, прибуток якого є випадкова змінна, при здійсненні договору керується двома критеріями: розмірами очікуваного прибутку та величиною його можливих коливань. Згідно їхньої теорії більш привабливим є таке рішення, яке принесе можливий прибуток, але пов'язане із меншим коливаннями ймовірності його одержання. Уявлення про те, що ризик є щось інше, ніж можливість відхилення від мети, заради досягнення якої приймається рішення, можна віднести до неокласичної теорії ризику.

Основні підходи до визначення ризику розглянуто і проаналізовано такими вітчизняними та закордонними авторами як В. Акімов [1], В. Векленко [20], В. Вітлінський [21-22], Н. Зюзіна [51], А. Каминський [57], В. Лук'янова [98-100], , Л. Мієрінь [122], Дж. Мілль [121], Ф. Найт [125], Е. Панфілова [137].

Визначення сутності ризику в основному пов'язані з такими поняттями як невизначеність, невпевненість, випадковість, загроза, небезпека, ненадійність.

Найбільш розповсюджене визначення ризику в сучасній літературі є наступним [95]: ризик – це економічна категорія, яка кількісно та якісно відображається у невизначеності результату здійснення господарської діяльності, яка запланована, та відображає можливість негативного (збиток, втрата) відхилення у процесі діяльності від очікуваних або запланованих

результатів. Це пояснюється тим, що, по-перше, ризик з передбаченим виходом є більш характерним для спекулятивної сфери діяльності, а не для підприємницької, по-друге, ризик з негативним виходом більше впливає на ефективність та стійкість економічної системи, управління ним відіграє велику роль в управлінні системою в цілому.

У визначенні Ф. Найта [125] ризик – об’єктивна ймовірність того чи іншого явища, яка може бути виражена кількісно у вигляді ймовірнісного розподілу. Англійські економісти, представники класичної теорії ризику І.У. Сеніор та Дж. Мілль, пов’язували поняття ризику з небезпекою втрати капіталу і збитками в результаті підприємницької діяльності [121]. В монографії [159] вітчизняні вчені К.Д. Семенова та К.І. Тарасова проводять аналіз численних визначень ризику і як основні характерні для ризикової ситуації моменти виділяють наявність невизначеності, альтернативних варіантів рішень, ймовірність виникнення збитків або додаткового прибутку. Л.А. Мієрінь [122], Б.А. Райзберг [154], також розуміють під ризиком можливість виникнення втрат і збитків, неотримання запланованих доходів, прибутку. В. Лук’янова в статті [98] виокремлює основні класифікаційні ознаки економічної невизначеності та виділяє п’ять основних властивостей економічного ризику: невизначеність, конфліктність, альтернативність, правомірність та результативність. О. Шпенглер, П. Гасенді, Д. Віко ([22], [30]) розглядають ризики як характеристики, які властиві будь-якому виду діяльності людини і вважають, що ризику уникнути неможливо, є лише способи пом’якшити його наслідки; вони ототожнюють ситуацію ризику з накопиченням, регресивного потенціалу, пов’язаним зі зниженням рівня безпеки внаслідок створення нових технологій, розвитку промисловості тощо.

Таким чином, аналізуючи погляди вчених на поняття ризику, можна зазначити, що загальноприйнятого визначення немає, і у загальному випадку під ризиком можна розуміти можливість настання деякої події, що тягне за собою позитивні чи негативні наслідки. Негативний ризик – це ризик, який

може привести до погіршення ситуації (наприклад, підвищити вартість робіт, знизити якість продукції), а позитивні ризики тягнуть за собою можливість поліпшити продукт, скоротити терміни та знизити вартість робіт, а також підвищити якість.

В подальшому в роботі невизначеність і ризик щодо ланцюгів поставок будемо розуміти наступним чином. Невизначеність – це загальносистемна властивість, пов'язана з обмеженістю знань про стан зовнішнього середовища системи (ланцюга поставок). Причинами невизначеності є випадковість, відсутність або неповнота інформації, вплив суб'єктивних факторів, протидія.

Ризик виникає через невизначеність і розуміється як подія, яка в ході логістичної діяльності може призвести до збитків, втрат, або появи нових можливостей в ланцюзі поставок через відхилення фактичних параметрів логістичних потоків на виході від запланованих.

У даний час теорія ризику є дуже глибоко розвинутою галуззю науки завдяки стимулюванню, головним чином, з боку страхового бізнесу. З теоретичної точки зору вона базується на сучасній теорії ймовірності та математичній статистиці [210]. У той же час у прикладних економічних дослідженнях, зокрема у логістиці, ця теорія ще не знайшла відповідного місця. Перш за всього треба приділити увагу класифікації ризиків, які виникають у діяльності логістичних систем, а також виявити, доцільно чи ні здійснювати їх страхування за тими чи іншими умовами. Для цього необхідно використання математичного моделювання господарської діяльності логістичних утворень різних типів.

Як було зазначено, в економічній літературі існує безліч визначень поняття «ризик» і, відповідно, його класифікацій. Досліджуючи ризики в логістичній діяльності ланцюгів поставок, можна скористатись традиційним їх поділом [6] і визначити щодо логістичних процесів наступні види ризику:

- комерційний ризик, який виникає в процесі реалізації продукції та послуг через зниження обсягів реалізації, зрив поставок комплектуючих і

готової продукції, порушення строків поставки, підвищення витрат внаслідок нерациональності закупівель, транспортування, зберігання тощо;

- природний ризик – ризик втрат через несприятливі природні умови та явища, зокрема стихійні лиха;

- екологічний ризик – ризик втрат через негативний вплив навколишнього середовища на логістичну інфраструктуру або через нанесення шкоди довкіллю (наприклад, внаслідок порушення умов транспортування товару);

- технічний ризик, пов'язаний з ймовірністю аварії чи катастрофи при експлуатації засобів логістичної інфраструктури, наприклад, відмови чи поломки транспортних засобів;

- валютні ризики під час здійснення логістичних процесів, які обумовлені зміною курсу іноземної валюти по відношенню до національної: при зменшенні курсу валюти платежу стосовно національної валюти логістичний оператор отримає меншу за очікувану суму коштів у національній валюті;

- платіжні ризики, які виникають у випадку використання ненадійних форм розрахунків;

- криміногенний ризик пов'язаний з незаконним веденням підприємницької діяльності, розкраданням товарно-матеріальних цінностей, транспортних засобів, у логістичних процесах;

- господарсько-правовий ризик, який виникає у зв'язку з настанням цивільної відповідальності за збиток, що завдається в процесі логістичної діяльності юридичним і фізичним особам;

- ризики, зумовлені взаємодіями між ланками ланцюгів поставок (ризики забезпечення закупівель, виробництва та збуту); до них можна віднести, наприклад, ризик неякісної поставки або поставки в неповному обсязі, ризик порушення умов співпраці, ризик виникнення заборгованості за реалізовану без передоплати продукцію, ризик повернення неякісної

продукції покупцем, ризик неякісного обслуговування логістичними операторами, ризик неправильного прогнозування ринку логістичних послуг.

При управлінні ланцюгами поставок логістичному менеджеру часто доводиться стикатися з ситуаціями ризику, основною причиною виникнення яких є невизначеність, що породжується різними зовнішніми і внутрішніми факторами. Джерелами можливих ризиків можуть бути коливання ринкового попиту, помилки прогнозів, відсутність взаємодії між елементами ланцюга, відмови устаткування, труднощі з отриманням сировини, матеріалів, людський фактор тощо.

У сучасній закордонній науковій літературі прийнято розрізняти поняття операційних ризиків (operational risks) і ризиків катастроф (disruptive risks) ([215-216], [223], [226], [235], [244]). До операційних ризиків відносяться коливання обсягу і термінів поставок, викликані невизначеністю попиту і тривалості циклу поставки. В контексті операційних ризиків прийнято розглядати, зокрема, «ефект бичачого батога» («ефект хлиста») (bull-whip effect) ([214], [228], [234]). Ризики катастроф (зокрема, ризики виникнення аварій або ризик руйнування основного обладнання, будівель і споруд) викликані природними та антропогенними катастрофами. Якщо в сфері операційних ризиків розглядаються відхилення на параметричному рівні, то в сфері ризиків катастроф мова йде про структурний рівень, коли окремі фабрики або транспортні зв'язки в ланцюзі поставок можуть бути зруйновані і недоступні протягом тривалого періоду часу і їх відновлення пов'язано зі значними фінансовими і витратами та витратами часу.

Підсумовуючи вищенаведене, можна запропонувати наступну схему узагальненої класифікації ризиків у ланцюгах поставок (рис. 1.7).

Така класифікація є важливою з точки зору впорядкування великої різноманітності причин і проявів таких ризиків, адже, якщо для певної категорії ризиків вже знайдені ключові принципи, розроблені ефективні способи управління, то знаючи, до якої групи належить ризик, можна уявити основні методи управління ним.

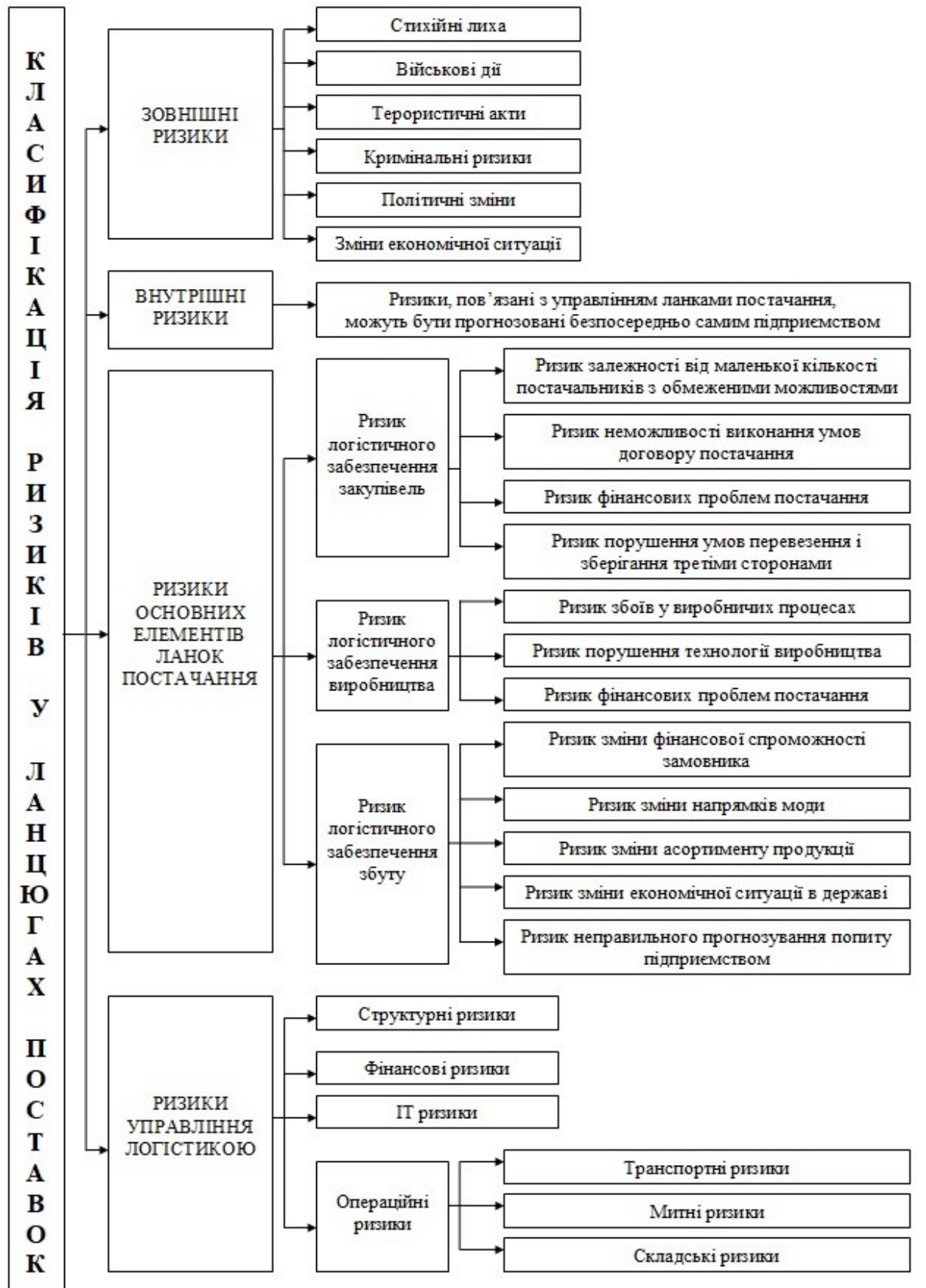


Рис. 1.7. Узагальнена класифікація ризиків у ланцюгах поставок*

* побудовано за даними [6], [70], [92], [108]

Аналізуючи наукову літературу ([43], [49], [91], [167]), можна зробити висновки, що основною причиною виникнення ризиків у логістичній діяльності є невизначеність, яка породжується різними чинниками (рис. 1.8):

- нестабільність економічних процесів, які важко піддаються надійному прогнозуванню і призводять до тимчасового уповільнення просування матеріальних потоків, коливань попиту;
- обмеженість і неповнота інформації про реальні економічні процеси при прийнятті менеджером ним управлінських рішень, неточна передача інформації та інтерпретація тих чи інших подій;
- помилки прогнозів (попиту, асортименту) через неточність використовуваних даних;
- вихід з ладу ресурсів (наприклад, поломка технологічного обладнання);
- цілеспрямовані дії по руйнуванню ланцюга поставок (тероризм, розкрадання вантажів);
- природні і антропогенні катастрофи;
- зміни політичних або природних умов.

Ефективне управління ланцюгами поставок в сучасних умовах можливе лише на основі застосування спеціальних методів управління ризиками. У широкому розумінні під управлінням ризиками розуміють діяльність, яка включає в себе аналіз, оцінку та мінімізацію ризиків, у вузькому управління ризиками – це тільки процес мінімізації ризиків.

Як і будь-які інші ризики, ризики в ланцюгах поставок можна знизити (мінімізувати), прийняти, перекласти на іншу юридичну особу або уникнути (усунути ризики) ([28], [50], [60], [176]). Зниження ступеня ризику – це скорочення ймовірності та розміру втрат.

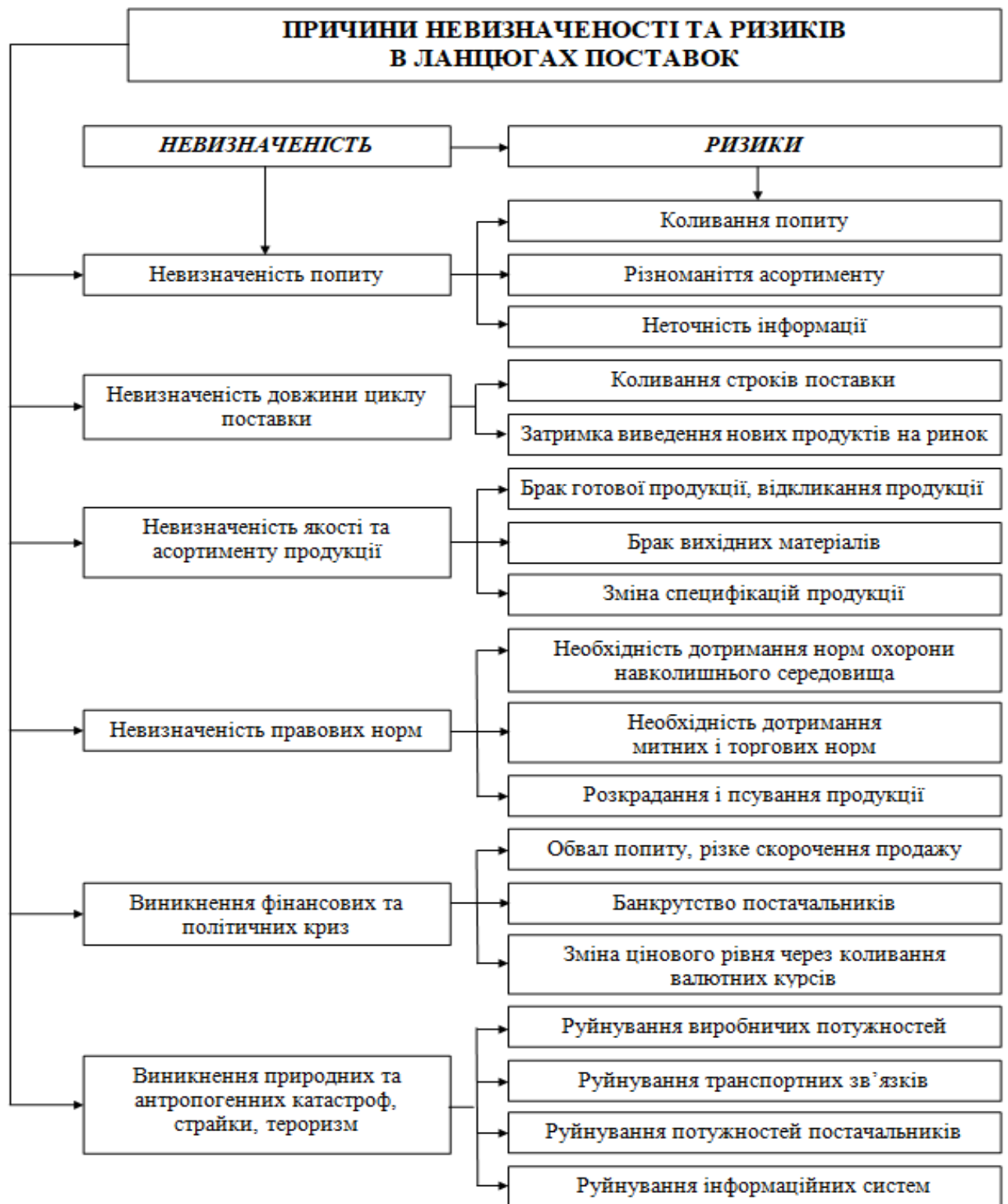


Рис. 1.8. Причини невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок*

* побудовано за даними [31], [113], [162], [167]

Для зниження ступеня ризику застосовуються різні прийоми. Найбільш поширеними з них є диверсифікація, придбання додаткової інформації про вибір і результати, лімітування, самострахування та страхування (рис. 1.9).



Рис. 1.9 – Прийоми зниження ступеня ризиків*

* побудовано за даними [15], [50]

Зазначимо, що найбільш важливим і поширеним прийомом зниження ступеня ризику є страхування. В системі ризик-менеджменту сучасних підприємств важко переоцінити роль страхування, так як за своїм економічним змістом даний інструмент має властивість покриття великих збитків, які можуть торкнутися його фінансової, інвестиційної та операційної діяльності.

А. Бланк [10] вважає, що страхування ризиків виступає в якості захисту майнових інтересів підприємства при настанні страхової події спеціальними страховими компаніями (страховиками) за рахунок грошових фондів, що формуються ними шляхом отримання від страхувальників страхових премій (страхових внесків). За своїм економічним змістом розмір страхової премії визначає повну ціну страхування підприємством відповідного фінансового

ризикі або певного їх комплексу. В основі розрахунку розміру страхової премії лежать передбачаються договором страхова сума, термін страхування і розмір страхового тарифу (тарифної ставки). Таким чином, у процесі страхування беруть участь два суб'єкти: страхувальник і страховик. Страхувальник – це господарюючий суб'єкт або громадянин, який сплачує страхові внески і вступає в конкретні страхові відносини зі страховиком. Страховиком є господарюючий суб'єкт, створений для здійснення страхової діяльності, що проводить страхування, створює за рахунок великого кола учасників, які виступають у ролі страхувальників, страховий фонд і витрачає кошти цього фонду.

Переваги використання страхування як механізму управління фінансовими ризиками зводяться до наступних факторів [37]:

- залучення страхового капіталу для компенсації збитків від вкладення в підприємницькі проекти;
- зниження невизначеності в плануванні портфеля цінних паперів;
- вивільнення грошових коштів для більш ефективного їх використання;
- скорочення витрат на управління ризиками шляхом використання досвіду страхових експертів.

Аналізуючи роботи зарубіжних і вітчизняних науковців та фахівців з ризик-менеджменту і логістики (Є. Будріної [15], В. Гранатурова [32], Т. Левіної [91], В. Лук'янової [97-99], В. Скіцька, М. Войнікова [162], Л. Федотової [184],) та розповсюджуючи їхні дослідження на ризики в ланцюгах поставок, можна запропонувати наступні способи зниження ризиків в ланцюгах поставок:

- введення надлишку структур ланцюгів поставок (розширення асортименту продукції, введення тимчасових буферів, страхових запасів, додаткових складів, запасів потужностей тощо);

- поліпшення координації та інформаційного обміну для підвищення якості, своєчасності та доступності для всіх учасників ланцюга поставок прогнозів попиту;
- введення системи моніторингу та регулювання роботи ланцюгів поставок у випадку виникнення порушень і відхилень від плану;
- уніфікація елементів управління ланцюгів поставок (делегування різним ділянкам прийняття рішень різноманітних управлінських функцій);
- використання методів адаптивного, планування, при яких початкові плани періодично модифікуються шляхом зміни параметрів ланцюга поставок;
- формування множини неостаточних рішень, наприклад відкладеної диференціації продукції на основі гнучкого позиціонування точки проникнення замовлення;
- перехід до альтернативних постачальників;
- проектування транспортних систем з альтернативними маршрутами доставки;
- розробка додаткових планів щодо дій в умовах порушення планових процесів і ліквідації наслідків порушень в ланцюгах поставок;
- стандартизація виробничих процесів для підвищення гнучкості використання потужностей;
- документування порушень і тренінги персоналу.

На рис. 1.10 представлені різні заходи щодо зниження невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок.

Під час вибору необхідного заходу, треба дотримуватись наступних вимог [19]:

- завжди передбачати наслідки ризику;
- не приймати ризик, розмір якого перевищує власний капітал;
- не вважати, що завжди існує лише один шлях вирішення проблеми, розглядати й інші варіанти;
- позитивні рішення приймати лише за відсутності сумнівів;

- за наявності сумнівів краще приймати негативне рішення.

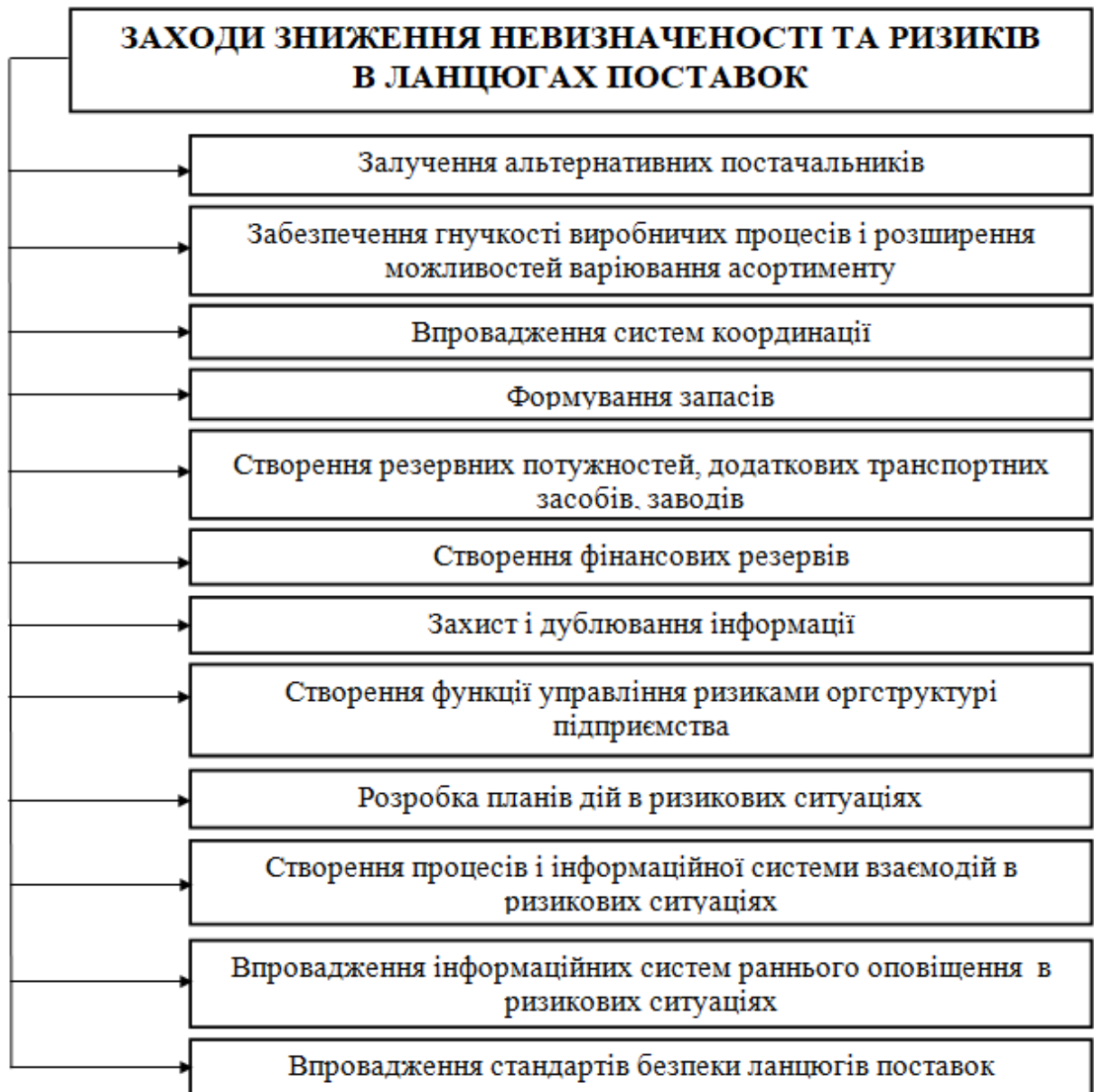


Рис. 1.10. Заходи зниження невизначеності та ризиків
в ланцюгах поставок

* побудовано за даними [15], [91], [99], [162]

Систематизуючи вищенаведене і використовуючи дані, відображені на рис. 1.8 і рис. 1.10, можна запропонувати наступний погляд на причини ризиків і заходи щодо їх зниження. (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Заходи зниження невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок

Джерела ризиків	Заходи зниження ризиків												
	Альтернативні постачальники	Гнучкі виробничі пропеси	Системи операційної	Запаси	Резервні потужності	«Запасні» постачальники	Фінансові резерви	Захист інформації	Організація управління ризиками	Розробка планів дій в надзвичайних ситуаціях	Інформаційні системи взаємолії	Інформаційні системи раннього оповіщення	Стандарти безпеки
Коливання попиту	+	+	+	+	+	+		+		+			
Різноманіття асортименту		+		+	+			+					
Неточність та неповнота інформації			+					+	+		+		
Коливання строків і обсягів поставок	+	+	+	+	+	+			+				
Затримка виведення нових продуктів на ринок	+	+	+	+	+				+	+	+		
Брак готової продукції, відкликання продукції		+		+	+				+	+	+		+
Брак вихідних матеріалів	+			+		+			+	+	+		+
Зміна специфікацій продукції	+	+	+	+		+			+				
Норми охорони навколишнього середовища									+	+	+	+	+
Митні норми									+	+	+	+	+
Розкрадання і псування продукції			+					+	+	+	+	+	+
Обвал попиту, різке скорочення продажу		+					+		+	+	+		
Банкрутство постачальників	+			+		+	+		+	+	+		
Коливання валютних курсів							+		+	+	+		

Продовження табл. 1.6

Коливання виробничих	+	+		+	+	+	+		+	+	+		
----------------------	---	---	--	---	---	---	---	--	---	---	---	--	--

потужностей													
Руйнування транспортних зв'язків	+			+	+		+		+	+	+		
Коливання потужностей постачальників	+			+		+	+		+	+	+		
Збій в роботі інформаційних систем								+	+	+	+		
Політичні і фінансові кризи						+	+		+	+	+		

* побудовано за даними [52]

Однією з найважливіших практичних проблем управління ланцюгами поставок є зниження впливу невизначеності попиту на коливання виробничих і закупівельних партій. Найбільшого поширення набув такий методи вирішення цієї проблеми як пом'якшення наслідків «ефекту бичачого батога» ([214], [228], [234]).

У ланцюгах поставок, в яких підприємства розглядаються як ізольовані елементи, які самостійно планують свої потреби і закупівлі, виникають суттєві ризики виникнення відхилень і коливань у всьому ланцюзі. Неузгодженість дій учасників ланцюга поставок і недостатній інформаційний обмін призводять до такого ефекту.

«Ефект бичачого батога» характеризує ситуацію, при якій незначні зміни попиту кінцевого споживача призводять до суттєвих відхилень в планах інших учасників ланцюга поставок. Це призводить до збільшення амплітуди коливань попиту по мірі просування інформації по ланцюгу поставок. При виникненні «ефекту бичачого батога» порушується безперебійний рух матеріальних і інформаційних потоків, що спричиняє ризик невиконання замовлення.

Основними причинами «ефекту бичачого батога» є:

- помилки в прогнозуванні попиту,
- формування підприємствами додаткових страхових запасів і довільне збільшення розмірів партій поставок,
- коливання цін,

- запізнювання в одержанні необхідної інформації про потреби,
- відхилення від планових термінів і обсягів виробництва і поставок,
- закупівлі великих партій товарів «про запас» зі знижками і за спеціальними пропозиціями.

В управлінні ланцюгами поставок можливе зниження цього ефекту за рахунок:

- спільного прогнозування і провесно-орієнтованого планування,
- координації і синхронізації бізнес-процесів,
- зниження розмірів закупаваних і вироблених партій,
- підвищення частоти і регулярності закупівель.

У зв'язку з вищенаведеним можна ідентифікувати чотири основні питання, вирішення яких мінімізує вразливість ланцюга поставок:

- отримання усвідомлення виникнення ризику у членів правління;
- інтеграція управління ризиком ланцюга поставок з управлінням логістикою;
- мотивування працівників до ідентифікації їхніх власних ролей з логістичними процесами і мінімізації ризику ланцюга поставок;
- постійний моніторинг зв'язків у стратегіях фірми та профілі (сутності) ризику.

Таким чином, до теперішнього часу економічна наука і практика накопичили значний обсяг уявлень щодо природи ризику, його особливостей і методів управління ним в різних галузях.

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій нові можливості для організації ланцюгів поставок відкриває моделювання логістичних процесів, при цьому якість прийнятих рішень і зниження невизначеності у конкретних ситуаціях багато в чому залежить від коректності застосованих моделей, що вимагає аналізу існуючих теоретичних і практичних результатів, отриманих як вітчизняними, так і зарубіжними вченими в галузі економіко-математичного моделювання ланцюгів поставок.

1.3 Огляд наукових підходів до моделювання ланцюгів поставок

Математичне моделювання має широке застосування для вирішення задач, пов'язаних з управлінням ланцюгами поставок. Моделювання ланцюгів поставок – затребуваний напрямок логістики, який на сьогоднішній день активно розвивається. За останні 20 років економічний ефект від впровадження рішень, заснованих на моделюванні, зріс вдвічі [224], і можна стверджувати, що моделювання стає значною конкурентною перевагою на ринку.

Потрібно зазначити, що різні задачі управління ланцюгами поставок вимагають використання різних методів моделювання [169].

За рівнем деталізації моделі (рівнем абстрагування) такі задачі можна розділити на кілька категорій (рис. 1.11).

Можна вказати наступні рівні деталізації ланцюгів поставок, які, в залежності від рівня абстрагування, розглядаються та моделюються:

- деталі високого рівня абстрагування: розміщення об'єктів ланцюга поставок, потоки, лінійні залежності, усереднення параметрів;
- деталі середнього рівня абстрагування: динаміка (час), стохастика і параметри, процеси, логіка та ресурси ланцюга поставок;
- деталі низького рівня абстрагування: процеси вузлів в ланцюгах поставок, їх логіка та ресурси.

До високого рівня абстрагування можна віднести вибір локацій для розміщення вузлів ланцюга поставок (складів, заводів, розподільних центрів), а також планування і організацію товарних потоків між вузлами ланцюга поставок. Подібні моделі створюються з мінімальною деталізацією, а система, яка моделюється, в них представляється в спрощеному вигляді.

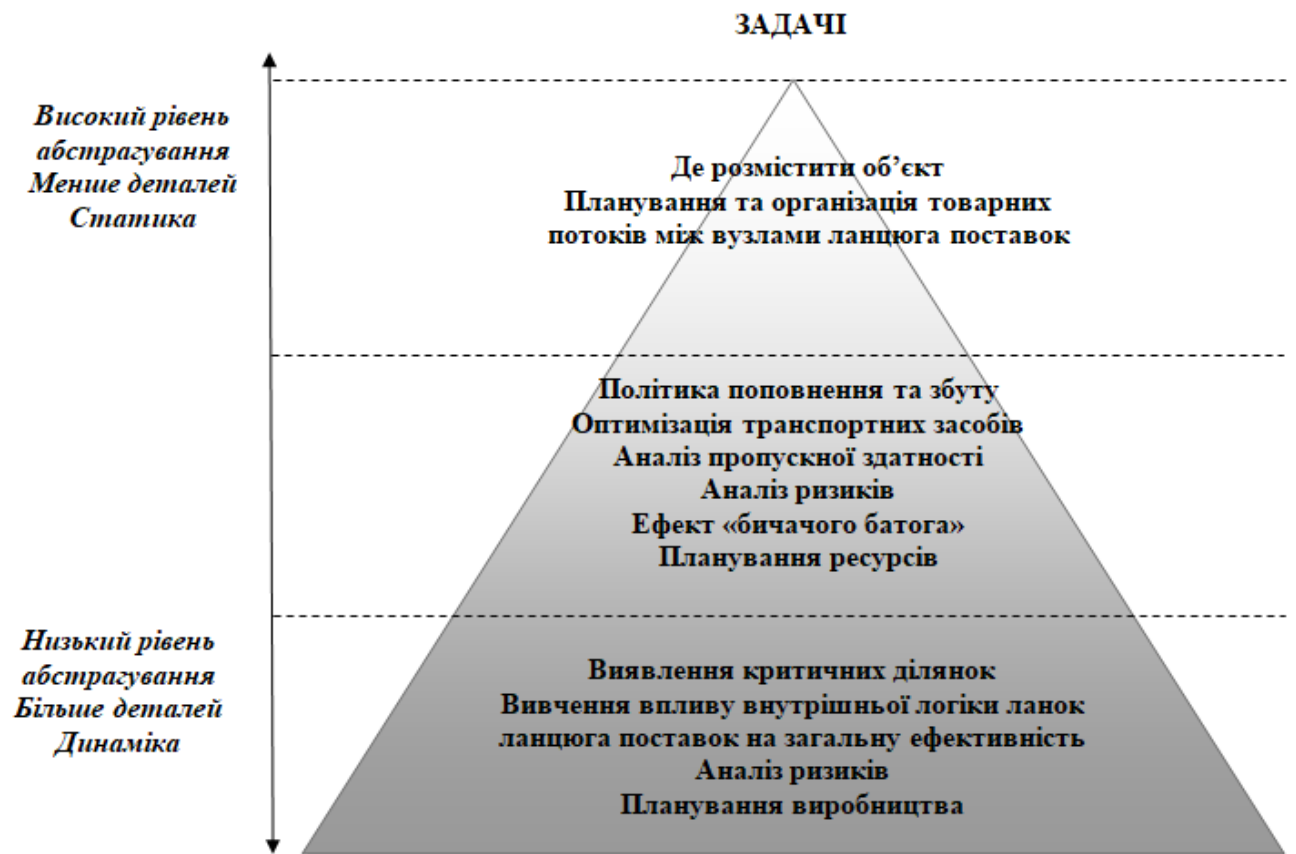


Рис. 1.11. Співвідношення рівнів абстрагування та задач управління ланцюгами поставок*

* побудовано за даними [169]

Задачами середнього рівня абстрагування є вибір політик поповнення запасів і постачання, оптимізація транспортного парку та маршрутів транспортних засобів, аналіз пропускної здатності кожного вузла мережі тощо.

Моделювання на цьому рівні представлено широким колом наукових робіт: проблемам управління запасами в ланцюгах поставок присвячені роботи [105], [114], [151], [158]. В [151] Г. Просветов представив основні теоретичні положення та практичні методи управління запасами. Особливу увагу приділено питанням оцінки і своєчасного поповнення запасів, що дозволить значно збільшити прибуток підприємства. У статті [105] О. Маліков при розробці методу визначення запасів і ємності складів в ланцюгах поставок звертає увагу на те, що запаси вантажу на складах є

змінними величинами, так як вони залежать від нерівномірних вантажопотоків прибуття і відправлення вантажів. В [114] М. Матвєєвою проаналізовано інформаційні технології, що застосовуються при вирішенні логістичних задач з управління запасами на підприємстві. У монографії [158] В. Саковичем викладені актуальні питання управління запасами, показана можливість широкого застосування математичних моделей управління запасами в матеріально-технічному постачанні, промисловості та будівництві, в торгівлі і в управлінні основним виробництвом. В роботах В. Гутаревича [38], І. Морозової [230] та М. Постоїна [143] та [147] пропонуються різні модифікації задач оптимізації транспортного типу. Проблеми моделювання процесу закупок висвітлені в роботах О. Бай [3], Є. Беякової, А. Риждої [8], Т. Родкіної, А. Козлова [156]. Моделювання збутової логістики досліджено такими науковцями як Є. Крикавський та Н. Косар [76], О. Манжура [112], В. Огліх, Т. Єфанова та Т. Ніколаєв [130], В. Хорошун та І. Науменко [191].

На середньому рівні абстрагування розглядається набагато більше даних: враховується фактор часу, різні випадковості та варіативності, встановлені вихідні значення параметрів, описується логіка організації процесів в ланцюзі постачань і їх робота.

Серед задач низького рівня абстрагування – визначення впливу роботи кожного вузла мережі на загальну ефективність ланцюга поставок, або, наприклад, планування виробництва. На цьому рівні не тільки враховуються процеси в ланцюзі поставок, але і детально розглядаються окремі його вузли – аналізуються бізнес-процеси на фабриках, складах.

Так, наприклад, питання організації перевезень, вантажно-розвантажувальних робіт досліджувались рядом вчених, серед яких П. Левковець [93], В. Липанов, С. Кичкайло [94], В. Попов [141], А. Сергійчук, І. Сергійчук [161], В. Шамис [197], В. Яковенко [208]. В [7] та [129] А. Башкатовим та Г. Нікіфоровою розглянуто проблеми взаємодії

залізничного і морського транспорту в логістичному ланцюзі доставки вантажу.

Математичному моделюванню логістики промислових підприємств та моделюванню ланцюгів поставок в промисловості присвячені роботи [16-17], [23], [65], [67], [168]. З робіт зарубіжних фахівців в області моделювання виробничих і розподільних систем можна виділити [209], [240], [245]. У них розглядаються особливості проектування, аналізу та оптимізації систем виробництва, управління та контролю, питання управління запасами, аналітичні підходи до логістики та управління ланцюгами поставок. У монографії П. Брандімарте, Г. Зоттері [213] наведено низку економіко-математичних моделей логістичних систем, які використовують класичну модель управління запасами Вагнера-Уайтіна, але тільки для управління запасами сировини та матеріалів на виробничому підприємстві. У монографії Г. Бродецького та Д. Гусева [14] розглянуто можливість використання класичних методів дослідження операцій (класична модель Уілсона оптимального розміру закупівлі товару постачальницькою фірмою, класична транспортна задача) у дослідженнях, що стосуються управління роботою логістичних систем. У роботі І. Ткаченка [171] запропоновано використання системного підходу, економіко-математичних методів та імітаційного моделювання для дослідження виробничих процесів та систем, а також структури малого бізнесу сфери послуг на регіональному рівні.

Чим нижчий рівень абстрагування, тим більше можливостей у аналітика і тим ширше коло завдань, які можна вирішити. При додаванні в модель нових деталей виявляються недоліки і слабкі місця системи, що дає можливість поліпшити її роботу.

Питанням економіко-математичного моделювання в логістиці та моделюванню логістичних процесів в умовах невизначеності та ризику присвячені роботи багатьох українських та зарубіжних вчених, серед яких В. Алькема [2], Б. Анікін [95], Дж. Брамель [212], А. Бочкар'єв [11], П. Брандімарте [213], Г. Бродецький [12-14], Л. Буяк [18], Г. Зоттері [213],

А. Гаджинський [29], М. Григорак [222], П. Григорук [33-34], О. Клепікова [61], Н. Короленко [69], Ю. Лисенко [102], В. Лузін [96], В. Мандра [110], А. Некрасов [126], С. Нікітін [128], В. Омельченко [131], М. Полікарпова [140], М. Постан [237], Г. Просветов [151], М. Румянцев [157], Д. Симчі-Леві [212], В. Сисоєв [241-243], В. Скілько [162], З. Соколовська [116], І. Ткаченко [172], К. Фельдшеров [128], А.М. Холоденко [190], Дж. Шапіро [200] та ін.

Останні тенденції функціонування, проблеми управління і моделювання ланцюгів поставок відображені в роботах [39], [66], [71-72], [90], [182], [207]. Монографія М. Румянцева [157] присвячена економіко-математичному моделюванню важливого класу логістичних систем – гнучких виробничо-логістичних систем, що працюють в умовах невизначеності, у монографії [102] ці дослідження були продовжені у напрямку визначення оптимального включення резервного «холодного» обладнання при різних правилах переналагодження обладнання. У статті М. Постан [237] для моделювання та оптимізації логістичних систем, що працюють і умовах невизначеності, запропоновано використовувати апарат так званих марковських та напівмарковських процесів зі знесенням. Це дозволило формалізувати вплив випадкових факторів на показники ефективності роботи широкого класу логістичних систем, які функціонують в умовах невизначеності та ризику. У монографії [96] В. Лузіним викладені актуальні питання створення систем автоматизованого управління великими ризиками в страхових компаніях, проілюстровані основні моделі взаємодії учасників страхових відносин в частині укладання угод, а також питань мінімізації збитку від можливих страхових випадків.

Проблеми ефективності функціонування та конкурентоспроможності, значення інноваційного підходу на сучасному етапі розвитку систем управління ланцюгами поставок висвітлені М. Войнаренком [25], В. Жаковим [48], В. Нижником [127], Ю.Ремигою [155], П. Трифоновим та Р. Серишевим [175], Н. Хрущ [192]. Різні підходи до якісної та кількісної оцінки економічних ризиків, управління портфелем цінних паперів

висвітлено в [110-111], [128], [212]. У статтях [103], [132], [186], [202] вивчаються основні чинники виникнення і питання оцінки ринкових ризиків у діяльності підприємств морського транспорту.

Таким чином, проблемі моделювання та оптимізації управління функціонуванням логістичних систем і ланцюгів поставок в останні роки приділяється чимала увага в спеціальній літературі.

З робіт, присвячених безпосередньо моделюванню ланцюгів поставок, можна відзначити монографії закордонних авторів [212-213], роботи [13-14], [62], [95], [143], [147], [230], [242]. У [95] Б. Анікіним та Т. Родкіною детально розглянуто повний комплекс проблем управління ланцюгами поставок у системному взаємозв'язку із специфікою діяльності окремих функціональних галузей логістики. Роботи Г. Бродецького [13-14] містять підходи до врахування випадкових факторів в економічній практиці, засновані на використанні моделей потоків випадкових подій і моделей дискретного втручання випадку. Також докладно розглянуті процедури оптимізації ланцюгів поставок на основі методів математичної теорії управління запасами, методів і моделей теорії графів, методів вирішення транспортної задачі, методів оптимізації потоків у мережах, оптимізації мережевих графіків проектів, дано основи методу імітаційного моделювання.

При розробці статичних моделей в основному може використовуватися поєднання класичних задач лінійного програмування, а саме: задачі виробничого планування і транспортної задачі [107], [148]. Однак подальший розвиток цього підходу обмежений необхідністю враховувати в реальних умовах коливання рівнів запасів сировини, незавершеного виробництва і готової продукції. Крім того, при врахуванні додаткових чинників, супутніх виробничому і транспортному процесам, різко зростає розмірність відповідних моделей оптимізації. В статті [147] М. Постаном і Д. Малиновським для моделювання логістичних систем в рамках так званої VAT-класифікації [196] була запропонована модель спільної оптимізації виробничого плану випуску багатомноменклатурної продукції підприємства і

плану її доставки споживачам по розподільчими каналам, заснована на використанні багатоіндексних задач лінійного програмування, яка є статичною і не враховує зміну у часі деяких параметрів, наприклад, вартостей перевезення.

Більший практичний і теоретичний інтерес представляють динамічні моделі. Так, в монографії [213] наведено ряд моделей такого роду, заснованих на поєднанні елементів теорії запасів (класичної моделі Вагнера-Уайтіна) і нелінійного математичного програмування для розробки оптимального плану закупівлі сировини і випуску готової продукції промисловим підприємством. Однак в цитованій роботі досліджується тільки випадок управління запасами сировини і не розглядається управління запасами готової продукції та її доставкою в пункти споживання.

Цього недоліку позбавлений підхід, наведений в роботі І. Морозової, М. Постан, С. Дашковського [230], в якій враховується можливість управління запасами як сировини, незавершеного виробництва, так і готової продукції. Розроблена авторами модель спільної оптимізації плану поставок матеріалів на промислове підприємство, плану випуску і доставки готової продукції заснована на узагальненні відомої в теорії запасів моделі Вагнера-Уайтіна та враховує фактор часу.

Класична модель Вагнера-Уайтіна теорії управління запасами була також використана в [143] для розробки динамічної моделі оптимального управління запасами товарів і їх доставкою в діяльності логістичної фірми. Але запропоновані моделі не повною мірою враховують фактори невизначеності (наприклад, невизначеність попиту на продукцію вважається заданою тільки цілком на усьому горизонті планування, а не у кожний період часу) і не описують конкуренцію між різними інтегрованими логістичними системи в рамках спільного ринку.

Подальший розвиток підходу до оптимізації планування роботи ланцюгів поставок є можливим і доцільним в напрямку врахування ефектів конкуренції і кооперації між ланцюгами поставок. Цей напрямок активно

почав розвиватися в останні 15 років. Так, в монографії [213] наведені найпростіші приклади, які демонструють ефективність інтеграції ланцюгів поставок для випадку лінійної функції споживання. Вони засновані на застосуванні економіко-математичних моделей класичної теорії фірми для дослідження олігопольного конкурентного середовища ланцюгів поставок (див., наприклад, [55]).

Дуже важлива проблема знаходження рівноважних рішень у олігополії ланцюгів поставок була досліджена у роботі Є. Воевудського та А. Холоденка [24]. Цей напрямок у теоретичній логістиці є дуже перспективним та важливим, втім він потребує подальшого розвитку з урахування додаткових факторів (управління запасами, ризику та ін.). Запропонований підхід отримав подальший розвиток в роботі [188], монографії [45], однак слід зазначити, що відповідні результати знаходження рівноважних рішень олігополії мають переважно теоретичний характер, оскільки не враховують багато виробничих реалій.

У той же час, результати робіт [24], [188], [213], засновані на використанні класичної теорії фірми, доцільно узагальнити на випадок інноваційної політики конкуруючих між собою ланцюгів поставок. Це дозволить краще зрозуміти причини досягнення конкурентних переваг підприємствами, які утворюють ланцюг поставок. Така точка зору на конкуренцію як на потенціал розвитку підприємства відповідає теорії конкуренції, яка розроблена М. Портером [142].

Крім того, основою досягнення конкурентних переваг підприємств в даний час є використання інновацій. Інноваційний тип розвитку як економіки в цілому, так і окремих підприємств став закономірним результатом еволюції економічної динаміки [185]. При цьому термін «інноваційне зростання» передбачає не тільки впровадження технологічних інновацій, але також і вдосконалення організації та управління виробничими і логістичними процесами. Хоча в останні роки моделювання і прогнозування поширення інновацій, з одного боку, і економіко-математичне моделювання виробничих

і логістичних систем, з іншого боку, отримали досить широке поширення в спеціальній літературі, проте дослідження умов оптимального синтезу інноваційної та логістичної концепцій поки ще тільки починається. Зокрема, становить значний теоретичний і практичний інтерес дослідження впливу інноваційної стратегії підприємства на конкурентну боротьбу між ланцюгами поставок з урахуванням випадкового коливання попиту на готову продукцію.

Основні методи вирішення задач в галузі управління ланцюгами поставок на сьогоднішній день складають три класи: математичне моделювання в таблицях Excel, аналітична оптимізація і динамічне імітаційне моделювання. Аналітична оптимізація та динамічне моделювання – це методи, які дозволяють вирішувати найбільший обсяг задач.

Динамічні імітаційні моделі (розроблені, наприклад, в роботах О. Клепікової [61], Ю. Толуєва [174], І. Ткаченка [172], В. Шамиса [198],) відрізняються від аналітичних за кількома параметрами. Вони, на відміну від аналітичних методів, враховують динаміку і специфічну логіку роботи логістичної системи. У порівнянні з аналітичними моделями, динамічні моделі додають для користувача можливість спостерігати, як ланцюг поставок працює в динаміці. Динамічні імітаційні моделі здатні врахувати всі параметри логістичної мережі, тому імітаційне моделювання зручно використовувати для опису складних систем і обліку ризиків і невизначеностей реального світу. Такі моделі, однак, потрібно верифікувати, щоб переконатися в правильності їх роботи.

Як недолік імітаційного методу можна вказати той факт, що оптимізація над імітаційними моделями може зайняти значний час через те, що кожний прогін моделі потребує тривалого часу. При цьому, звичайно, при розробці моделі потрібно ретельно підбирати рівень деталей, необхідний для вирішення завдання, тому що занадто багато деталей може призвести до повільної роботи імітації. Також через велику кількість деталей час розробки динамічних імітаційних моделей може значно перевищувати час розробки аналітичних оптимізаційних моделей.

В аналітичній моделі ланцюга поставок для опису операцій використовуються різні формули, лінійні та нелінійні рівняння. Перевага цього підходу в тому, що якщо рішення знайдено, то воно є оптимальними. Але чим складніший ланцюг поставок, тим складніша його аналітична модель. Крім того, така модель не застосовується, якщо математичного рішення знайти неможливо. Також вона не підійде для аналізу тих параметрів, які в ній не враховані з самого початку. Методи аналітичної оптимізації використовують методи лінійного програмування, цілочисельного програмування та евристичні алгоритми. Ці методи застосовні до задач, які можуть бути описані системою лінійних рівнянь.

Динамічні імітаційні моделі ланцюгів поставок найбільш зручно використовувати на середньому і низькому рівнях, коли треба відобразити більшу кількість деталей, а аналітична оптимізація застосовується для вирішення задач середнього та верхнього рівнів абстрагування (рис. 1.12).

Зазначимо також, що ряд науковців (див., наприклад, [59], [194]) для побудови ефективних моделей ланцюгів поставок і досягнення оптимальних результатів вважають за необхідне використовувати обидва підходи в симбіозі та використовувати аналітичні та імітаційні методи в залежності від задачі, що потребує розв'язку. Наприклад, в [59] пропонується використовувати аналітичні методи для пошуку місця будівництва складів, ґрунтуючись на розташуванні потенційних покупців, транспортних розв'язок і витрат на будівництво в тому чи іншому місці, а за допомогою імітаційного моделювання моделювати поведінку елементів транспортної мережі або виникнення небезпечних ситуацій під час прийняття рішень, і, таким чином, досягти найбільш високого ступеня точності.



Рис. 1.12. Співвідношення рівнів абстрагування та методів моделювання ланцюгів поставок

* побудовано за даними [169]

Моделі оптимального планування взаємодії підприємств у ланцюгах поставок, розробці яких присвячений розділ 2, описують взаємодію підприємств в рамках ланцюга поставок і пов'язані з розрахунком оптимальних потоків між ланками ланцюга, і тому за допомогою цих моделей вирішуються, в основному, задачі верхнього і верхньо-середнього рівнів абстрагування, про які говорилося вище. Тому в даній роботі доречним для моделювання представляється вибір аналітичної оптимізації.

Проаналізувавши роботи вітчизняних та закордонних вчених в галузі моделювання ланцюгів поставок, можна зробити висновок, що у спеціальній літературі поки ще відносно мало робіт, які присвячені моделюванню ланцюгів поставок з урахуванням управління матеріальними і фінансовими потоками на всьому протязі ланцюга, адже логістичний менеджмент

заснований на координації матеріальних, фінансових та інформаційних потоків.

В існуючій літературі використовуються в основному статичні моделі, засновані на багатовимірних задачах лінійного програмування, є приклади використання і динамічних моделей, але вони враховують тільки один вид запасів (наприклад, сировини на виробничому підприємстві). Крім того, мало враховується специфіка функціонування ланцюгів поставок навіть в рамках згаданої вище VАТ-класифікації, слабо використовується величезний теоретичний матеріал, розроблений в теорії управління запасами, тому в даний час, на наш погляд, досліджень з даної проблематики недостатньо, існує необхідність розробки моделей, які враховують коливання різних видів запасів в різних ланках ланцюгів поставок.

Крім того, в цитованих роботах недостатньо використані сучасні методи ризик-менеджменту, засновані на теорії ймовірностей, математичній статистиці і стохастичному програмуванні ([117], [119], [180-181], [204], [206], [221]). Приділено недостатньо уваги конкуренції і кооперації між ланцюгами поставок, не достатньо вивчений вплив інноваційної стратегії підприємств-ланок ланцюга поставок на конкурентну боротьбу між ланцюгами поставок.

Висновки за розділом 1

Результати дослідження, отримані у даному розділі, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Дослідження сучасного стану розвитку логістики в Україні дозволило виявити наступні основні проблеми її розвитку логістики. Хоча ринок логістики в Україні зараз перебуває на стадії стабілізації, стає більш професійним і відкритим завдяки впровадженню інноваційних рішень, ІТ-продукції, нових методів оптимізації логістичних витрат, але поряд з тим для сучасного етапу розвитку українського ринку логістичних послуг характерні такі проблеми як відстала інфраструктура транспорту, недостатня кількість і низький техніко-технологічний рівень вантажних терміналів, низький рівень розвитку сучасних систем електронних комунікацій, зв'язку, слабкий рівень розвитку виробничо-технічної бази складського господарства, недолік сучасного технологічного обладнання по переробці продукції, низький рівень автоматизації та механізації складських робіт тощо.

2. Розглянуто поняття ланцюга поставок як ключового в логістиці, класифікацію ланцюгів поставок. Встановлено, що в зв'язку з поширенням на практиці концепції ланцюга поставок виникають чисельні проблеми, які стосуються їх оптимального проектування та оптимального управління їх функціонуванням. Ці проблеми, можуть бути вирішені за допомогою ряду конкретних теорій, таких як: мікроекономіка, операційний менеджмент, логістичний менеджмент, ризик-менеджмент, теорія конкуренції, дослідження операцій (теорія управління запасами, теорія оптимізації) тощо.

3. Систематизовані основні причини невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок і заходи щодо зниження ризиків в залежності від їхніх джерел. Встановлено, що на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій нові можливості для організації ланцюгів поставок відкриває моделювання логістичних процесів, при цьому якість прийнятих рішень і зниження невизначеності у конкретних ситуаціях багато в чому залежить від

коректності застосованих моделей, що вимагає аналізу існуючих теоретичних і практичних результатів, отриманих як вітчизняними, так і зарубіжними вченими в галузі економіко-математичного моделювання ланцюгів поставок.

4. Аналіз доробок вітчизняних та закордонних вчених в галузі моделювання ланцюгів поставок дозволив зробити висновок, що у спеціальній літературі поки ще відносно мало робіт, які присвячені моделюванню ланцюгів поставок з урахуванням управління матеріальними і фінансовими потоками на всьому протязі ланцюга, адже логістичний менеджмент заснований на координації матеріальних, фінансових та інформаційних потоків. Проведений аналіз існуючих результатів моделювання ланцюгів поставок показав, що на даний момент в галузі економіко-математичного моделювання використовуються в основному статичні моделі, засновані на багатовимірних задачах лінійного програмування, є приклади використання і динамічних моделей, але вони враховують тільки один вид запасів (наприклад, сировини на виробничому підприємстві). Крім того, не в достатній мірі враховується специфіка функціонування ланцюгів поставок в рамках VAT-класифікації, яка ґрунтується на тому, як проходить матеріальний потік через весь ланцюг поставок. Така класифікація дозволяє швидко і точно діагностувати джерело проблем на виробництві та виробити рекомендації щодо їх подолання. Недостатньо використані сучасні методи ризик-менеджменту, засновані на теорії ймовірностей, математичній статистиці і стохастичному програмуванні, слабо використовується величезний теоретичний матеріал, розроблений в теорії управління запасами. Також приділено недостатньо уваги конкуренції та кооперації між ланцюгами поставок, не достатньо вивчений вплив інноваційної стратегії підприємств-ланок ланцюга поставок на конкурентну боротьбу між ланцюгами поставок.

5. Основними методами вирішення задач в галузі управління ланцюгами поставок є аналітична оптимізація та динамічне імітаційне моделювання. Динамічні імітаційні моделі ланцюгів поставок найбільш

зручно використовувати на середньому і низькому рівнях абстрагування при моделюванні роботи вузлів ланцюга поставок, коли треба відобразити більшу кількість деталей, а аналітична оптимізація застосовується для вирішення задач середнього та верхнього рівнів. Моделі оптимального планування взаємодії підприємств у ланцюгах поставок, розробці яких присвячений розділ 2, описують взаємодію підприємств і пов'язані з розрахунком оптимальних потоків між ланками ланцюга, це дозволяє в даній роботі зробити вибір на користь аналітичної оптимізації.

Таким чином, існує необхідність:

- розробки моделей оптимального планування взаємодії підприємств у ланцюгу поставок, які враховували б супутні і матеріальні, і фінансові потоки, зовнішні та внутрішні фактори невизначеності, які виникають в ланцюгах поставок, а також можливі конфігурації таких ланцюгів;
- розробки методичних положень щодо оцінки економічної доцільності страхування ризиків, які виникають в процесі функціонування ланцюгів поставок, наприклад, ризиків, пов'язаних з нестачею ресурсів для виробництва продукції та ризиків, які виникають через відхилення запланованих до випуску обсягів продукції від фактичного попиту;
- розробки пропозицій щодо вдосконалення організації управління ризиками в ланцюгах поставок в умовах конкуренції між окремими ланцюгами поставок.

Вирішенню перелічених питань присвячені наступні розділи дисертації.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПІДПРИЄМСТВ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАВОК З ВРАХУВАННЯМ ФАКТОРІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

2.1 Статичні моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок з урахуванням факторів невизначеності

Проведений в розділі 1 аналіз наукових доробок вітчизняних та закордонних вчених в галузі економіко-математичного моделювання ланцюгів поставок показав, що у спеціальній літературі поки ще відносно мало робіт, які присвячені моделюванню ланцюгів поставок з урахуванням управління матеріальними і фінансовими потоками на всьому протязі ланцюга, мало враховується специфіка функціонування ланцюгів поставок в рамках VAT-класифікації [196], недостатньо використані сучасні методи ризик-менеджменту, засновані на теорії ймовірностей, математичній статистиці і стохастичному програмуванні. В існуючих роботах запропоновані в основному статичні моделі, але вони не враховують фактори невизначеності (наприклад, невизначеність попиту на продукцію) і не описують конкуренцію між різними інтегрованими логістичними системи в рамках спільного ринку.

В п. 2.1 зупинимось на розробці оптимізаційних статичних моделей планування взаємодії підприємств у ланцюгу поставок, які враховують зовнішні та внутрішні фактори невизначеності, що виникають в ланцюгах поставок, а також можливі конфігурації таких ланцюгів в рамках VAT-класифікації.

Розглянемо найпростіший окремий випадок ланцюга поставок типу А, який включає тільки два рівні.

В [84] на основі синтезу узагальненої задачі лінійного програмування оптимізації плану виробництва продукції промисловим підприємством і

транспортної задачі лінійного програмування побудована і проаналізована статична модель оптимізації плану випуску проміжної і кінцевої продукції в ланцюгах поставок типу А.

Нехай є S підприємств-постачальників, які виробляють комплектуючі для виробництва кінцевої продукції на єдиному підприємстві-виробнику. Підприємство-постачальник з номером s виготовляє L_s видів комплектуючих з R_s видів первинної сировини, напівфабрикатів та ін. виробничих ресурсів, причому на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду необхідно витратити $a_{slr}^{(1)}$ сировини r -го виду, $s = 1, 2, \dots, S$, $l = 1, 2, \dots, L_s$, $r = 1, 2, \dots, R_s$. Ресурс r -го виду на s -му підприємстві-постачальнику є у кількості b_{sr} , $s = 1, 2, \dots, S$, $r = 1, 2, \dots, R_s$. Вважається, що всі підприємства-постачальники виробляють різні комплектуючі.

Всі вироблені на підприємствах-постачальниках комплектуючі закупаються підприємством-виробником, який випускає кінцеву продукцію K видів. На виробництво одиниці кінцевої продукції k -го виду необхідно витратити $a_{slk}^{(2)}$, $s = 1, 2, \dots, S$, $l = 1, 2, \dots, L_s$, $k = 1, 2, \dots, K$ комплектуючих l -го виду, вироблених на s -му підприємстві-постачальнику.

Вироблена кінцева продукція надходить на склад, звідки вона повинна бути доставлена в M пунктів призначення D_1, D_2, \dots, D_M через N пунктів перевалки P_1, P_2, \dots, P_N (наприклад, через порти).

Позначимо через w_n пропускну здатність (чи місткість складів) перевалочного пункту P_n , а через d_{km} – потребу в продукції k -го виду в пункті призначення D_m . Можна вважати, що в пунктах перевалки P_1, P_2, \dots, P_N продукція підприємства перевантажується з одного виду транспорту на інший (наприклад, з залізничного на морський).

Схема описаного ланцюга поставок представлена на рис. 2.1.

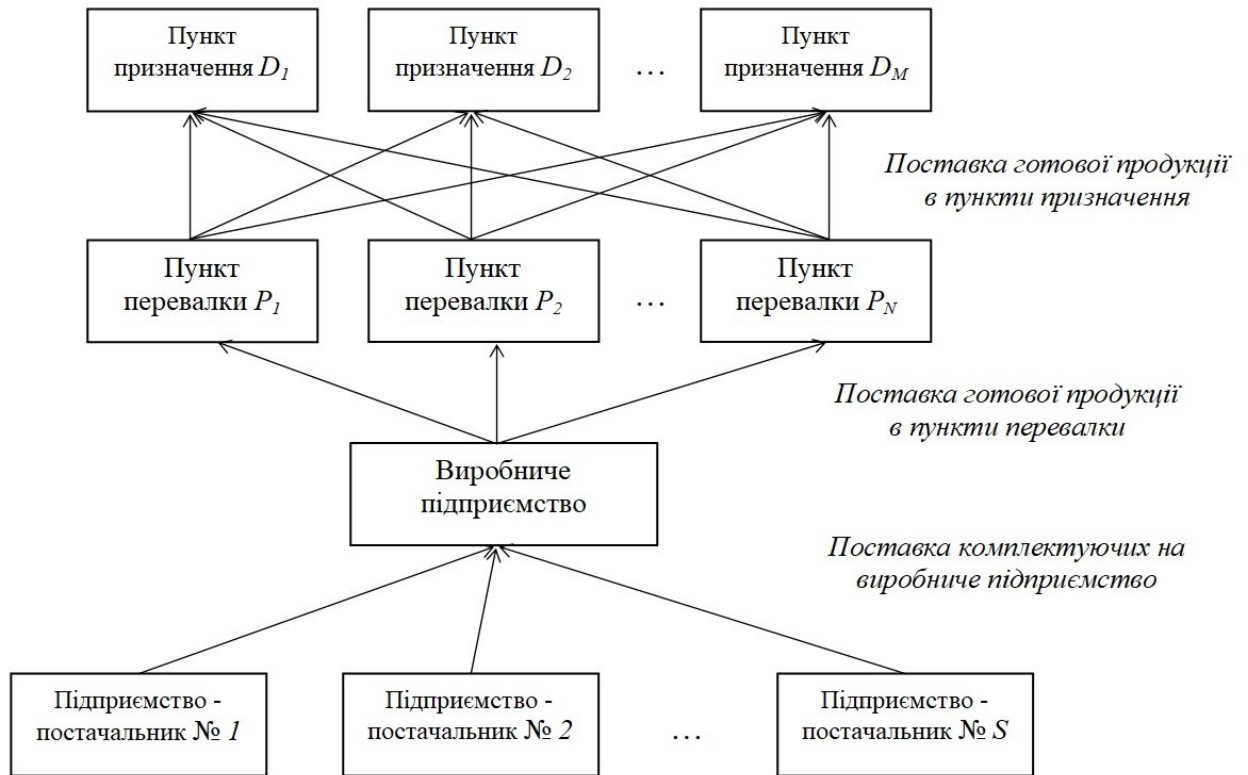


Рис. 2.1. Схема ланцюга поставок*

* розроблено автором

Введемо наступні множини:

$$B_k = \{ m \mid d_{km} > 0, m = 1, 2, \dots, M \}, k = 1, 2, \dots, K,$$

а також параметри управління розглянутої задачі:

x_{sl} – кількість комплектуючих l -го виду, запланованих до випуску S -м підприємством-постачальником;

y_k – кількість готової продукції k -го виду, заплановане для випуску підприємством-виробником;

z_{kn} – кількість готової продукції k -го виду, яке планується для перевалки в пункті P_n ;

z_{kmm} – кількість готової продукції k -го виду, яке планується для доставки з перевалочного пункту P_n в пункт призначення D_m .

Сумарні витрати, пов'язані з виробництвом комплектуючих, виробництвом і доставкою готової продукції від підприємства-виробника до пунктів призначення D_1, D_2, \dots, D_M можуть бути представлені наступним чином:

$$C = \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} c_{sl} x_{sl} + \sum_{k=1}^K c_{1k} y_k + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{2kn} z_{kn} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_{3knm} z_{knm}, \quad (2.1)$$

де c_{sl} – витрати на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду на S -му підприємстві-постачальнику; c_{1k} – витрати на виробництво одиниці готової продукції k -го виду; c_{2kn} – вартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду, включаючи її перевалку, в пункт P_n ; c_{3knm} – вартість перевезення (включаючи навантаження на транспортний засіб) одиниці готової продукції k -го виду з пункту P_n в пункт призначення D_m .

Обмеження, що накладаються на параметри управління, будуть мати наступний вигляд:

1) обмеження на виробничі ресурси підприємств-постачальників:

$$\sum_{l=1}^{L_s} a_{slr}^{(1)} x_{sl} \leq b_{sr}, \quad r = 1, 2, \dots, R_s, \quad s = 1, 2, \dots, S; \quad (2.2)$$

2) обмеження на комплектуючі на підприємстві-виробнику:

$$\sum_{k=1}^K a_{slk}^{(2)} y_k \leq x_{sl}, \quad l = 1, 2, \dots, L_s, \quad s = 1, 2, \dots, S; \quad (2.3)$$

3) вся вироблена продукція повинна бути вивезена зі складу підприємства-виробника:

$$\sum_{n=1}^N z_{kn} = y_k, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad (2.4)$$

4) потреби всіх пунктів призначення повинні бути задоволені:

$$\sum_{n=1}^N z_{knm} = d_{km}, m \in B_k, k = 1, 2, \dots, K; \quad (2.5)$$

5) вся продукція повинна бути вивезена з пунктів перевалки:

$$\sum_{m \in B_k} z_{knm} = z_{kn}, k = 1, 2, \dots, K, n = 1, 2, \dots, N; \quad (2.6)$$

6) через пункт перевалки не може бути перевантажено більше вантажу, ніж його пропускна здатність:

$$\sum_{n=1}^N z_{kn} \leq w_n, n = 1, 2, \dots, N; \quad (2.7)$$

7) умови невід'ємності параметрів управління:

$$x_{sl}, y_k, z_{kn}, z_{knm} \geq 0, \forall s, l, k, n, m. \quad (2.8)$$

Таким чином, ми прийшли до наступної моделі виробничо-транспортної задачі: знайти виробничі плани підприємств-постачальників $\{x_{sl}\}$ і підприємства-виробника $\{y_k\}$, а також план перевезень для транспортних підприємств $\{z_{kn}\}$ і $\{z_{knm}\}$, що мінімізують функцію (2.1) при обмеженнях (2.2)-(2.8).

Відзначимо, що з (2.5)-(2.7) випливає наступна необхідна умова допустимості сформульованої задачі оптимізації:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m \in B_k} d_{km} \leq \sum_{n=1}^N w_n,$$

Крім того, вважаючи, що $a_{slr}^{(1)}, a_{slk}^{(2)} > 0, \forall s, l, k, r$, з (2.3)-(2.7) випливає ще одна необхідна умова допустимості задачі:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m \in B_k} d_{km} \leq \min_r A_r, \quad (2.9)$$

$$\text{де } A_r = \left(\sum_{s=1}^S b_{sr} \right) \left[\sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} a_{slr}^{(1)} \min_k a_{slk}^{(2)} \right]^{-1}, r = 1, 2, \dots, R.$$

Справді, помноживши обидві частини обмежень (2.3) на $a_{slr}^{(1)}$, підсумувавши їх по s, l і скориставшись обмеженнями (2.2), отримаємо:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} a_{slr}^{(1)} \min_j a_{slj}^{(2)} \sum_{k=1}^K y_k \leq \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} \sum_{k=1}^K a_{slr}^{(1)} a_{slk}^{(2)} y_k \leq \sum_{s=1}^S b_{sr}.$$

Тепер, використовуючи умови (2.4)-(2.7), прийдемо до нерівності (2.9).

При управлінні ланцюгами поставок логістичного менеджера часто доводиться стикатися з ситуаціями невизначеності та ризику. Проблема ризику пов'язана з можливістю настання яких-небудь несприятливих подій і становить об'єктивно неминучий елемент прийняття і виконання практично будь-якого управлінського рішення.

На практиці деякі з вихідних величин в моделі (2.1)-(2.8) можуть бути схильні до випадкових коливань, для обліку яких необхідно перетворити вихідну модель в модель стохастичного програмування.

Наведену модель оптимізації плану роботи ланцюга поставок можна узагальнити на випадок, коли параметри попиту є взаємно незалежними випадковими величинами із заданими щільностями ймовірності. Для цього можна скористатися відомим прийомом, вперше запропонованим Вільямсом [246] для аналізу транспортної задачі в стохастичній постановці і використаним також у [83], [150].

Узагальнимо модель (2.1)-(2.8) на випадок, коли величини попиту d_{km} є незалежними одна від одної неперервними випадковими величинами $d_{km}(\omega)$ з щільностями розподілу $\varphi_{km}(d)$. Для цього використовуємо підхід, описаний в роботі [150].

Нехай

$$v_{km} = \sum_{n=1}^N z_{knm}, m \in B_k, k = 1, 2, \dots, K \quad (2.10)$$

означає сумарну кількість готової продукції k -го виду, яке планується для доставки в пункт призначення D_m відповідно до плану, складеного до реалізації випадкового попиту.

Якщо після встановлення попиту $d_{km}(\omega)$ з'ясується, що $v_{km} < d_{km}(\omega)$, то попит на продукцію не буде задоволений. Нехай q_{km}^- – збитки (штраф за дефіцит) через нестачу одиниці продукції k -го виду в пункті призначення D_m . Тоді збиток, який виникне через незадоволений попит, буде пропорційний обсягу такого попиту: $q_{km}^-(d_{km}(\omega) - v_{km})$.

У протилежному випадку $v_{km} > d_{km}(\omega)$, тобто виникає необхідність у зберіганні надлишку продукції. Позначимо через q_{km}^+ витрати по зберіганню одиниці продукції k -го виду в пункті призначення D_m , тоді додаткові витрати, пов'язані зі зберіганням надлишкової продукції, будуть пропорційні величині $q_{km}^+(v_{km} - d_{km}(\omega))$.

Математичне сподівання сумарних витрат, пов'язаних з виробництвом комплектуючих, виробництвом готової продукції, її перевалкою і перевезенням від підприємства-виробника до пунктів призначення, збитками через брак товару та витратами на додаткове зберігання, матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{C} = & \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} c_{sl} x_{sl} + \sum_{k=1}^K c_{1k} y_k + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{2kn} z_{kn} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_{3knm} z_{knm} + \\ & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[q_{km}^+ \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du + q_{km}^- \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du \right]. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Розглянемо випадок, коли величини попиту $d_{km}(\omega)$ мають розподіл Ерланга n -го порядку, тобто щільності

$$\varphi_{km}(d) = \frac{d^{n-1}}{(n-1)! \theta_{km}} e^{-d/\theta_{km}}, \quad m \in B_k, k = 1, 2, \dots, K.$$

Тоді (2.11) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{C}_n = & C + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[q_{km}^+ \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) u^{n-1} \frac{e^{-u/\theta_{km}}}{(n-1)! \theta_{km}} du + \right. \\ & \left. + q_{km}^- \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) u^{n-1} \frac{e^{-u/\theta_{km}}}{(n-1)! \theta_{km}} du \right], \end{aligned} \quad (2.12)$$

де C визначається за формулою (2.1).

Покажемо, що \bar{C}_n є опуклою по v_{km} функцією. Продиференціюємо \bar{C}_n двічі по v_{km} :

$$\frac{\partial^2 \bar{C}_n}{\partial^2 v_{km}} = \frac{v_{km}^{n-1}}{(n-1)! \theta_{km}} e^{-v_{km}/\theta_{km}} (q_{km}^+ + q_{km}^-). \quad (2.13)$$

Так як всі множники у правій частині (2.13) невід'ємні, то функція (2.12) є опуклою по v_{km} . Тоді детермінований еквівалент стохастичної задачі мінімізації сумарних витрат з випадковим попитом зводиться до мінімізації опуклої функції (2.12) при умовах (2.2)-(2.4), (2.6)-(2.9).

У випадку $n=1$ розподіл Ерланга збігається з експоненціальним розподілом з параметром $\lambda = 1/\theta$, і тоді цільова функція набуде вигляду:

$$\bar{C}_1 = C + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[q_{km}^+ \left(v_{km} - \frac{1 - e^{-\lambda_{km} v_{km}}}{\lambda_{km}} \right) + q_{km}^- \frac{e^{-\lambda_{km} v_{km}}}{\lambda_{km}} \right].$$

Для випадку $n=2$ сумарні витрати (2.11) матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{C}_2 = C + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M & \left[q_{km}^- (v_{km} + 2\theta_{km}) e^{-v_{km}/\theta_{km}} + \right. \\ & \left. + q_{km}^+ \left(-2\theta_{km} + v_{km} + (v_{km} + 2\theta_{km}) e^{-v_{km}/\theta_{km}} \right) \right]. \end{aligned}$$

Прийнявши значення параметра $n=3$, отримаємо

$$\begin{aligned} \bar{C}_3 = C + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M & \left[q_{km}^- \frac{6\theta_{km}^2 + 4\theta_{km} v_{km} + v_{km}^2}{2\theta_{km}} e^{-v_{km}/\theta_{km}} + \right. \\ & \left. + q_{km}^+ \left(-3\theta_{km} + v_{km} + \frac{6\theta_{km}^2 + 4\theta_{km} v_{km} + v_{km}^2}{2\theta_{km}} e^{-v_{km}/\theta_{km}} \right) \right]. \end{aligned}$$

Описана задача оптимізації може бути вирішена за допомогою програми Excel. Дано чисельну ілюстрацію побудованих моделей оптимізації для випадку $S=2$, $N=2$, $M=3$, $R_1=R_2=2$, $L_1=2$, $L_2=1$, $K=2$.

Розглянемо випадок виробництва металургійним підприємством (наприклад, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») двох видів продукції (металопрокату) та доставки її в три пункти призначення (наприклад, Миколаївський, Одеський морські порти і порт «Ольвія») через два пункти перевалки (склади готової продукції). В якості комплектуючих можна розглядати чавун та сталь, які виготовляють два підприємства-постачальники з таких видів сировини як з коксівне вугілля та залізна руда. На виплавку 1 т

чавуну витрачається не менше 1,5-2 т залізної руди (чим багатша руда залізом, тим менше її витрата), від 1-1,2 т коксівного вугілля, а всього 4-5 т сировини і палива. Для вироблення 1 т сталі потрібно вивезти і переплавити 2 т руди і 1,5 т коксу. Прокат – кінцевий, найцінніший, продукт усього циклу чорної металургії. Його вартість в 2-5 разів більше вартості сировини, з якої він виготовлений. Вироби з прокату дуже різноманітні (до 20-30 тисяч видів і найменувань). Прокат – головний товар зовнішньої торгівлі продукцією чорної металургії. Витрата сировини на виробництво 1 т готового прокату становить приблизно 1,1-1,2 т. Таким чином, вважаючи сировиною першого виду залізну руду, другого – коксівне вугілля, комплектуючими чавун і сталь, продукцією підприємства-виробника чавунний прокат та металопрокат, можна встановити технологічні коефіцієнти $a_{str}^{(1)}$ і $a_{slk}^{(2)}$.

У табл. Б.1 та табл. Б.2 додатку Б наведені вихідні дані для трьох варіантів розрахунків, що відповідають різним значенням параметра n в розподілі Ерланга та результати розрахунків, виконаних за допомогою пакета Excel. Параметри θ можуть бути розраховані за наявними статистичними даними [164], які представляють собою фактичні розміри попиту на продукцію металургійних підприємств в пунктах призначення (Миколаївський, Одеський порти і порт «Ольвія»). Для оцінки параметрів розподілу може бути застосована програма Microsoft Excel ([27], [115]). Вартості закупівлі, доставки та зберігання на складі 1 т сировини, комплектуючих та готової продукції сформовано за інформацією з [120], [136].

Отримані результати показують, що зі збільшенням параметра сумарні витрати на виробництво, перевалку і перевезення продукції зменшуються. При цьому, якщо попит розподілений експоненціально, загальні витрати на виробництво і доставку 508,44 тис. т металопрокату складуть 18119,4 тис. грн. У випадку, коли обсяги попиту мають розподіл Ерланга порядку $n > 1$, більшому обсягу виробленої продукції (546,05 тис. т і 552,68 тис. т)

відповідають менші загальні витрати (15360,3 тис. грн. для $n=2$ і 14027,3 тис. грн. для $n=3$).

Проведені розрахунки показують, що наслідком неточно прогнозованого попиту є високі транспортні витрати, нереалізовані можливості продажу, що тягне за собою втрату прибутку. Для підвищення ефективності виробництва потрібен точний прогноз очікуваного попиту по всьому ланцюгу поставок, починаючи від закупівель сировини у постачальників і закінчуючи розподілом готової продукції.

Розглянемо далі найпростіший окремий випадок ланцюга поставок типу V [86], який включає два рівні.

Нехай підприємство-постачальник, виготовляє набір комплектуючих L видів з R видів первинної сировини, напівфабрикатів та інших виробничих ресурсів. На виробництво одиниці комплектуючих l -го виду потрібно затратити $a_{lr}, l = \overline{1, L}, r = \overline{1, R}$ одиниць первинної сировини r -го виду, причому ця сировина є в кількості b_r .

Вироблені комплектуючі всіх видів споживаються S підприємствами, що випускають кінцеву продукцію, причому S -е підприємство випускає K_s видів кінцевої продукції. Нехай $a_{s/lk}, s = \overline{1, S}, l = \overline{1, L}, k = \overline{1, K_s}$ означає кількість комплектуючих l -го виду, який необхідно витратити на випуск одиниці готової продукції k -го виду на S -му підприємстві.

Вироблена кінцева продукція надходить на склад підприємств, звідки вона повинна бути доставлена в M пунктів призначення D_1, D_2, \dots, D_M через N пунктів перевалки P_1, P_2, \dots, P_N . Можна вважати, пункти P_1, P_2, \dots, P_N являють собою морські порти, в яких продукція підприємства перевантажується з одного виду транспорту на інший.

Схема описаного ланцюга поставок представлена на рис. 2.2.

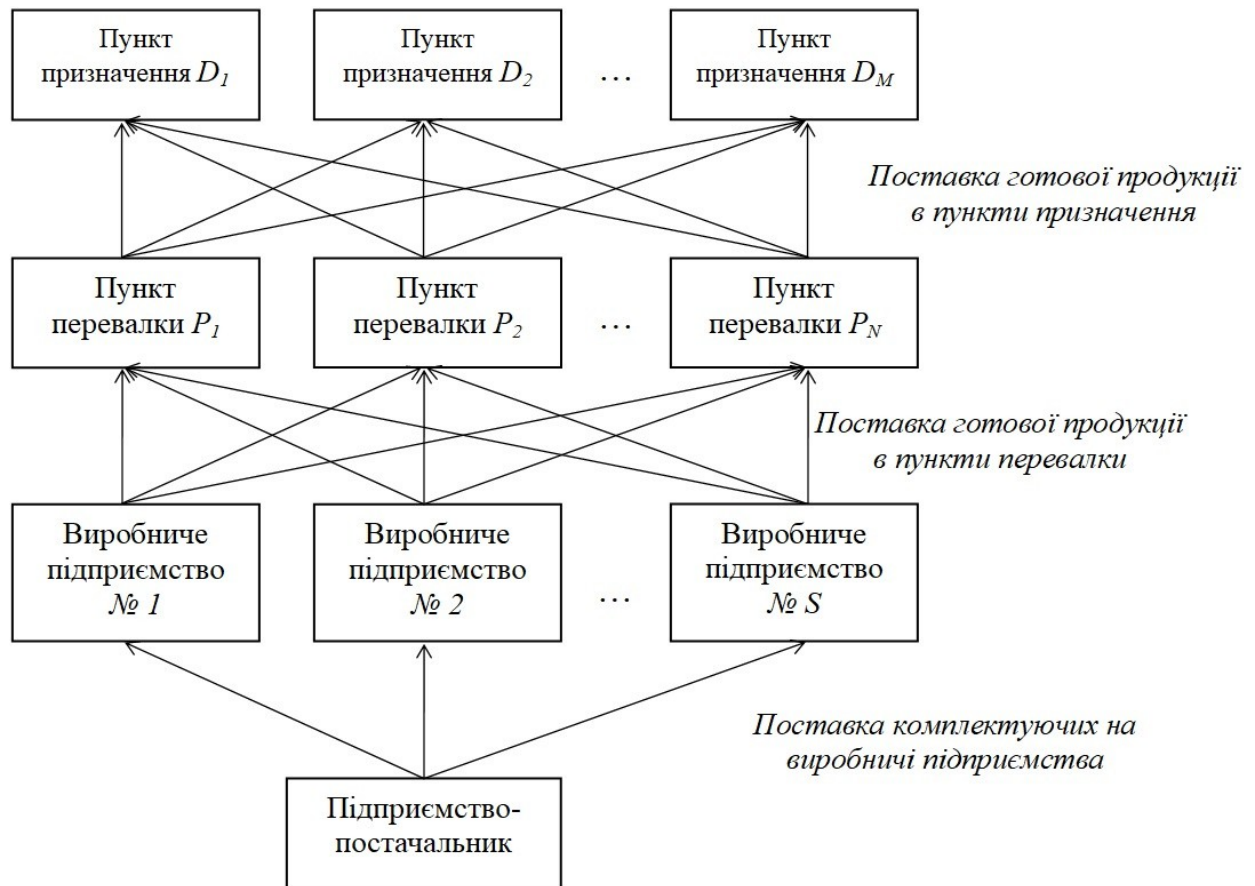


Рис. 2.2 Схема ланцюга поставок*

* розроблено автором

Позначимо через w_n пропускну здатність (місткість складів) пункту P_n , а через d_{skm} – потребу пункту призначення в продукції k -го виду, виробленій на S -му підприємстві.

Введемо множини:

$$B_{sk} = \{m \mid d_{skm} > 0, m = \overline{1, M}\}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s},$$

а також наступні параметри управління розглянутої задачі:

x_l – кількість комплектуючих l -го виду, запланована для випуску підприємством-постачальником;

x_{sl} – кількість комплектуючих l -го виду, запланована для доставки на S -е виробниче підприємство;

y_{sk} – кількість готової продукції k -го виду, запланована для випуску на S -му підприємстві;

z_{skn} – кількість готової продукції k -го виду, запланована для доставки зі складу S -го підприємства в перевалочний пункт P_n ;

z_{sknm} – кількість готової продукції k -го виду S -го підприємства, запланована для доставки з перевалочного пункту P_n в пункт призначення D_m .

Введені параметри управління, з урахуванням прийнятих позначень та угод, задовольняють наступним обмеженням:

$$\sum_{l=1}^L a_{lr} x_l \leq b_r, r = \overline{1, R}, \quad (2.14)$$

$$x_l = \sum_{s=1}^S x_{sl}, l = \overline{1, L}, \quad (2.15)$$

$$\sum_{k=1}^{K_s} a_{stk} y_{sk} \leq x_{sl}, l = \overline{1, L}, s = \overline{1, S}, \quad (2.16)$$

$$y_{sk} = \sum_{n=1}^N z_{skn}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s}, \quad (2.17)$$

$$\sum_{s=k=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} z_{skn} \leq w_n, n = \overline{1, N}, \quad (2.18)$$

$$z_{skn} = \sum_{m \in B_{sk}} z_{sknm}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s}, n = \overline{1, N}, \quad (2.19)$$

$$\sum_{n=1}^N z_{sknm} = d_{skm}, m \in B_{sk}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s}, \quad (2.20)$$

$$x_l, x_{sl}, y_{sk}, z_{skn}, z_{sknm} \geq 0, \forall s, l, k, n, m. \quad (2.21)$$

Нерівності (2.14) – це обмеження на наявні ресурси для виробництва комплектуючих на заводі-постачальнику. Рівності (2.15) показують розподіл вироблених комплектуючих між підприємствами, що виробляють кінцеву продукцію. Співвідношення (2.16) є обмеженнями на використання комплектуючих кожного виду для кожного підприємства-виробника, (2.17)-(2.18) вимагають, щоб вся продукція була вивезена зі складів підприємств-виробників в пункти перевалки, і при цьому пропускна здатність цих пунктів

не перевищувалася. Рівності (2.19)-(2.20) означають, що вся продукція, що надійшла в пункти перевалки, повинна бути вивезена в пункти призначення, при цьому потреби пунктів призначення мають бути задоволені. Нерівності (2.21) – умови невід'ємності параметрів управління.

Сумарні витрати, пов'язані з виробництвом комплектуючих, виробництвом і доставкою готової продукції від підприємств-виробників в пункти призначення можуть бути представлені наступним чином:

$$\begin{aligned}
 C = & \sum_{l=1}^L c_l^{(0)} x_l + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} x_{sl} + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} c_{sk}^{(2)} y_{sk} + \\
 & + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{n=1}^N c_{skn}^{(3)} z_{skn} + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{n=1}^N \sum_{m \in B_{sk}} c_{sknm}^{(4)} z_{sknm}.
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

Тут $c_l^{(0)}$ – витрати на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду; $c_{sl}^{(1)}$ – витрати на придбання та доставку одиниці комплектуючих l -го виду S -м підприємством; $c_{sk}^{(2)}$ – витрати на виробництво одиниці готової продукції k -го виду на S -му підприємстві; $c_{skn}^{(3)}$ – вартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду S -го підприємства, включаючи її перевалку, в пункт P_n ; $c_{sknm}^{(4)}$ – вартість перевезення (включаючи навантаження на транспортний засіб) одиниці готової продукції k -го виду S -го підприємства з пункту P_n в пункт призначення D_m .

Таким чином, ми прийшли до наступної моделі виробничо-транспортної задачі: знайти плани виробництва $\{x_l\}$ і розподілу $\{x_{sl}\}$ комплектуючих для підприємства-постачальника, плани випуску готової продукції $\{y_{sk}\}$ для підприємств-виробників, а також план перевезень $\{z_{skn}\}$ і $\{z_{sknm}\}$ для транспортних підприємств, які мінімізують функцію (2.22) при обмеженнях (2.14)-(2.21).

Відзначимо, що з обмежень (2.18)-(2.20) впливає наступна необхідна умова допустимості сформульованої задачі оптимізації:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} d_{skm} \leq \sum_{n=1}^N w_n.$$

Крім того, вважаючи, що $a_{lr}, a_{stk} > 0 \quad \forall s, l, k, r$, з обмежень задачі випливає ще одна необхідна умова допустимості. Помножимо обидві частини обмежень (2.16) на a_{lr} , підсумуємо їх по s, l і скористаємося обмеженнями (2.14)-(2.20):

$$\sum_{l=1}^L a_{lr} \min_{i,j} a_{ij} \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} d_{skm} \leq \sum_{l=1}^L a_{lr} \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} a_{slk} y_{sk} \leq b_r.$$

Тоді необхідна умова допустимості задачі матиме вигляд:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} d_{skm} \leq \min_r A_r,$$

$$\text{де } A_r = b_r / \sum_{l=1}^L a_{lr} \min_{s,k} a_{slk}, r = \overline{1, R}.$$

Можлива також постановка задачі на максимум загального прибутку всіх учасників ланцюга поставок. Нехай p_{sk} – продажна ціна одиниці готової продукції k -го виду, виробленої на s -му підприємстві. Тоді задача зводиться до знаходження оптимальних планів $\{x_l\}$, $\{x_{sl}\}$, $\{y_{sk}\}$, $\{z_{skn}\}$ і $\{z_{sknm}\}$, що задовольняють обмеженням (2.14)-(2.21) і доставляють максимум функції

$$\begin{aligned} P = & \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} (p_{sk} - c_{sk}^{(2)}) y_{sk} - \sum_{l=1}^L c_l^{(0)} x_l - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} x_{sl} - \\ & - \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{n=1}^N c_{skn}^{(3)} z_{skn} - \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{n=1}^N \sum_{m \in B_{sk}} c_{sknm}^{(4)} z_{sknm}. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Наведена постановка задачі оптимізації дозволяє кількісно оцінити синергетичний ефект від спільного планування роботи всіх учасників ланцюга поставок. Для цього необхідно послідовно вирішити ряд задач.

Спочатку вирішуються задачі мінімізації виробничих витрат підприємства-постачальника та підприємств-виробників, тобто функцій

$$C_1 = \sum_{l=1}^L c_l^{(0)} x_l \quad \text{і} \quad C_2 = \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} x_{sl} + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} c_{sk}^{(2)} y_{sk} \quad \text{при умовах (2.14) і (2.15)-(2.16)}$$

відповідно.

Використовуючи результати розв'язку цих задач, мінімізуються витрати на перевезення готової продукції зі складів постачальників в

перевалочні пункти: $C_3 = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{n=1}^N c_{skn}^{(3)} z_{skn} \rightarrow \min$ при обмеженнях (2.17)-(2.18).

Потім, на підставі отриманого плану перевезень, шляхом мінімізації витрат на перевезення продукції з пунктів P_n в пункти D_m (

$$C_4 = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{n=1}^N \sum_{m \in B_{sk}} c_{sknm}^{(4)} z_{sknm}) \quad \text{та з урахуванням (2.19)-(2.20), складається}$$

оптимальний план перевезення товарів з пунктів перевалки в пункти

споживання. Різниця $\sum_{i=1}^4 \min C_i - \min C$ і дасть оцінку синергетичного ефекту.

Відзначимо також, що при вирішенні всіх задач мінімізації необхідно враховувати умову невід'ємності параметрів управління (2.21).

Наведену задачу можна вирішити за допомогою опції «Пошук розв'язку» пакета програм Microsoft Excel. Проведемо обчислення і дамо кількісну оцінку синергетичного ефекту для побудованих моделей оптимізації для випадку $L=R=S=2$, $K_1=K_2=2$, $N=2$, $M=2$ для металургійних підприємств, що випускають металопрокат з чавуну та сталі підприємства-постачальника, яке використовує в якості сировини коксівне вугілля і залізну руду.

У табл. Б.3 та табл. Б.4 додатку Б вказані вихідні дані для розрахунків та отримані значення обсягів виробництва і перевезення продукції.

Результат розв'язку вихідної задачі мінімізації функції (2.22) при умовах (2.14)-(2.21) показує, що підприємство-постачальник буде планувати до випуску $x_1 = 824,5$ тис. т залізної руди і $x_2 = 798,5$ тис. т коксівного вугілля. Вони будуть розподілені між заводами-виробниками в такий спосіб: $x_{11} = 446,25$ тис. т залізної руди і $x_{12} = 378,25$ тис. т коксівного вугілля надійдуть на 1-е виробниче підприємство, $x_{21} = 445,5$ тис. т залізної руди і $x_{22} = 353,0$ тис. т коксівного вугілля – на 2-е. 1-е підприємство-виробник для задоволення попиту в пунктах споживання (морських портах) повинно випустити $y_{11} = 195$ тис. т чавуну і $y_{12} = 210$ тис. т прокату. Чавун буде доставлений в пункт призначення D_1 і D_2 через перевалочні пункти P_1 ($z_{111} = 95$ тис. т) і P_2 ($z_{112} = 100$ тис. т) в кількостях $z_{1121} = 100$ тис. т і $z_{1112} = 95$ тис. т відповідно. Металопрокат надійде в пункт D_1 в обсязі $z_{1221} = 120$ тис. т і в пункт D_2 в обсязі $z_{1212} = 90$ тис. т з перевалкою в P_2 . Вся продукція 2-го виробничого підприємства ($y_{21} = 185$ тис. т чавуну і $y_{22} = 160$ тис. т прокату) в морські порти буде доставлена через перевалочний пункт P_2 : $z_{2121} = 75$ тис. т і $z_{2221} = 80$ тис. т в пункт D_1 , $z_{2122} = 110$ тис. т і $z_{2222} = 80$ тис. т в пункт D_2 . При цьому мінімальні витрати по всьому ланцюгу поставок складуть 16479,5 тис. грн.: 4044,5 тис. грн. на виробництво чавуну та сталі, 1940 тис. грн. на їх придбання і доставку, 1940 тис. грн. на виробництво продукції, 2310 тис. грн. на доставку продукції в пункти перевалки, 2535 тис. грн. на доставку товару в морські порти.

При розв'язку послідовності оптимізаційних задач з цільовими функціями C_1 , C_2 , C_3 і C_4 та вихідними даними з табл. Б.3 додатку Б сумарні витрати на виробництво, перевезення і перевалку товарів складуть: $C_{\text{сум.}} = 9696,5 + 1940 + 2045 + 3195 = 16876,5$ (тис. грн.).

Відзначимо, що витрати на виробництво залишилися незмінними, а сумарні витрати на перевезення готової продукції збільшилися на $(2045 + 3195) - (2310 + 2535) = 395$ тис. грн..

Таким чином, різниця $\sum_{i=1}^4 \min C_i - \min C = 395$ тис. грн. і буде представляти собою кількісну оцінку синергетичного ефекту від спільного планування роботи всіх учасників розглянутої ланцюга поставок.

На практиці деякі з вихідних величин сформульованої статичної задачі можуть бути схильні до випадкових коливань. Для їх обліку необхідно перетворити вихідну модель в модель стохастичного програмування [86].

Узагальнимо модель (2.14)-(2.22) на випадок, коли величини попиту d_{skm} є незалежними одна від однієї неперервними випадковими величинами $d_{skm}(\omega)$ з щільностями розподілу $\varphi_{skm}(d)$. Для цього скористаємося прийомом, використаним в п. 2.1.1 цієї роботи. Позначимо через

$$v_{skm} = \sum_{n=1}^N z_{sknm}, \quad m \in B_{sk}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s} \quad (2.24)$$

сумарну кількість готової продукції k -го виду, вироблену на S -му підприємстві і заплановану для доставки в пункт призначення D_m відповідно до плану, складеному до реалізації випадкового попиту.

Після встановлення попиту $d_{skm}(\omega)$ стають можливими наступні варіанти. Якщо $v_{skm} > d_{skm}(\omega)$, то виникає необхідність у зберіганні надлишку продукції; якщо $v_{skm} < d_{skm}(\omega)$, то попит на продукцію не буде задоволений.

Нехай q_{skm}^+ – витрати по зберіганню одиниці надлишкової продукції k -го виду S -го підприємства в пункті призначення D_m , q_{skm}^- – збитки через брак одиниці продукції в пункті призначення D_m .

Витрати, пов'язані з додатковим зберіганням або нестачею товару, матимуть вигляд:

$$R = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} \left[q_{skm}^+ \int_0^{v_{skm}} (v_{skm} - u) \varphi_{skm}(u) du + q_{skm}^- \int_{v_{skm}}^{\infty} (u - v_{skm}) \varphi_{skm}(u) du \right]. \quad (2.25)$$

Раніше було показано, що у випадку, коли величини попиту мають розподіл Ерланга n -го порядку, функція R є опуклою по v_{skm} .

Тоді детермінований еквівалент стохастичної задачі мінімізації сумарних витрат з випадковим попитом зводиться до мінімізації опуклої функції

$$\bar{C} = C + R \rightarrow \min \quad (2.26)$$

при умовах (2.14)-(2.19), (2.21), (2.23).

У тому випадку, коли необхідно максимізувати загальний прибуток всіх учасників ланцюга поставок, в якості цільової функції можна розглядати опуклу функцію

$$\bar{P} = P - R \rightarrow \max. \quad (2.27)$$

У (2.26)-(2.27) значення C , P і R визначаються за формулами (2.22), (2.23) і (2.25).

Зазначимо, що при моделюванні логістичних систем і оптимізації спільних планів роботи різних ланок ланцюгів поставок важливо враховувати вплив як внутрішніх, так і зовнішніх факторів невизначеності.

Ряд існуючих на даний момент робіт (наприклад, [83], [147]), враховують випадкове коливання попиту в пунктах доставки готової продукції, тобто фактор зовнішньої невизначеності. У той же час в процесі функціонування ланцюгів поставок можуть виникати і інші, так би мовити, внутрішні, фактори ризику. Вони пов'язані, наприклад, з раптовими відмовами виробничого обладнання, коливаннями продуктивності робітників, постачанням неякісної сировини тощо.

Для вирішення цієї задачі потрібно застосувати апарат лінійного і нелінійного математичного програмування. В основі запропонованого методу лежить узагальнення результатів роботи [147].

Побудуємо модель оптимізації планів виробництва готової продукції k видів з r видів сировини і доставки її в кінцеві пункти споживання D_1, D_2, \dots, D_M через перевалочні пункти P_1, P_2, \dots, P_N . При цьому величини попиту є неперервними взаємно незалежними випадковими величинами з заданими щільностями розподілу $\varphi_{km}(d)$:

$$\sum_{k=1}^K a_{kr} x_k \leq b_r, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (2.28)$$

$$\sum_{k=1}^K a_{kr} x_k \leq b_r, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (2.29)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{kn} = x_k, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2.30)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kn} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{knm} \leq w_n, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (2.31)$$

$$z_{km} = \sum_{n=1}^N y_{knm}, \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2.32)$$

$$x_k, x_{kn}, y_{knm} \geq 0 \quad \forall k, n, m. \quad (2.33)$$

Тут x_k – кількість готової продукції k -го виду, заплановане для випуску підприємством;

x_{kn} – кількість готової продукції k -го виду, яке планується для перевалки в пункті P_n ;

y_{knm} – кількість готової продукції k -го виду, яке планується для доставки з перевалочного пункту P_n в пункт призначення D_m ;

z_{km} – загальна кількість продукції k -го виду, яка планується для доставки в пункт призначення D_m до реалізації випадкового попиту $d_{km}(\omega)$.

a_{kr} – кількість сировини r -го виду, яку необхідно витратити на виробництво одиниці продукції k -го виду;

b_r – кількість ресурсу виду r , яка є наявності;

w_n – пропускна здатність перевалочного пункту P_n ;

s_k – виробничі витрати з випуску одиниці продукції k -го виду;

s'_{kn} – вартість перевезення, включаючи перевалку готової продукції k -го виду в пункт P_n ;

s''_{knm} – вартість перевезення одиниці продукції k -го виду з пункту перевалки P_n до пункту призначення D_m ;

s^-_{km} – збитки, викликані дефіцитом продукції k -го виду в пункті призначення D_m ;

s^+_{km} – витрати на зберігання одиниці цієї продукції в тому ж пункті.

Випадкові коливання ринкового попиту відносяться до факторів зовнішньої невизначеності для даного інтегрованого ланцюга поставок.

Розглянемо, яким чином можна в вихідній моделі оптимізації врахувати чинники внутрішньої невизначеності, які проявляється, наприклад, в коливаннях продуктивності праці робітників, раптових відмовах виробничого обладнання, порушення технології.

Вплив цих факторів в моделі можна врахувати, вважаючи коефіцієнти a_{kr} випадковими величинами з відомими законами розподілу. Якщо a_{kr} – випадкова величина, то може виявитися, що для даного виробничого плану $|x_k|$ загальна кількість необхідного ресурсу (сировини) r -го виду більше, ніж b_r . Це означає, що вся робота не може бути виконана за необхідний час. У цій ситуації можна уявити собі два виходи: або здавати замовлення з запізненням, або вводити понаднормові роботи. В обох випадках на заводі виникають додаткові витрати. Будемо вважати, що якщо реальна кількість

сировини r -го виду менше запланованої на величину Δ_r , то це тягне за собою збитки в розмірі $\pi_r \Delta_r$, де π_r – плата за придбання додаткової одиниці сировини r -го виду.

Припустимо, що потрібно визначити план виробництва і доставки продукції $\{x_k, x_{kn}, y_{knm}\}$, який мінімізує (2.28) плюс середній збиток від нестачі ресурсів. Для будь-якого набору випадкових величин a_{kr} визначимо випадкові величини v_r за формулою:

$$v_r = \sum_{k=1}^K a_{kr} x_k, \quad r = 1, 2, \dots, R.$$

Щільність розподілу випадкової величини a_{kr} позначимо через $\psi_{kr}(a)$, а через μ_{kr} і σ_{kr}^2 – її середнє значення і дисперсію відповідно. Потрібно визначити щільність розподілу випадкової величини v_r . Вважаючи, що $\{a_{kr}\}$ – незалежні в сукупності випадкові величини, за правилом знаходження щільності розподілу суми незалежних випадкових величин знаходимо:

$$\Psi_r(v) = \Psi_{1r}\left(\frac{v}{x_1}\right) * \Psi_{2r}\left(\frac{v}{x_2}\right) * \dots * \Psi_{Kr}\left(\frac{v}{x_K}\right). \quad (2.33)$$

де $*$ – символ згортки щільностей.

Середнє значення і дисперсія випадкової величини v_r будуть наступними:

$$\mu_r = \sum_{k=1}^K \mu_{kr} x_k,$$

$$\sigma_r^2 = \sum_{k=1}^K \sigma_{kr}^2 x_k^2$$

Якщо, наприклад, a_{kr} нормально розподілена, то v_r також буде нормально розподіленою випадковою величиною з щільністю

$$n_r(v; \mu_r, \sigma_r) = \frac{1}{\sigma_r \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v - \mu_r)^2}{2\sigma_r^2}}.$$

Відзначимо, що якщо v_r можна розглядати як суму великого числа випадкових величин (тобто при великих K), то згідно з центральною граничною теоремою її розподіл буде наближено нормальним, навіть якщо випадкові величини a_{kr} мають довільні розподіли.

Обмеження (2.29) в даному випадку стають ймовірнісними і матимуть вигляд:

$$\int_0^{b_r} \psi_r(v) dv \geq 1 - \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (2.34)$$

де ε - задана мала ймовірність.

Оскільки щільність $\psi_r(v)$ визначена, то задача зводиться до мінімізації функції

$$\bar{S} = S + \sum_{r=1}^R \pi_r \int_{b_r}^{\infty} (v - b_r) \psi_r(v) dv \quad (2.35)$$

при обмеженнях (2.30)-(2.33), (2.34).

Дамо чисельну ілюстрацію побудованої моделі оптимізації для випадку, коли підприємство-виробник випускає два види товарів ($K=2$) з використанням трьох видів сировини ($R=3$). Продукція підприємства доставляється в три пункти призначення ($M=3$) через два пункти перевалки ($N=2$) [172]. Покладемо $s_{km}^- = 50$, $s_{km}^+ = 5$, $\pi_r = 0,1$, $k = 1, 2$, $m = 1, 2, 3$, $r = 1, 2, 3$.

На рис. 2.3 зображена схема матеріальних потоків для розглянутого прикладу.

Розглянемо випадок, коли величини попиту $d_{km}(\omega)$ мають експоненційний розподіл з параметрами λ'_{km} , тобто їх щільності

$$\varphi_{km}(d) = \lambda'_{km} e^{-\lambda'_{km} d}, \quad k = 1, 2, \quad m = 1, 2, 3.$$

Випадкові величини a_{kr} також розподілені експоненціально з параметрами λ''_{kr} , тобто їх щільності розподілу мають вигляд: $\psi_{kr}(a) = \lambda_{kr} e^{-\lambda_{kr} a}$, $k = 1, 2$, $r = 1, 2, 3$. Тоді величина v_r , згідно з формулою згортки (2.34), буде мати щільність розподілу

$$\psi'_r(v) = \frac{\lambda''_{1r} \lambda''_{2r}}{x_1 x_2 \left(\frac{\lambda''_{2r} v}{x_2} - \frac{\lambda''_{1r} v}{x_1} \right)} \left(e^{-\lambda''_{1r} v / x_1} - e^{-\lambda''_{2r} v / x_2} \right), r = 1, 2, 3.$$

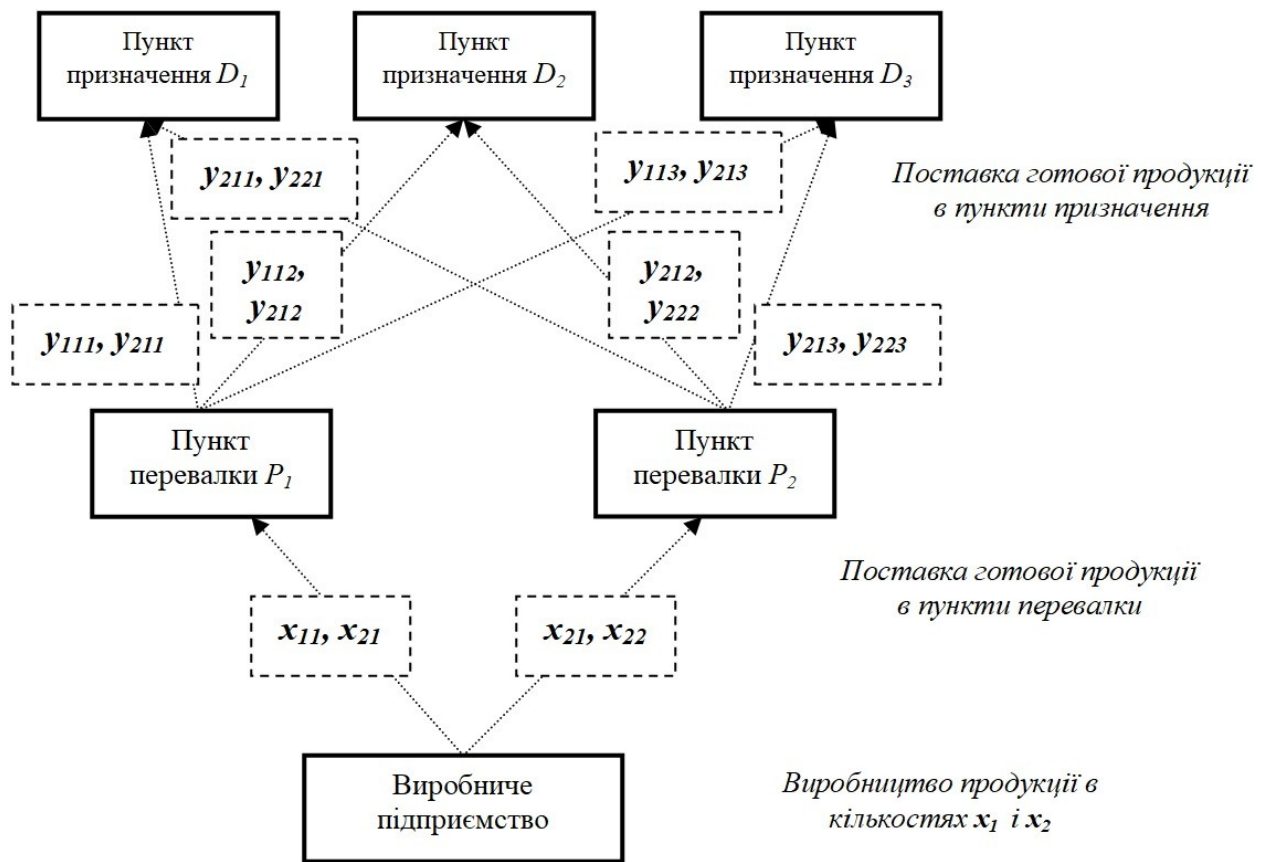


Рис. 2.3. Схема матеріальних потоків*

* розроблено автором

Параметри $\{x_k, x_{kn}, y_{knm}\}$ на рис. 2.3 визначають план виробництва і доставки продукції по розподільчих каналах.

У табл. Б.5 та табл. Б.6 додатку Б наведені необхідні для розрахунків значення та результати розрахунків, виконаних за допомогою пакета Excel.

Таким чином, продукція 1-го виду буде випущена в обсязі 120,38 одиниці: 91,72 одиниці надійде в пункт перевалки P_1 і 28,66 одиниці – в пункт P_2 . Вся випущена продукція 2-го виду (108,28 одиниць) буде доставлена в кінцеві пункти споживання через перевалочний пункт P_1 . В пункт призначення D_1 буде доставлено 20,06 одиниці продукції 1-го виду і 50,14 одиниць продукції 2-го виду через перевалочний пункт P_1 . 61,84 одиниці товару 1-го виду і 38,45 одиниці товару 2-го виду надійде в пункт D_2 через P_1 . Пункт споживання D_3 отримає 38,48 одиниці продукції 1-го виду (9,82 одиниці через пункт P_1 і 28,66 одиниці через P_2) і 19,69 одиниці продукції 2-го виду. При цьому витрати на виробництво, перевалку і перевезення продукції складуть 7929,4 грошових одиниць.

Отримана задача спільної оптимізації виробничого плану підприємства і плану доставки готової продукції з урахуванням випадкового коливання попиту на продукцію і випадкового коливання виробничих технологічних ліній значно важче в обчислювальному відношенні, ніж вихідна детермінована модель без урахування впливу зовнішніх і внутрішніх факторів, оскільки функція (2.35) не обов'язково увігнута по параметрам управління і не сепарабельна. Ліві частини обмежень (2.34) також являють собою не сепарабельну і не увігнуту функцію. В отриманій задачі спільної оптимізації глобальний мінімум може не збігатися з локальним. Для вирішення такого роду задач можуть бути використані відомі методи оптимізації першого і другого порядків.

Крім оптимізації планів виробництва і доставки готової продукції, отримані результати можуть бути використані також для розробки критерію доцільності страхування розглянутих ризиків. Для цього можна скористатися результатами робіт [87-89], [146], в яких аналізувалися ризики, викликані коливаннями ринкового попиту.

2.2 Моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок з урахуванням факторів невизначеності та фактора часу

Проблема управління запасами актуальна для всіх ланок ланцюга поставок. Оптимізація запасів важлива як для виробничих підприємств, так і для оптових фірм і пунктів роздрібної торгівлі. Ефективне управління запасами дозволяє задовольняти очікування споживачів, створюючи такі запаси комплектуючих і продукції, що максимізують чистий прибуток.

Розглянуті в п. 2.1 моделі спільної оптимізації виробничої програми підприємства та доставки готової продукції споживачам з урахуванням факторів внутрішньої і зовнішньої невизначеності є найпростішими моделями, вони не враховують зміну параметрів в часі, тобто є статичними. Проте ці моделі з деякими обмеженнями можуть використовуватися в практичній діяльності логістичних менеджерів (при наявності відповідного програмного забезпечення). Область їх практичного застосування обмежена тим, що в них не враховується, наприклад, процес поставки сировини на підприємство, можливість перевезення транспортом вантажів інших підприємств, перерозподіл вивільнених у процесі перевезення транспортних засобів між іншими схемами перевезень тощо.

В зв'язку з цим представляє також інтерес вивчення дискретних моделей зазначеного класу з врахуванням зміни параметрів в часі, в яких виробничий і перевізний процеси розглядаються на заданому горизонті планування, які враховували б коливання ринкового попиту, поведінку конкуруючих підприємств-виробників і транспортних підприємств [230], [227], [238].

Перейдемо тепер до розгляду моделей з врахуванням фактора часу (описаних, наприклад, в [143]), які дозволяють визначати оптимальну політику підприємств з виробництва та доставки товару на деякому заданому проміжку часу з урахуванням відомих значень попиту.

При побудові таких оптимізаційних моделей припустимо, що закупівля необхідних для виробництва ресурсів і комплектуючих відбувається в кінці попереднього періоду часу, а вивіз виготовлених комплектуючих і продукції – на початку кожного періоду, при цьому готова продукція буде перевозитися з підприємств-виробників відразу в кінцеві пункти D_1, D_2, \dots, D_M .

На основі статичної моделі (2.1)-(2.8) побудуємо модель оптимізації планів доставки і випуску продукції в ланцюгах поставок типу А з врахуванням фактора часу, коли розглядається S підприємств-постачальників, які виробляють комплектуючі для виробництва кінцевої продукції на єдиному підприємстві-виробнику. Підприємство-постачальник з номером s виготовляє L_s видів комплектуючих з R_s видів первинної сировини, напівфабрикатів та інших виробничих ресурсів, при цьому на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду необхідно затратити $a_{slr}^{(1)}$ сировини r -го виду $s = \overline{1, S}$, $l = \overline{1, L_s}$, $r = \overline{1, R_s}$.

Початковий запас ресурсу r -го виду на складі s -го підприємства-постачальника дорівнює q_{1sr} , причому $\sum_{r=1}^{R_s} q_{1sr} \leq E_{1s}$, де E_{1s} – ємність складу, $s = \overline{1, S}$. Вважається, що підприємства-постачальники виробляють різні комплектуючі.

Всі вироблені на підприємствах-постачальниках комплектуючі закупаються підприємством-виробником, яке випускає кінцеву продукцію K видів.

Місткість складу для зберігання комплектуючих дорівнює E_2 , початковий запас комплектуючих кожного виду – q_{2sl} , $\sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} q_{2sl} \leq E_2$. На виробництво одиниці кінцевої продукції k -го виду необхідно затратити $a_{slk}^{(2)}$ комплектуючих l -го виду, вироблених на s -му підприємстві-постачальнику $s = \overline{1, S}$, $l = \overline{1, L_s}$, $k = \overline{1, K}$.

Вироблена кінцева продукція надходить на склад ємністю E_3 , звідки вона повинна бути доставлена в M пунктів призначення D_1, D_2, \dots, D_M . Позначимо через d_{km} сумарний попит на горизонті планування T на продукцію k -го виду в пункті призначення D_m . Також припустимо, що на складі є запас готової продукції кожного виду q_{3k} , $\sum_{k=1}^K q_{3k} \leq E_3$. Для уникнення тривіальної ситуації будемо вважати, що початкова кількість продукції кожного виду не перевищує сумарний попит на цю продукцію:

$$q_{3k} < \sum_{m \in B_k} d_{km}, B_k = \{m \mid d_{km} > 0, m = \overline{1, M}\}, k = \overline{1, K}.$$

Схема матеріальних потоків в періоді t представлена на рис. 2.4.

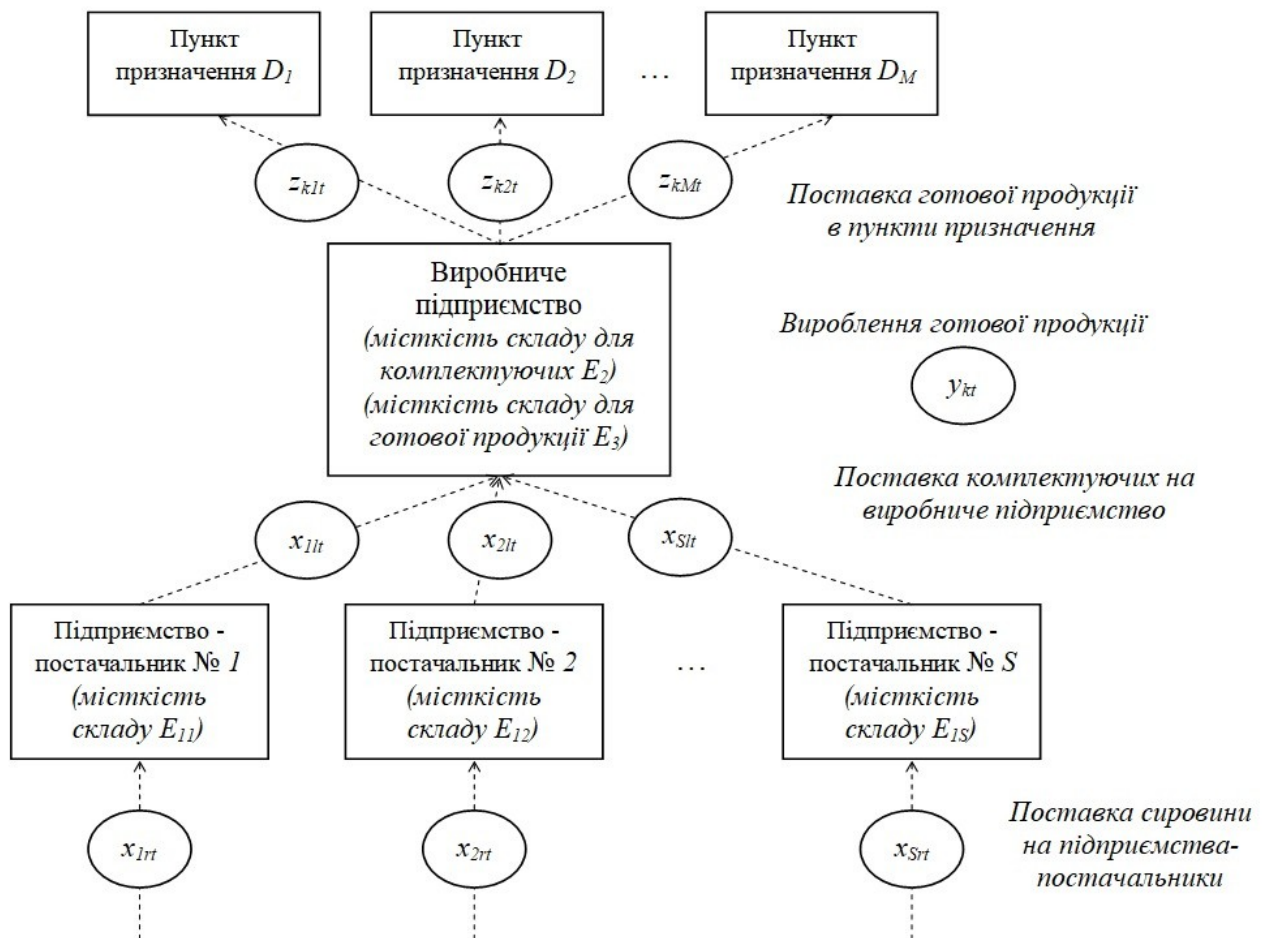


Рис. 2.4. Схема матеріальних потоків в періоді t^*

* розроблено автором

В якості параметрів управління розглянемо:

$x_{srt}^{(1)}$ – кількість ресурсів r -го виду, придбаних s -м підприємством-постачальником в періоді t ;

$x_{slt}^{(2)}$ – кількість комплектуючих l -го виду, запланована для випуску s -м підприємством-постачальником в періоді t ;

y_{kt} – кількість готової продукції k -го виду, запланована для випуску в періоді t ;

z_{kmt} – кількість готової продукції k -го виду, запланована для доставки зі складу підприємства в пункт призначення D_m .

При побудові математичної моделі припустимо, що закупівля необхідних для виробництва ресурсів і комплектуючих відбувається в кінці попереднього періоду часу, а вивіз виготовлених комплектуючих і продукції – на початку кожного періоду t , $\overline{t=1, T}$, де T – горизонт планування.

Сформулюємо обмеження.

Підприємство-постачальник для виробництва комплектуючих в перших t періодах використовує запаси ресурсів, які знаходяться на складі на початку кожного з періодів:

$$\sum_{l=1}^{L_s} \sum_{j=1}^t a_{slrj} x_{slj}^{(2)} \leq q_{1sr} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{srj}^{(1)}, \quad s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R_s}, t = \overline{1, T}. \quad (2.36)$$

На складі не може зберігатися ресурсів більше, ніж дозволяє місткість цього складу:

$$\sum_{r=1}^{R_s} q_{1sr} + \sum_{j=1}^t \sum_{r=1}^{R_s} x_{srj}^{(1)} - \sum_{j=1}^t \sum_{l=1}^{L_s} \sum_{r=1}^{R_s} a_{slrj} x_{slj}^{(2)} \leq E_{1s}, \quad s = \overline{1, S}, t = \overline{1, T}. \quad (2.37)$$

Виробництво на підприємстві-виробнику в перших t періодах має бути організоване з урахуванням наявності комплектуючих, які є на складі на початку кожного періоду:

$$\sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^K a_{slkj}^{(2)} y_{kj} \leq q_{2sl} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{slj}^{(2)}, \quad s = \overline{1, S}, l = \overline{1, L_s}, t = \overline{1, T}. \quad (2.38)$$

Обмеження, пов'язані з ємністю складу для зберігання комплектуючих:

$$\sum_{s=l=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} q_{2sl} + \sum_{j=1}^t \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} x_{slj}^{(2)} - \sum_{j=1}^t \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} \sum_{k=1}^K a_{slkj}^{(2)} y_{kj} \leq E_2, \quad t = \overline{1, T}. \quad (2.39)$$

Вивезення готової продукції з підприємства за t періодів не може перевищувати обсяг виробництва за попередні періоди:

$$\sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^K a_{slkj}^{(2)} y_{kj} \leq q_{2sl} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{slj}^{(2)}, \quad s = \overline{1, S}, l = \overline{1, L_s}, t = \overline{1, T}. \quad (2.40)$$

Зберігання продукції підприємством-виробником здійснюється з урахуванням місткості складу:

$$\sum_{k=1}^K q_{3k} + \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^K y_{kj} - \sum_{j=1}^t \sum_{m \in B_k} \sum_{k=1}^K z_{kmj} \leq E_3, \quad t = \overline{1, T}. \quad (2.41)$$

Потреби всіх пунктів призначення повинні бути задоволені:

$$\sum_{j=1}^T z_{kmj} = d_{km}, \quad k = \overline{1, K}, m \in B_k. \quad (2.42)$$

Умови невід'ємності всіх параметрів управління:

$$x_{srl}^{(1)}, x_{slt}^{(2)}, y_{kt}, z_{kmt} \geq 0, \quad \forall s, l, k, r, m. \quad (2.43)$$

Будемо вважати, що витрати на зберігання сировини ($h_{srt}^{(1)}$), комплектуючих ($h_{slt}^{(2)}$) і готової продукції ($h_{kt}^{(3)}$) пропорційні обсягами зберігання на складах.

Для запису цільової функції введемо додаткові умовні позначення:

$c_{srt}^{(1)}$ – витрати на закупівлю одиниці матеріалу r -го виду S -м підприємством у періоді t ,

$c_{slt}^{(2)}$ – витрати на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду S -м підприємством у періоді t ,

$c_{slt}^{(3)}$ – витрати на придбання та доставку одиниці комплектуючих l -го виду S -го підприємства в періоді t ,

$c_{kt}^{(4)}$ – витрати на виробництво одиниці готової продукції k -го виду в періоді t ,

$c_{kmt}^{(5)}$ – вартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду в періоді t в пункт призначення D_m .

Тоді сумарні витрати на закупівлю і зберігання матеріалів, виробництво, доставку і зберігання комплектуючих, випуск і доставку готової продукції від підприємства-виробника до пунктів призначення становитимуть:

$$\begin{aligned}
 C = \sum_{t=1}^T & \left\{ \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^{R_s} \left[c_{srt}^{(1)} x_{srt}^{(1)} + h_{srt}^{(1)} \left(q_{1sr} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{srt}^{(1)} - \sum_{j=1}^t \sum_{l=1}^{L_s} a_{slrj}^{(1)} x_{slt}^{(2)} \right) \right] + \right. \\
 & + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} \left[(c_{slt}^{(2)} + c_{slt}^{(3)}) x_{slt}^{(2)} + h_{slt}^{(2)} \left(q_{2sl} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{slt}^{(2)} - \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^K a_{slkj}^{(2)} y_{kj} \right) \right] + \\
 & \left. + \sum_{k=1}^K \left[c_{kt}^{(4)} y_{kt} + h_{kt}^{(3)} \left(q_{3k} + \sum_{j=1}^{t-1} y_{kj} - \sum_{j=1}^t \sum_{m \in B_k} z_{kmj} \right) \right] + \sum_{k=1}^K \sum_{m \in B_{sk}} c_{kmt}^{(5)} z_{kmt} \right\} \quad (2.44)
 \end{aligned}$$

Таким чином, ми прийшли до наступної задачі лінійного програмування: мінімізувати функцію (2.44) при умовах (2.36)-(2.43).

Описана задача оптимізації може бути вирішена за допомогою програми Excel.

Проведемо розрахунки для побудованої моделі оптимізації для випадку, коли металургійне підприємство планує свою діяльність на 4 місяці вперед ($T = 4$), випускає два види продукції (прокат, $K = 2$) з чавуну та сталі двох підприємств-постачальників ($S = 2$, $R_1 = R_2 = 2$, $L_1 = 2$, $L_2 = 1$) і доставляє свою продукцію в три пункти призначення – морські порти ($M = 3$).

Додаткові дані для розрахунків та отримані значення обсягів виробництва і перевезення вказані в табл. Б.7 і табл. Б.8 додатку Б.

Знайдено мінімальні витрати по всьому ланцюгу поставок, які складуть 30274,16 тис. грн.

Побудуємо тепер модель оптимізації для ланцюгів поставок типу V з врахуванням фактора часу, засновану на статичній моделі (2.14)-(2.21).

Як параметри управління будемо розглядати:

x_{lt} – кількість комплектуючих l -го виду, запланована для випуску підприємством-постачальником в періоді t ;

x_{slt} – кількість комплектуючих l -го виду, запланована для доставки на S -е виробниче підприємство в періоді t ;

y_{skt} – кількість готової продукції k -го виду, запланована для випуску на S -му підприємстві в періоді t ;

z_{skmt} – кількість готової продукції k -го виду, запланована для доставки зі складу S -го підприємства в пункт призначення D_m ;

q_{rt} – кількість ресурсів r -го виду, придбаних підприємством-постачальником в періоді t ;

e_{1r}, e_{2ls}, e_{3sk} – початкові запаси сировини, комплектуючих і готової продукції на складах;

E_1, E_{2s}, E_{3s} – місткості складів для зберігання закуплених ресурсів, вироблених комплектуючих і товару відповідно.

Очевидно, що $\sum_{r=1}^R e_{1r} \leq E_1$, $\sum_{l=1}^L e_{2ls} \leq E_{2s}$, $\sum_{k=1}^{K_s} e_{3sk} \leq E_{3s}$, $\sum_{k=1}^{K_s} e_{3sk} \leq E_{3s}$, $s = \overline{1, S}$.

Позначення для виробничих коефіцієнтів залишимо колишніми, забезпечивши їх індексом t .

Схема матеріальних потоків для побудованої моделі в періоді t представлена на рис. 2.5.

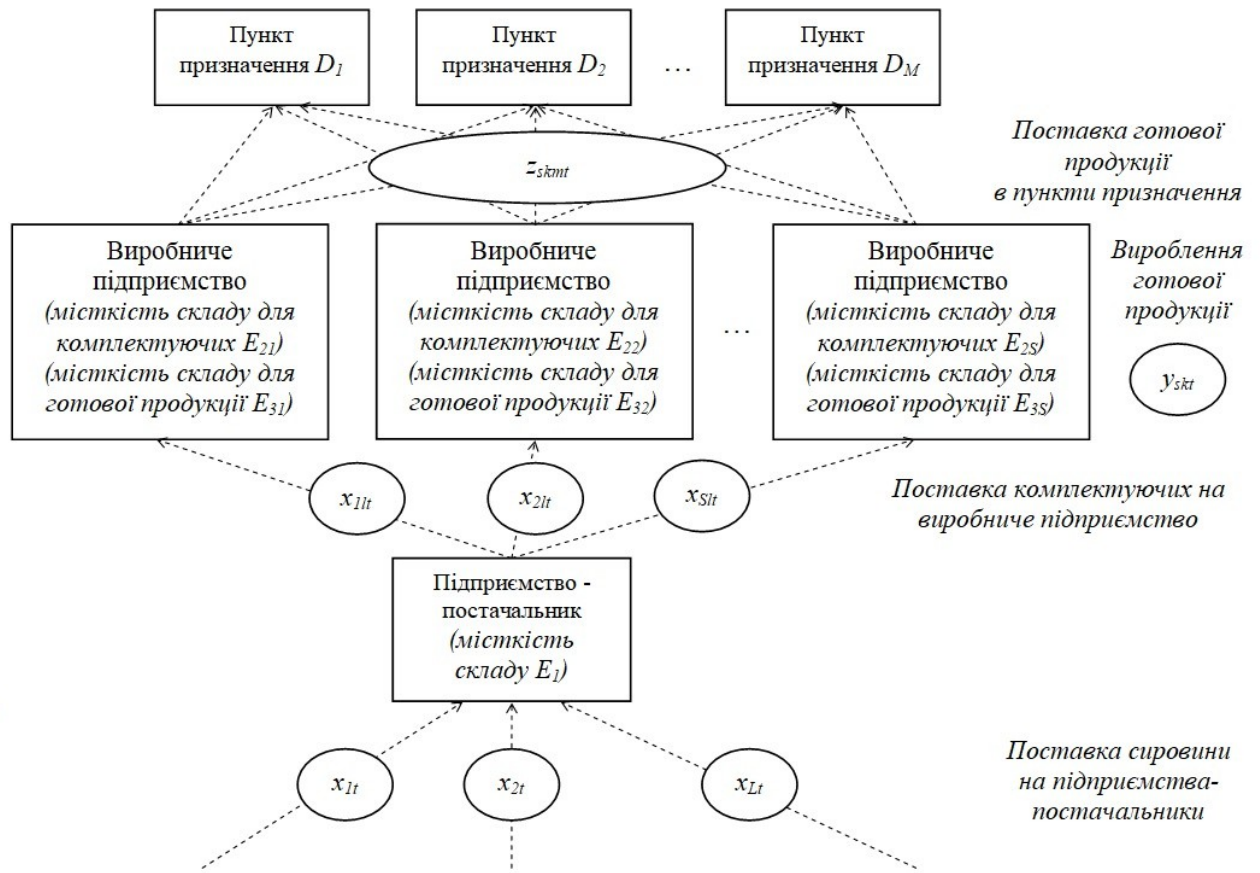


Рис. 2.5. Схема матеріальних потоків в періоді t

* розроблено автором

Також для уникнення тривіальної ситуації будемо вважати, що початкова кількість продукції кожного виду не перевищує сумарний попит на

цю продукцію: $e_{3sk} < \sum_{m \in B_{sk}} d_{skm}$, $s = \overline{1, S}$, $k = \overline{1, K_s}$.

Будемо вважати, що витрати на зберігання сировини ($h_{rt}^{(0)}$), комплектуючих ($h_{slt}^{(1)}$) і готової продукції ($h_{skt}^{(2)}$) пропорційні обсягами зберігання на складах.

Сформулюємо обмеження для динамічної моделі.

Підприємство-постачальник для виробництва комплектуючих в перших t періодах використовує запаси ресурсів, які знаходяться на складі на початку кожного з періодів:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^t a_{lj} x_{lj} \leq e_{1r} + \sum_{j=1}^{t-1} q_{rj}, \quad r = \overline{1, R}, t = \overline{1, T}. \quad (2.45)$$

На складі не може зберігатися ресурсів більше, ніж дозволяє місткість цього складу (в кожному періоді):

$$\sum_{r=1}^R e_{1r} + \sum_{j=r=1}^t \sum_{r=1}^R q_{rj} - \sum_{j=l=1}^t \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R a_{lj} x_{lj} \leq E_1, \quad t = \overline{1, T}. \quad (2.46)$$

У кожному періоді розподіл комплектуючих між підприємствами-виробниками повинен здійснюватися з урахуванням обсягів виробництва цих комплектуючих на заводі-виробнику:

$$x_{lt} = \sum_{s=1}^S x_{slt}, \quad l = \overline{1, L}, t = \overline{1, T}. \quad (2.47)$$

Сумарне виробництво на кожному з підприємств-виробників в перших t періодах має бути організоване з урахуванням наявності комплектуючих, які є на складі на початку кожного періоду:

$$\sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^{K_s} a_{slkj} y_{skj} \leq e_{2ls} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{slj}, \quad s = \overline{1, S}, l = \overline{1, L}, t = \overline{1, T}. \quad (2.48)$$

Обмеження, пов'язані з ємностями складів для зберігання комплектуючих:

$$\sum_{l=1}^L e_{2ls} + \sum_{j=1}^t \sum_{l=1}^L x_{slj} - \sum_{j=1}^t \sum_{l=k=1}^L \sum_{k=1}^{K_s} a_{slkj} y_{skj} \leq E_{2s}, s = \overline{1, S}, t = \overline{1, T}. \quad (2.49)$$

Вивезення готової продукції з кожного з підприємств за періодів не може перевищувати обсягу виробництва за попередні періоди:

$$\sum_{j=1}^t \sum_{m=1}^M z_{skmj} \leq e_{3sk} + \sum_{j=1}^{t-1} y_{skj}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s}, t = \overline{1, T}. \quad (2.50)$$

Зберігання продукції кожним підприємством-виробником здійснюється з урахуванням місткості складів:

$$\sum_{k=1}^{K_s} e_{3sk} + \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^{K_s} y_{skj} - \sum_{j=1}^t \sum_{m \in B_{sk}} \sum_{k=1}^{K_s} z_{skmj} \leq E_{3s}, s = \overline{1, S}, t = \overline{1, T}. \quad (2.51)$$

Потреби всіх пунктів призначення повинні бути задоволені:

$$\sum_{j=1}^T z_{skmj} = d_{skm}, m \in B_{sk}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s}. \quad (2.52)$$

Умови невід'ємності всіх параметрів управління:

$$x_{lt}, x_{slt}, y_{skt}, z_{skmt}, q_{rt} \geq 0, \forall s, l, k, r, m. \quad (2.53)$$

Для запису цільової функції введемо додаткові умовні позначення:

$c_{rt}^{(0)}$ – витрати на закупівлю одиниці матеріалу r -го виду в періоді t ,

$c_{lt}^{(1)}$ – витрати на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду в періоді t ,

$c_{slt}^{(2)}$ – витрати на придбання та доставку одиниці комплектуючих l -го виду S -м підприємством у періоді t ,

$c_{skt}^{(3)}$ – витрати на виробництво одиниці готової продукції k -го виду на S -му підприємстві в періоді t ,

$c_{skmt}^{(4)}$ – вартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду S -го підприємства в періоді t в пункт призначення D_m .

Тоді функція

$$\begin{aligned}
 C_T = & \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{r=1}^R \left[c_{rt}^{(0)} q_{rt} + h_{rt}^{(0)} \left(e_{1r} + \sum_{j=1}^{t-1} q_{rj} - \sum_{j=1}^t \sum_{l=1}^L a_{lrj} x_{lj} \right) \right] + \sum_{l=1}^L c_{lt}^{(1)} x_{lt} + \right. \\
 & + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L \left[c_{slt}^{(2)} x_{slt} + h_{slt}^{(1)} \left(e_{2sl} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{slj} - \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^{K_s} a_{slkj} y_{skj} \right) \right] + \\
 & + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \left[c_{skt}^{(3)} y_{skt} + h_{skt}^{(2)} \left(e_{3sk} + \sum_{j=1}^{t-1} y_{skj} - \sum_{j=1}^t \sum_{m \in B_{sk}} z_{skmj} \right) \right] + \\
 & \left. + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} c_{skmt}^{(4)} z_{skmt} \right\} \quad (2.54)
 \end{aligned}$$

відобразитиме сумарні витрати на закупівлю і зберігання матеріалів, виробництво і зберігання комплектуючих, випуск і доставку готової продукції від підприємств-виробників в пункти призначення.

Таким чином, ми прийшли до наступної задачі лінійного програмування: мінімізувати функцію (2.54) при умовах (2.45)-(2.53).

Представляє інтерес також задача максимізації загального прибутку всіх учасників ланцюга поставок. Для її вирішення в якості цільової функції можна розглядати функцію

$$P_T = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} p_{skmt} z_{skmt} - C_T. \quad (2.55)$$

Тут p_{skmt} – ціни, за якими в періоді t одиниця готової продукції k -го виду S -го підприємства продається в пункт призначення D_m , а C_T визначається за формулою (2.46).

Відзначимо, що в побудованих моделях величини попиту d_{skm} також можуть носити випадковий характер. У випадку, коли вони є незалежними

одна від одної неперервними випадковими величинами $d_{skm}(\omega)$ з щільністю розподілу $\varphi_{skm}(d)$, витрати, пов'язані з надлишком або нестачею товару, матимуть вигляд:

$$R_T = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{m \in B_{sk}} \left[q_{skm}^+ \int_0^{v_{skm}} (v_{skm} - u) \varphi_{skm}(u) du + q_{skm}^- \int_{v_{skm}}^{\infty} (u - v_{skm}) \varphi_{skm}(u) du \right], \quad (2.56)$$

де

$$v_{skm} = \sum_{t=1}^T z_{skmt}, \quad m \in B_{sk}, s = \overline{1, S}, k = \overline{1, K_s}. \quad (2.57)$$

Тоді детермінований еквівалент стохастичної задачі мінімізації сумарних витрат учасників ланцюга поставок з випадковим попитом буде зводиться до знаходження мінімуму опуклої функції $\bar{C}_T = C_T + R_T$ при умовах (2.45)-(2.51), (2.53), (2.57).

Для розв'язку задачі максимізації загального прибутку в якості цільової функції можна розглядати опуклу функцію $\bar{P}_T = P_T - R_T \rightarrow \max$. Тут значення C_T , P_T і R_T визначаються за формулами (2.54), (2.55) і (2.56).

Зазначимо, що в діяльності окремих ланок ланцюга, які представляють собою незалежні суб'єкти господарювання, можуть виникати фінансові ризики, пов'язані з взаємними розрахунками або з розподілом загального прибутку між ними. Одним з варіантів може бути розподіл прибутку P_T між учасниками ланцюга поставок (постачальниками сировини, виробничими підприємствами, транспортними підприємствами, пунктами споживання) пропорційно витратам, які представляють собою доданки функції C_T .

Перейдемо до побудови та аналізу дворівневої моделі оптимізації плану закупівлі фірмою-оптовиком товару і його розподілу між пунктами роздрібною торгівлі з врахуванням фактора часу.

Для такого спільного планування дій обох рівнів можна скористатися однією з модифікацій класичної динамічної моделі Вагнера-Уайтіна

оптимального управління запасами [212]. Зазначена модифікація стосується обліку наступних двох моментів, істотних з точки зору логістичних додатків:

- врахування, крім закупівлі товару фірмою-оптовиком у постачальників в кожен період заданого горизонту планування, також і доставки товару в пункти кінцевого споживання (або роздрібної торгівлі);

- врахування випадкових коливань попиту в пунктах роздрібної торгівлі на горизонті планування.

Сформулюємо модель оптимізації закупівлі і доставки товару зі складу фірми-оптовика в пункти роздрібної торгівлі.

Нехай оптова фірма в періоді t планує закупити у постачальників товар в кількості x_t кожен ($t = 1, 2, \dots, T$). Товар зберігається на складі місткістю E . У цьому ж періоді товар повинен бути доставлений в пункти роздрібної торгівлі D_1, D_2, \dots, D_N в кількостях $y_{nt}, n=1, 2, \dots, N$.

Припустимо, що попит на товар в періоді t в пункті D_n дорівнює d_{nt} , причому величини d_{nt} утворюють послідовність незалежних в сукупності випадкових величин з функціями розподілу $B_n(x) = \mathbf{P}\{d_{nt} \leq x\}, t = 1, 2, \dots, T$. Також будемо вважати, що місткості складів в пунктах роздрібної торгівлі D_n досить великі.

Введемо наступні позначення:

c_t – закупівельна ціна товару в періоді t , що включає в себе витрати на доставку товару на склад оптової фірми від постачальників;

r_{nt} – вартість транспортування одиниці товару в пункт роздрібної торгівлі D_n в періоді t ;

s_t – вартість зберігання одиниці товару на складі фірми в періоді t ;

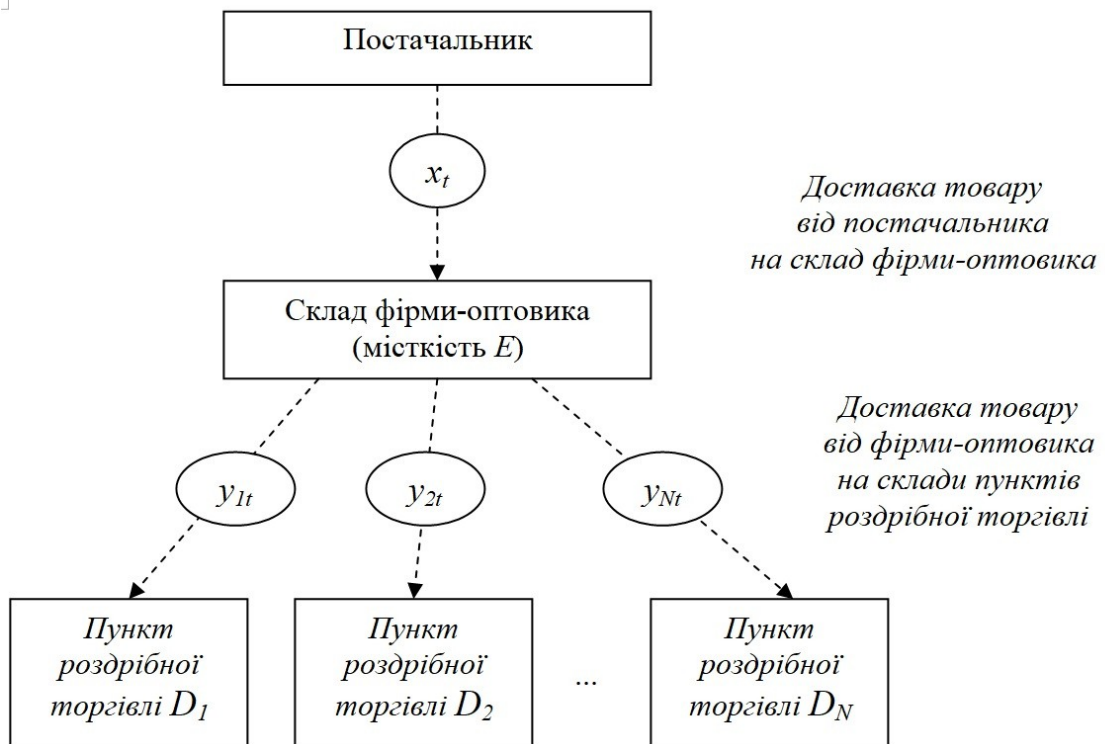
s_{nt} – вартість зберігання одиниці товару на складі пункту D_n в періоді t ;

p_{nt} – закупівельна ціна товару в пункті D_n в періоді t ;

q – початковий рівень запасу товару на складі фірми-оптовика;

q_n – початковий рівень запасу товару на складі пункту роздрібної торгівлі D_n .

Схема розподілу товару в періоді t представлена на рис. 2.6.

Рис. 2.6. Розподіл товару в періоді t^*

* розроблено автором

Визначимо рівень запасу товару на складі оптової фірми в періоді t (I_t). Очевидно, що для кожного з періодів справедливі наступні рівняння балансу запасів:

$I_0 = q$ – для $t = 0$ (початковий рівень запасу);

$I_1 = I_0 + x_1 - \sum_{n=1}^N y_{n1} = q + x_1 - \sum_{n=1}^N y_{n1}$ – для 1-го періоду;

$I_2 = I_1 + x_2 - \sum_{n=1}^N y_{n2} = q + x_1 + x_2 - \sum_{n=1}^N y_{n1} - \sum_{n=1}^N y_{n2}$ – для 2-го періоду;

$I_T = I_{T-1} + x_T - \sum_{n=1}^N y_{nT} = q + \sum_{t=1}^T x_t - \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N y_{nt}$ для періоду T .

Таким чином, в періоді t рівень запасів на складі фірми-оптовика складе:

$$I_t = q + \sum_{j=1}^t x_j - \sum_{j=1}^t \sum_{n=1}^N y_{nj}. \quad (2.58)$$

Хоча за перші j періодів фірма може закупити будь-яку кількість товарів, все ж вона не може зберігати на складі більше, ніж дозволяє вільна ємність, тобто необхідно дотримуватися умови $I_t \leq E$. Ця умова з урахуванням (2.58) набуде вигляду:

$$\sum_{j=1}^t x_j - \sum_{j=1}^t \sum_{n=1}^N y_{nj} \leq E - q, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (2.59)$$

Продаж товарів у пункти роздрібної торгівлі повинен проводитися за рахунок запасів, які є на складі на початок кожного періоду, тому збут товару

кожного виду в перших j періодах не може перевищувати величини $q + \sum_{j=1}^i x_j$,

тобто

$$-\sum_{j=1}^{t-1} x_j + \sum_{j=1}^t \sum_{n=1}^N y_{nj} \leq q, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (2.60)$$

Знайдемо рівень запасу товарів на складі пункту D_n в кінці кожного періоду t (I_{nt}):

$I_{n0} = q_n$ – початковий рівень запасу товару в пункті D_n ;

$I_{n1} = q_n + y_{n1} - d_{n1}$ – запас товару в пункті D_n в кінці 1-го періоду;

$I_{n2} = q_n + y_{n1} + y_{n2} - d_{n1} - d_{n2}$ – запас товару в пункті D_n в кінці 2-го періоду;

$I_{nT} = q_n + \sum_{t=1}^T y_{nt} - \sum_{t=1}^T d_{nt}$ – запас товару в пункті D_n в кінці періоду T .

З урахуванням вищевикладеного, отримаємо:

$$I_{nt} = q_n + \sum_{j=1}^t y_{nj} - \sum_{j=1}^t d_{nj}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (2.61)$$

Попит на товар в пунктах роздрібної торгівлі D_1, D_2, \dots, D_N буде задоволений товаром, який є на їх складах, при виконанні умови $d_{nt} \leq I_{n,t-1}$. З огляду на (2.61), отримаємо умови:

$$q_n + \sum_{j=1}^{t-1} y_{nj} \geq \sum_{j=1}^t d_{nj}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

які повинні виконуватися з високим ступенем ймовірності. Математично цей факт записується в такий спосіб:

$$\mathbf{P} \left\{ \sum_{j=1}^t d_{nj} \leq q_n + \sum_{j=1}^{t-1} y_{nj} \right\} \geq 1 - \varepsilon, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

де ε – задана мала ймовірність.

Ці умови можуть бути переписані у вигляді:

$$B_n^{(t)} \left(q_n + \sum_{j=1}^{t-1} y_{nj} \right) \geq 1 - \varepsilon, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (2.62)$$

Тут $B_n^{(t)}(x)$ – t -кратна згортка функцій розподілу $B_n(x)$ з собою.

Якщо умова $d_{nt} \leq I_{n,t-1}$ не виконується, то попит на товар в пункті D_n в періоді t перевищує рівень запасу на складі, тобто $d_{nt} > I_{n,t-1}$. В такому випадку логістична система буде нести збитки, викликані дефіцитом товару в пунктах роздрібної торгівлі. Розмір цих збитків складе: $p_{nt}(d_{nt} - I_{n,t-1})\mathbf{I}(d_{nt} > I_{n,t-1})$, де $\mathbf{I}(A)$ – індикатор події A .

У тому випадку, коли в періоді t на складі пункту D_n запас товару ненульовий, тобто виконується умова $I_{nt} > 0$, необхідно враховувати витрати на зберігання товару, які будуть дорівнювати значенню $s_{nt}I_{nt}\mathbf{I}(I_{nt} > 0)$.

Визначимо сумарний прибуток описаної логістичної системи на горизонті планування T :

$$\begin{aligned}
P = & \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (p_{nt} - r_{nt}) y_{nt} - \sum_{t=1}^T c_{mt} x_{mt} - \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T s_t \left(q + \sum_{j=1}^t x_j - \sum_{j=1}^t \sum_{n=1}^N y_{nj} \right) - \\
& - \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T s_{nt} \left(q_n + \sum_{j=1}^t y_{nj} - \sum_{j=1}^t d_{nt} \right) \mathbf{I}(I_{nt} > 0) - \\
& - \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T p_{nt} \left(\sum_{j=1}^t d_{nt} - q_n - \sum_{j=1}^{t-1} y_{nj} \right) \mathbf{I}(d_{nt} > I_{n,t-1}) \rightarrow \max.
\end{aligned} \tag{2.63}$$

Задача стохастичної оптимізації може бути сформульована наступним чином: знайти план закупівлі $\{x_t\}$ та доставки товару в пункти роздрібною торгівлі $\{y_{nt}\}$, який доставляє максимальне значення математичному сподіванню функції (2.63) і задовольняє умовам (2.60)-(2.62), а також умовами невід'ємності параметрів управління $x_t, y_{nt} \geq 0, \forall n, t$.

Для опису попиту в моделях управління запасами найбільш розумним, на думку багатьох дослідників, є гамма-розподіл, окремим випадком якого є розподіл Ерланга.

Розглянемо випадок, коли величини попиту розподілені за законом Ерланга k -го порядку, тобто функції розподілу $B_n(x) = 1 - e^{-\lambda_n x} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_n x)^i}{i!}$, а середнє значення випадкової величини, розподіленої за цим законом, дорівнює $\frac{k}{\lambda_n}$. Тоді t -кратна згортка функцій розподілу набуде вигляду:

$$B_n^{(t)}(x) = 1 - e^{-\lambda_n x} \sum_{i=0}^{kt-1} \frac{(\lambda_n x)^i}{i!}.$$

Дамо чисельну ілюстрацію побудованій моделі оптимізації для випадку, коли підприємство планує свою діяльність на 3 періоди вперед ($T=3$), в кожному з яких закуповує продукцію в кількостях x_1, x_2, x_3 і поставляє її в два пункти роздрібною торгівлі ($N=2$) [85].

Проведемо обчислення для чотирьох варіантів, що відповідають різним значенням параметра k в розподілі Ерланга. Як було зазначено раніше, параметри $\lambda_n^{(k)}$ можуть бути розраховані за наявними статистичними даними Y_1, Y_2, \dots, Y_n , які представляють собою фактичні розміри попиту на продукцію в пунктах призначення.

В табл. Б.9 та табл. Б.10 додатку Б представлені необхідні для розрахунків значення, а також значення отриманих параметрів управління: обсягів закупівлі $|x_t|$ і продажу $|y_{nt}|$.

В табл. 2.1 наведена структура загальних витрат і значення цільової функції для чотирьох варіантів розрахунків. Розрахунки виконані за допомогою пакету програм Excel.

Отримані результати показують, що зі збільшенням параметра k сумарний прибуток логістичної системи зростає. При цьому, якщо попит розподілений експоненціально ($k=1$), прибуток від продажу 398,07 од. товару складе 726,77 грн. У випадку, коли обсяги попиту мають розподіл Ерланга порядку $k>1$, меншій кількості реалізованого товару (348,64 од. для $k=2$, 326,24 од. для $k=3$, 313,14 од. для $k=4$) відповідають більші значення прибутку: 832,17 грн. для випадку $k=2$, 879,74 грн. для $k=3$ і 907,63 грн. для $k=4$).

Таблиця 2.1

Структура витрат і значення загального прибутку для оптимізаційної моделі логістичної мережі в умовах випадкового попиту*

Показники	Варіанти			
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$
Витрати на закупівлю товару, грн.	1684,80	1422,77	1304,07	1234,62
Витрати на зберігання, грн.	234,04	204,38	190,94	183,08
Витрати на транспортування, грн.	783,34	697,39	658,50	635,71
Дохід від продажу, грн.	3428,98	3156,71	3033,25	2961,05
Прибуток, грн.	726,77	832,17	879,74	907,63

*побудовано автором за розрахунками

Таким чином, більш точний прогноз попиту на товар дозволяє учасникам логістичної мережі збільшити загальний прибуток за рахунок скорочення запасів закупуваного для реалізації товару: зменшуються витрати на зберігання, транспортування та закупівлю.

Розроблена стохастична оптимізаційна модель дозволяє визначати оптимальну політику із закупівлі фірмою-оптовиком товару та його розподілу між пунктами роздрібною торгівлі на деякому горизонті планування з максимальним значенням сумарного прибутку.

На підставі описаних у розділі 2 моделей були розроблені методичні вказівки до розв'язку задачі «Оптимізація поставок сировини, випуску продукції підприємством і доставки готової продукції» (додаток В), які знайшли застосування у практичній діяльності підприємств. Основною метою методичних вказівок є підвищення ефективності управління функціонуванням ланцюга поставок і координації взаємодії його ланок на заданому горизонті планування. Використання методичних вказівок в практичній діяльності дасть можливість логістичному оператору не тільки підвищити ефективність своєї роботи, але також дозволяє аналізувати різні варіанти прийняття рішень щодо обсягів виробництва і доставки готової продукції кінцевому споживачеві залежно від зміни попиту на неї, проводити аналіз роботи інтегрованих ланцюгів поставок і вносити конкретні пропозиції щодо вдосконалення планування їх роботи.

Висновки за розділом 2

Результати дослідження, отримані у даному розділі, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Побудовані та проаналізовані статичні моделі планування взаємодії підприємств для різних конфігурацій ланцюгів поставок в рамках VАТ-класифікації в умовах невизначеності та ризику. В розроблених моделях мінімізуються сумарні витрати по всьому ланцюгу поставок, пов'язані з виробництвом і доставкою комплектуючих і готової продукції від підприємства-виробника до пунктів призначення, а також збитки, які виникають через незадоволення попиту (у випадку коливання попиту на продукцію або нестачі сировини для виробництва внаслідок коливання виробничих коефіцієнтів) та витрати на додаткове зберігання надлишку (коли запланована для виробництва кількість продукції перевищує встановлений попит).

2. Побудовані та проаналізовані моделі оптимального планування взаємодії підприємств в ланцюгах поставок, які враховують фактор часу та фактори зовнішньої (випадковий попит на продукцію в пунктах призначення) та внутрішньої (коливання виробничих коефіцієнтів) невизначеності. При формуванні цільової функції враховані економічні показники, які змінюються з часом, утворюючи таким чином потоки. Ці потоки є також інформаційними потоками, пов'язаними з надходженням інформації від постачальників до виробничих підприємств, від виробників до споживачів та в зворотних напрямках. Отримані моделі дозволяють планувати роботу ланцюга поставок на заданому горизонті планування.

3. Для всіх розроблених моделей оптимізації в роботі проведені розрахунки для випадку, коли величини попиту і виробничі коефіцієнти розподілені за законами Ерланга. Розрахунки показали, що наслідком неточно прогнозованого попиту є високі транспортні витрати, нереалізовані можливості продажу, що тягне за собою втрату прибутку. Більш точний

прогноз попиту на продукцію дозволяє учасникам логістичного ланцюга збільшити загальний прибуток за рахунок зменшення витрат на зберігання, транспортування та закупівлю. Всі розроблені в другому розділі моделі з деякими обмеженнями можуть використовуватися в практичній діяльності.

4. На підставі побудованих у розділі 2 моделей розроблені методичні вказівки до розв'язку задачі оптимізації поставок сировини, випуску продукції підприємством і доставки готової продукції, представлені в додатку В, які знаходять застосування у практичній діяльності підприємств і дозволяють підвищити ефективність управління функціонуванням ланцюга поставок і координації взаємодії між його ланками на заданому горизонті планування (з врахуванням фактора часу).

Проблема управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику тісно пов'язана з обґрунтуванням економічної доцільності страхування цих ризиків, тому отримані в другому розділі результати можуть бути основою для подальших досліджень. Наукова новизна даної проблематики полягає в необхідності розробки таких методів обґрунтування доцільності страхування ризиків, які б в рівній мірі не обмежували б інтереси як страховика, так і страхувальника, в якості якого виступає логістичний оператор.

Крім того, у зв'язку з поширенням на практиці концепції ланцюга поставок виникає безліч проблем, пов'язаних з їх моделюванням з урахуванням організації ефективної співпраці з партнерами, конкуренцією між постачальниками сировини, виробниками продукції і логістичними посередниками. Саме використання інновацій є вирішальним фактором успішної виробничої діяльності будь-якого підприємства. Впровадження інноваційних технологій розглядається як один з найголовніших способів підвищення конкурентоспроможності продукції, що виробляється, підтримки високих темпів розвитку і рівня прибутковості. Тому актуальним є дослідження впливу інноваційної стратегії підприємств на конкурентну боротьбу між ланцюгами поставок.

На практиці розрахунки, які стосуються планування взаємодії підприємств у ланцюгу поставок, робить оператор ланцюга поставок, він же контролює виконання оптимальних планів. Тому такий оператор повинен мати у своєму розпорядженні необхідну вихідну інформацію.

Таким чином, існує необхідність:

- вдосконалення методичних положення щодо кількісної оцінки та економічного обґрунтування доцільності страхування основних типів ризиків, які виникають при функціонуванні ланцюгів поставок;
- побудови оптимізаційних моделей, які враховують одночасно вплив інноваційної діяльності підприємств на придбання ними конкурентних переваг, поряд з використанням логістичної концепції ланцюгів поставок;
- вдосконалення організації управління логістичними ланцюгами поставок шляхом вдосконалення принципів організації збору та статистичної обробки інформації, що стосується управління ризиками.

Вирішенню цих питань присвячений заключний розділ дисертації.

РОЗДІЛ 3
ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ
ЩОДО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ ПЛАНУВАННІ РОБОТИ
ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК В РИНКОВИХ УМОВАХ

3.1 Методи оцінки ризиків при оптимізації плану роботи ланцюгів поставок різної конфігурації

Організація і планування роботи ланцюгів поставок пов'язані з необхідністю врахування різних видів ризику. До основних з них відносяться ризики порушення термінів і обсягів поставок, ризики перевиробництва готової продукції та упущеної вигоди через її недостатній випуск, труднощі з отриманням сировини, раптові відмови виробничого обладнання, коливання продуктивності робітників тощо. Тому при моделюванні логістичних систем і оптимізації спільних планів роботи різних ланок ланцюгів поставок важливо враховувати вплив як внутрішніх, так і зовнішніх факторів невизначеності.

При вирішенні задач управління ризиками доцільно використовувати досягнення сучасної теорії ризику, яка заснована на класичній теорії ймовірностей. Однак існуючі підходи до управління ризиками недостатньо враховують специфіку ланцюгів поставок, заснованих на управлінні матеріальними і фінансовими потоками на всьому протязі ланцюга. Цим обумовлена більш широка постановка проблеми, пов'язаної з координацією всіх видів потоків і управлінням фінансовими ризиками в діяльності ланцюгів поставок, а також необхідність розробки відповідних методів моделювання та дослідження.

Як було зазначено раніше, для управління ризиками в даний час розроблені різні прийоми і методи [68], [180], [206], [225]. З робіт, присвячених безпосередньо моделюванню ланцюгів поставок з урахуванням процесів ризику і процесів виробництва, перевезення і зберігання продукції,

які породжують їх, можна відзначити роботи [147], [212-213], [230]. В [146] наведено метод оцінки ризиків при оптимізації планування випуску продукції підприємством в умовах випадкового попиту. В [87] цей підхід був поширений для задач управління ризиком в ланцюгах поставок типу А з урахуванням спільної оптимізації планування виробництва і доставки готової продукції в пункти споживання при випадковому попиті (фактор зовнішньої невизначеності) з заданим законом розподілу. У статті [89] досліджена модель оптимізації виробничо-транспортного типу, що враховує також випадкові коливання продуктивностей технологічних ліній (фактор внутрішньої невизначеності).

Метою підрозділу 3.1 є поширення підходу, реалізованого в [146], для розв'язку задач управління ризиками на прикладі ланцюгів поставок різної конфігурації з урахуванням одночасного впливу факторів зовнішньої і внутрішньої невизначеності та розробка методів, які дозволяють кількісно оцінити економічну доцільність страхування ризику нестачі ресурсів для виробництва продукції внаслідок коливань продуктивностей технологічних ліній і ризиків, які виникають через випадкове коливання попиту на продукцію.

Звернемося до розглянутої в п. 2.1.1 моделі ланцюга постачань типу А (2.1)-(2.8), який включає кілька виробників, що виготовляють комплектуючі, і одне підприємство, яке споживає їхню продукцію (рис. 2.2)

Замість цільової функції (2.1) будемо розглядати максимізацію прибутку по всьому ланцюгу поставок:

$$\begin{aligned}
 S = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{km} y_k - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} c_{sl}^{(1)} x_{sl} - \sum_{k=1}^K c_k^{(2)} y_k - \\
 & - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{kn}^{(3)} z_{kn} - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_{knm}^{(4)} z_{knm} \rightarrow \max,
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

де через x_{sl} позначено кількість комплектуючих l -го виду, які запланувало до випуску підприємство-постачальник під номером s , при цьому на

виробництво одиниці комплектуючої l -го виду необхідно витратити $a_{slr}^{(1)}$ сировини виду r , а ресурс r -го виду на s -му підприємстві-постачальнику мається на кількості b_{sr} , $s = 1, \dots, S$, $l = 1, \dots, L_s$, $r = 1, \dots, R_s$; y_k – кількість готової продукції виду k , заплановане для випуску підприємством-виробником, причому на виробництво однієї одиниці продукції k -го виду необхідно затратити $a_{slk}^{(2)}$ комплектуючих l -го виду, вироблених на s -му підприємстві-постачальнику, $k = 1, \dots, K$; через z_{kn} позначено кількість готової продукції k -го виду, плановане для перевалки в пункті P_n з пропускною спроможністю w_n , $n = 1, \dots, N$; z_{knm} – кількість готової продукції k -го виду, яке планується доставити з перевалочного пункту P_n в пункт призначення D_m , d_{km} – потреба в продукції k -го виду в пункті призначення D_m , $m = 1, \dots, M$.

Підприємство планує реалізувати продукцію за ціною p_{km} , витрачаючи при цьому на виробництво однієї одиниці продукції k -го виду $c_k^{(2)}$ грошових одиниць. Витрати на виробництво одиниці комплектуючої l -го виду і її доставку від постачальника під номером s складають $c_{sl}^{(1)}$; $c_{kn}^{(3)}$ – вартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду, включаючи її перевалку, в пункт P_n ; $c_{knm}^{(4)}$ – вартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду з пункту P_n в пункт призначення D_m .

Як вже було зазначено, найчастіше попит на готову продукцію носить невизначений характер і може змінюватися в процесі випуску. Це тягне за собою можливі втрати, пов'язані з необхідністю зберігання надлишкової кількості внаслідок зменшення попиту, а також з недопоставкою товару через перевищення фактичного попиту планованого обсягу випуску.

В роботі [146] наводиться постановка і розв'язок задачі управління ризиком на прикладі класичної задачі оптимального планування виробництва промисловим підприємством при випадковому коливанні попиту на готову продукцію.

Ґрунтуючись на запропонованому підході, припустимо, що величина попиту на k -й вид продукції в пункті споживання з номером m є випадковою величиною $d_{km}(\omega)$ з відомою щільністю розподілу $\varphi_{km}(d)$, всі випадкові величини неперервні і незалежні одна від одної.

Позначимо через

$$v_{km} = \sum_{n=1}^N z_{knm}, \quad m = \overline{1, M}, k = \overline{1, K} \quad (3.2)$$

сумарну кількість готової продукції k -го виду, яка планується для доставки в пункт призначення D_m відповідно до плану, складеного до реалізації випадкового попиту $d_{km}(\omega)$.

Після реалізації випадкової величини $d_{km}(\omega)$ можуть виникнути такі варіанти. Якщо $v_{km} < d_{km}(\omega)$, то попит на продукцію не буде задоволений, і сума

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{km} \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km})$$

буде означати величину втрат підприємства через недоотримання прибутку. Тут p_{km} – продажна ціна одиниці продукції k -го виду пункту споживання D_m .

В протилежному випадку $v_{km} > d_{km}(\omega)$, тобто виникає необхідність у зберіганні надлишку продукції, і тоді сума

$$\sum_{k=1}^K s_k \sum_{m=1}^M \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)),$$

де s_k – вартість зберігання одиниці продукції, означатиме загальні втрати, пов'язаних з додатковим зберіганням на складі підприємства-виробника нереалізованої продукції різних видів.

Виникаючі ризики підприємство-виробник може страхувати або не страхувати. Якщо припустити, що за договором страхування збитки підприємства, пов'язані з коливаннями попиту, страховик зобов'язується відшкодувати повністю, то суми

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{km} \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) \text{ і}$$

$$\sum_{k=1}^K s_k \sum_{m=1}^M \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))$$

будуть являти собою розміри страхового відшкодування.

Нехай підприємство-виробник за одиницю відсутньої (дефіцитної) продукції k -го виду в пункті D_m виплачує страховій компанії страхові виплати у розмірі c_{km}^+ , а за одиницю нереалізованої (надлишкової) продукції – у розмірі c_k^- (припускаємо, що $p_{km} > c_{km}^+$ і $s_k > c_k^-$). Тоді сумарні виплати підприємства страховій компанії складуть:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[c_{km}^+ \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + c_k^- \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right].$$

У тому випадку, коли підприємство не страхує ризики, ця сума є розміром економії на страхуванні.

Якщо підприємство-виробник приймає рішення не страхувати ризики, то його можливий сумарний прибуток при планах випуску і перевезення $\{x_{sl}\}$, $\{y_k\}$, $\{z_{kn}\}$ і $\{z_{knn}\}$, що задовольняють умовам (2.2)-(2.8), (3.2) складатиме:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{нстп}} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) - \right. \\ & - (p_{km} - c_{km}^+) \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) - \\ & \left. - (s_k - c_k^-) \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] - S. \end{aligned} \quad (3.3)$$

У випадку страхування ризиків значення можливого прибутку підприємства дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \Pi_{cmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M & \left[p_{km} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) + \right. \\ & + (p_{km} - c_{km}^+) \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + \\ & \left. + (s_k - c_k^-) \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] - S, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де S визначається за формулою (3.1).

Π_{ncmp} (3.3) і Π_{cmp} (3.4) є випадковими величинами, вони можуть приймати і позитивні, і негативні значення. Для вирішення питання про страхування можна визначити математичне сподівання прибутку підприємства для двох варіантів його дії ($\mathbf{M}\Pi_{ncmp}$ і $\mathbf{M}\Pi_{cmp}$):

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\Pi_{ncmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M & \left[p_{km} \int_0^{\infty} \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du - \right. \\ & - (p_{km} - c_{km}^+) \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du - \\ & \left. - (s_k - c_k^-) \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du \right]. \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\Pi_{cmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M & \left[p_{km} \int_0^{\infty} \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du + \right. \\ & + (p_{km} - c_{km}^+) \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du + \\ & \left. + (s_k - c_k^-) \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du \right]. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Відзначимо, що $\mathbf{M}\Pi_{ncmp}$ і $\mathbf{M}\Pi_{cmp}$ (за певних умов) є опуклими по v_{km} функціями. Дійсно, продиференціюємо двічі по v_{km} $\mathbf{M}\Pi_{ncmp}$ і $\mathbf{M}\Pi_{cmp}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \mathbf{M}\Pi_{ncmp}}{\partial^2 v_{km}} &= -(2p_{km} - c_{km}^+ + s_k - c_k^-) \varphi_{km}(v_{km}), \\ \frac{\partial^2 (\mathbf{M}\Pi_{cmp})}{\partial^2 v_{km}} &= (s_k - c_k^- - c_{km}^+) \varphi_{km}(v_{km}). \end{aligned}$$

Очевидно, що $\mathbf{M}\Pi_{устр}$ є опуклою по v_{km} при $p_{km} > c_{km}^+$ і $s_k > c_k^-$ (раніше було обумовлено, що ці умови повинні виконувати для всіх значень k і m), а $\mathbf{M}\Pi_{стр}$ – у випадку, коли різниця між вартістю зберігання та страховими виплатами за одиницю надлишкової продукції менше страхових виплат за дефіцитну продукцію ($s_k - c_k^- < c_{km}^+$).

Тепер, вирішивши дві задачі максимізації з цільовими функціями (3.5) і (3.6), враховуючи обмеження (2.2)-(2.7), (3.2) і умову невід'ємності параметрів управління, рішення про страхування ризиків можна приймати у випадку виконання нерівності:

$$\mathbf{M}\Pi_{стр} > \mathbf{M}\Pi_{устр}. \quad (3.7)$$

Таке розв'язувальне правило є найпростішим. Для остаточного ухвалення рішення про страхування для випадкових величин $\Pi_{устр}$ і $\Pi_{стр}$ необхідно визначити дисперсію і коефіцієнт варіації, які характеризують міру мінливості очікуваного значення прибутку.

Можна показати, що для деякого фіксованого плану випуску продукції, що задовольняє умовам (2.2)-(2.8), (3.2), дисперсії $\mathbf{D}\Pi_{стр}(\bar{v})$ и $\mathbf{D}\Pi_{устр}(\bar{v})$ збігаються. Беручи до уваги, що всі випадкові величини незалежні одна від одної, а також враховуючи властивості дисперсії, отримаємо:

$$\begin{aligned} \mathbf{D}\Pi_{устр}(\bar{v}) &= \mathbf{D}\Pi_{стр}(\bar{v}) = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km}^2 \mathbf{D} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) + \right. \\ &+ (p_{km} - c_{km}^+)^2 \mathbf{D} \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + \\ &+ \left. (s_k - c_k^-)^2 \mathbf{D} \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] = \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left\{ \left(p_{km}^2 + (s_k - c_k^-)^2 \right) \left[\int_0^\infty (\min(v_{km}, u))^2 \varphi_{km}(u) du - \right. \right. \\ &- \left. \left. \left(\int_0^\infty \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du \right)^2 \right] + (p_{km} - c_{km}^+)^2 \left[\int_0^\infty (\max(v_{km}, u))^2 \varphi_{km}(u) du - \right. \right. \\ &- \left. \left. \left(\int_0^\infty \max(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du \right)^2 \right] \right\}. \end{aligned}$$

На основі порівняння коефіцієнтів варіації можна сформулювати наступне розв'язувальне правило, яке дозволяє встановити доцільність страхування ризиків підприємства, пов'язаних з можливим відхиленням запланованого обсягу випуску продукції від фактичного попиту на цю продукцію:

$$\frac{\sqrt{\mathbf{D}\Pi_{стр}(\vec{v}_{стр})}}{\max \mathbf{M}\Pi_{стр}} < \frac{\sqrt{\mathbf{D}\Pi_{нстр}(\vec{v}_{нстр})}}{\max \mathbf{M}\Pi_{нстр}}. \quad (3.8)$$

Тут $\vec{v}_{нстр}$ і $\vec{v}_{стр}$ – плани випуску продукції, що забезпечують максимальні значення $\mathbf{M}\Pi_{нстр}$ і $\mathbf{M}\Pi_{стр}$ відповідно. Відзначимо, що якщо виконується умова (3.8), то рішення про страхування нерідко приймається навіть при невиконанні умови (3.7).

Проведемо обчислення і проілюструємо застосування розробленого методу для встановлення доцільності страхування ризиків для задачі, вирішеної в п. 2.1.1, коли металургійне підприємство випускає два види металопрокату ($K=2$) з чавуну та сталі. Продукція підприємства доставляється в три пункти призначення (наприклад, Миколаївський, Одеський морські порти і порт «Ольвія», $M=3$) через два пункти перевалки ($N=2$).

В табл. Б.12 додатку Б представлені необхідні для розрахунків значення.

Розглянемо випадок, коли величини попиту $d_{km}(\omega)$ мають розподіл Ерланга n -го порядку, тобто щільності

$$\varphi_{km}(d) = \frac{d^{n-1}}{(n-1)! \theta_{km}^n} e^{-d/\theta_{km}}, \quad m = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}.$$

Запишемо в явному вигляді обмеження для розв'язку двох оптимізаційних задач:

– обмеження на використання запасів сировини для виробництва комплектуючих:

$$a_{111}^{(1)}x_{11} + a_{121}^{(1)}x_{12} \leq b_{11},$$

$$a_{112}^{(1)}x_{11} + a_{122}^{(1)}x_{12} \leq b_{12},$$

$$a_{211}^{(1)}x_{21} \leq b_{21},$$

$$a_{212}^{(1)}x_{21} \leq b_{22};$$

– обмеження на використання комплектуючих для виробництва продукції:

$$a_{111}^{(2)}y_1 + a_{112}^{(2)}y_2 \leq x_{11},$$

$$a_{121}^{(2)}y_1 + a_{122}^{(2)}y_2 \leq x_{12},$$

$$a_{211}^{(2)}y_1 + a_{212}^{(2)}y_2 \leq x_{21};$$

– обмеження, пов'язані з вивезенням всієї готової продукції зі складу підприємства-виробника:

$$z_{11} + z_{21} = y_1,$$

$$z_{12} + z_{22} = y_2;$$

– умови неперевищення пропускної здатності складів у пунктах перевалки:

$$z_{11} + z_{12} \leq w_1,$$

$$z_{21} + z_{22} \leq w_2;$$

– умови вивезення всієї продукції, яка надійшла в перевалочні пункти:

$$z_{111} + z_{112} = z_{11},$$

$$z_{121} + z_{122} = z_{12},$$

$$z_{211} + z_{212} = z_{21},$$

$$z_{221} + z_{222} = z_{22};$$

– умови доставки продукції в кінцеві пункти споживання:

$$\begin{aligned}v_{11} &= z_{111} + z_{121}, \\v_{12} &= z_{112} + z_{122}, \\v_{21} &= z_{211} + z_{221}, \\v_{22} &= z_{212} + z_{222}.\end{aligned}$$

Як було зазначено раніше, параметри розподілу можуть бути оцінені за наявними статистичними даними, для оцінки параметрів може бути застосована програма Microsoft Excel ([27], [115]).

Проведемо обчислення для трьох варіантів, відповідних різним значенням параметра n в розподілі Ерланга.

Якщо підприємство-виробник приймає рішення не страхувати ризики, то його можливий сумарний прибуток при $n=1$ (найбільший рівень невизначеності попиту) складе:

$$\begin{aligned}\text{МП}_{\text{нстп}} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \left[p_{km} \theta_{km} (1 - e^{-v_{km}/\theta_{km}}) - \right. \\ &\quad \left. - (p_{km} - c_{km}^+) \theta_{km} e^{-v_{km}/\theta_{km}} - (s_k - c_k^-) (v_{km} - \theta_{km} (1 - e^{-v_{km}/\theta_{km}})) \right].\end{aligned}$$

У протилежному випадку

$$\begin{aligned}\text{МП}_{\text{стп}} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \left[p_{km} \theta_{km} (1 - e^{-v_{km}/\theta_{km}}) + \right. \\ &\quad \left. + (p_{km} - c_{km}^+) \theta_{km} e^{-v_{km}/\theta_{km}} + (s_k - c_k^-) (v_{km} - \theta_{km} (1 - e^{-v_{km}/\theta_{km}})) \right].\end{aligned}$$

Для випадку $n=2$ маємо:

$$\begin{aligned}\text{МП}_{\text{нстп}} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \left[p_{km} (v_{km} e^{-v_{km}/\theta_{km}} - 2\theta_{km} e^{-v_{km}/\theta_{km}} + 2\theta_{km}) - \right. \\ &\quad \left. - (p_{km} - c_{km}^+) (v_{km} + 2\theta_{km}) e^{-v_{km}/\theta_{km}} - (s_k - c_k^-) (v_{km} + 2\theta_{km}) (1 + e^{-v_{km}/\theta_{km}}) \right], \\ \text{МП}_{\text{стп}} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \left[p_{km} (v_{km} e^{-v_{km}/\theta_{km}} - 2\theta_{km} e^{-v_{km}/\theta_{km}} + 2\theta_{km}) + \right. \\ &\quad \left. + (p_{km} - c_{km}^+) (v_{km} + 2\theta_{km}) e^{-v_{km}/\theta_{km}} + (s_k - c_k^-) (v_{km} + 2\theta_{km}) (1 + e^{-v_{km}/\theta_{km}}) \right].\end{aligned}$$

Якщо $n = 3$, то

$$\begin{aligned} \text{МП}_{\text{нстпр}} = \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 & \left[p_{km} \left(3\theta_{km} - \frac{v_{km}^2 + 4v_{km}\theta_{km} + 6\theta_{km}^2}{2\theta_{km}} \right) e^{-v_{km}/\theta_{km}} - \right. \\ & - \left(p_{km} - c_{km}^+ \right) \frac{v_{km}^2 + 4v_{km}\theta_{km} + 6\theta_{km}^2}{2\theta_{km}} e^{-v_{km}/\theta_{km}} - \\ & \left. - \left(s_k - c_k^- \right) \left(3\theta_{km} + v_{km} + \frac{v_{km}^2 + 4v_{km}\theta_{km} + 6\theta_{km}^2}{2\theta_{km}} \right) e^{-v_{km}/\theta_{km}} \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{МП}_{\text{нстпр}} = \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 & \left[p_{km} \left(3\theta_{km} - \frac{v_{km}^2 + 4v_{km}\theta_{km} + 6\theta_{km}^2}{2\theta_{km}} \right) e^{-v_{km}/\theta_{km}} + \right. \\ & + \left(p_{km} - c_{km}^+ \right) \frac{v_{km}^2 + 4v_{km}\theta_{km} + 6\theta_{km}^2}{2\theta_{km}} e^{-v_{km}/\theta_{km}} + \\ & \left. + \left(s_k - c_k^- \right) \left(3\theta_{km} + v_{km} + \frac{v_{km}^2 + 4v_{km}\theta_{km} + 6\theta_{km}^2}{2\theta_{km}} \right) e^{-v_{km}/\theta_{km}} \right]. \end{aligned}$$

Тепер, розв'язавши по дві задачі максимізації для кожного з трьох випадків значення параметра n , отримаємо значення математичного сподівання, середньоквадратичного відхилення і коефіцієнтів варіації для двох варіантів: страхування ризиків і відмови від страхування.

Розраховані значення цих величин представлені в табл. 3.1.

Відповідні значення обсягів виробництва та перевезень наведені в табл. Б.13 додатку Б.

Отримані результати показують, що для всіх значень параметра розподілу n рішення буде прийнято на користь страхування, так як цьому варіанту дій підприємства відповідають більше очікуване значення прибутку і менше значення коефіцієнта варіації.

Значення основних показників прибутку*

Найменування показників	Значення параметра n		
	$n=1$	$n=2$	$n=3$
Математичне сподівання прибутку у випадку відмови від страхування ризиків, тис. грн. $МП_{истр}$	1029,97	2495,37	3229,46
Математичне сподівання прибутку у випадку страхування ризиків, тис. грн. $МП_{стр}$	3993,85	5046,49	5429,53
Середньоквадратичне відхилення у випадку відмови від страхування ризиків, тис. грн. $\sqrt{DП_{истр}(\bar{v}_{истр})}$	2311,00	1710,13	1514,10
Середньоквадратичне відхилення у випадку страхування ризиків, тис. грн. $\sqrt{DП_{стр}(\bar{v}_{стр})}$	1994,69	1417,68	1293,25
Коефіцієнт варіації у випадку відмови від страхування ризиків, %, $\frac{\sqrt{DП_{истр}(\bar{v}_{истр})}}{\max МП_{истр}}$	224,4 %	68,5%	46,9 %
Коефіцієнт варіації у випадку страхування ризиків, %, $\frac{\sqrt{DП_{стр}(\bar{v}_{стр})}}{\max МП_{стр}}$	49,9 %	28,1 %	23,8 %

*побудовано автором за розрахунками

Також, вибираючи варіант страхування, підприємство має можливість виробити і реалізувати менший обсяг продукції з більшим прибутком. Наприклад, для $n=3$ обсяг виробництва у випадку відмови від страхування складе 643,07 тис. т металопрокату, прибуток від його реалізації – 3229,46 тис. грн., а для варіанта страхування очікуване значення прибутку – 5429,53 тис. грн. при відповідному обсязі випуску продукції 487,23 тис. т.

Крім того, зі збільшенням параметра n сумарний прибуток, пов'язаний з виробництвом, перевезенням і реалізацією продукції, збільшується, що говорить про необхідність складання точного прогнозу очікуваного попиту по всьому ланцюгу поставок.

Повернемося до статичної моделі оптимізації плану випуску комплектуючих, готової продукції і доставки виробленої продукції зі складу підприємства в пункти призначення через деякі пункти перевалки (ланцюг поставок типу А) (3.1), (2.2)-(2.8), яка була розглянута в п.2.1.

Величини попиту $d_{km}(\omega)$ в моделі розглядалися як неперервні взаємно незалежні випадкові величини з заданими щільностями розподілу $\varphi_{km}(d)$, що тягне за собою ризики виникнення втрат, пов'язаних з додатковим зберіганням на складі підприємства-виробника нереалізованої продукції, а також ризики недоотримання прибутку внаслідок незадоволення попиту на товар. Тоді величини v_{km} , визначені за формулою (3.2) означатимуть сумарну кількість готової продукції k -го виду, заплановану для доставки в пункт призначення D_m відповідно до плану, складеного до реалізації випадкового попиту.

У статті [89] показано, як при розв'язку задачі оптимізації може бути врахований вплив факторів зовнішньої невизначеності. Застосуємо цей підхід.

Виробничі коефіцієнти $a_{slr}^{(1)}$ і $a_{slk}^{(2)}$ будемо вважати випадковими величинами з відомими законами розподілу $\psi_{slr}^{(1)}(a)$ і $\psi_{slk}^{(2)}(a)$ відповідно. Тоді щільності випадкових величин $v_{sr}^{(1)} = \sum_{l=1}^{L_s} a_{slr}^{(1)} x_{sl}$ і $v_{sl}^{(2)} = \sum_{k=1}^K a_{slk}^{(2)} y_k$ за умови, що $a_{slr}^{(1)}$ і $a_{slk}^{(2)}$ – незалежні в сукупності випадкові величини, можуть бути знайдені з використанням правила знаходження щільності розподілу суми незалежних випадкових величин:

$$\psi_{sr}^{(1)}(v) = \psi_{s1r} \left(\frac{v}{x_{s1}} \right) * \psi_{s2r} \left(\frac{v}{x_{s2}} \right) * \dots * \psi_{sL_s r} \left(\frac{v}{x_{sL_s}} \right), \quad (3.9)$$

$$\psi_{sl}^{(2)}(v) = \psi_{sl1} \left(\frac{v}{y_1} \right) * \psi_{sl2} \left(\frac{v}{y_2} \right) * \dots * \psi_{slK} \left(\frac{v}{y_K} \right), \quad (3.10)$$

де символ $*$ означає згортку щільностей.

Обмеження (2.2)-(2.3) в такому випадку приймуть імовірнісний характер і матимуть вигляд:

$$\int_0^{b_{sr}} \psi_{slr}^{(1)}(v) dv \geq 1 - \varepsilon, r = 1, \dots, R_s, s = 1, \dots, S, \quad (3.11)$$

$$\int_0^{x_{sl}} \psi_{slk}^{(2)}(v) dv \geq 1 - \varepsilon, l = 1, \dots, L_s, s = 1, \dots, S, \quad (3.12)$$

де ε – задана мала ймовірність.

Використаємо ці результати і знайдемо можливий прибуток підприємства-виробника для випадку, коли приймається рішення про страхування можливих ризиків, і для випадку відмови від страхування.

Припустимо, що між підприємством-виробником готової продукції і страховою компанією складений договір про страхування, за яким страховик зобов'язується повністю компенсувати ризики, що виникають в результаті коливань попиту на продукцію і виробничих коефіцієнтів.

Нехай c_{km}^+ і c_k^- будуть позначати відповідно виплати підприємства страхової компанії за одиницю якої бракує продукції і за одиницю нереалізованої, причому $p_{km} > c_{km}^+$, $s_k > c_k^-$, де s_k – вартість зберігання на складі одиниці нереалізованої продукції.

Введемо також в розгляд величини c_{sr}^b і c_{sl}^x , які означатимуть виплати за одиницю дефіцитної сировини і відсутньої комплектуючої відповідно: $\pi_{sr} > c_{sr}^b$, $c_{sl}^{(1)} > c_{sl}^x$, де π_{sr} – плата за придбання додаткової одиниці сировини r -го виду для s -го підприємства-постачальника.

Тоді у випадку страхування ризиків, які виникають через дефіцит сировини і випадкового коливання попиту на продукцію, суми

$$\begin{aligned} & \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R c_{sr}^b \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}), \\ & \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^x \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}), \\ & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{km} \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}), \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M s_k \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))$$

будуть представляти собою розміри страхового відшкодування, яке може отримати підприємство, а виплати підприємства страховій компанії складуть:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[c_{km}^+ \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + c_k^- \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] + \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R \tau_{sr} \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}). \end{aligned}$$

У тому випадку, коли підприємство приймає рішення не страхувати ризики, остання сума буде розміром економії на страхуванні.

Якщо підприємство-виробник не страхує ризики, то його можливий сумарний прибуток при планах випуску і перевезення $\{x_{sl}\}$, $\{y_k\}$, $\{z_{kn}\}$ і $\{z_{knm}\}$, що задовольняють умовам (2.4)-(2.6), (2.8), (3.2), (3.11)-(3.12) складе:

$$\begin{aligned} \Pi_{ncmp} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) - (p_{km} - c_{km}^+) \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) - \right. \\ & \left. - (s_k - c_k^-) \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\tau_{sr} - c_{sr}^b) \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) - \\ & - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}) - R, \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\text{де } R = \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} x_{sl} + \sum_{k=1}^K c_k^{(2)} y_k + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{kn}^{(3)} z_{kn} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_{knm}^{(4)} z_{knm}.$$

У тому випадку, коли підприємство приймає рішення про страхування, можливий прибуток підприємства дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \Pi_{cmp} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) + (p_{km} - c_{km}^+) \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + \right. \\ & \left. + (s_k - c_k^-) \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\tau_{sr} - c_{sr}^b) \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) + \end{aligned}$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}) - R. \quad (3.14)$$

$\Pi_{нстр}$ (3.13) і $\Pi_{стр}$ (3.14) є випадковими величинами, які можуть приймати як позитивні, так і негативні значення.

Для вирішення питання про страхування можна визначити математичне сподівання прибутку підприємства для двох варіантів його дії ($\mathbf{МП}_{стр}$ і $\mathbf{МП}_{нстр}$):

$$\begin{aligned} \mathbf{МП}_{нстр} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} \int_0^{\infty} \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du - \right. \\ & \left. - (p_{km} - c_{km}^+) \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du - (s_k - c_k^-) \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du \right] - \\ & - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\tau_{sr} - c_{sr}^b) \int_{b_{sr}}^{\infty} (u - b_{sr}) \psi_{sr}^{(1)}(u) du - \\ & - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \int_{x_{sl}}^{\infty} (u - x_{sl}) \psi_{sl}^{(2)}(u) du - R, \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{МП}_{стр} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} \int_0^{\infty} \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du + \right. \\ & \left. + (p_{km} - c_{km}^+) \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du + (s_k - c_k^-) \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du \right] + \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\tau_{sr} - c_{sr}^b) \int_{b_{sr}}^{\infty} (u - b_{sr}) \psi_{sr}^{(1)}(u) du + \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \int_{x_{sl}}^{\infty} (u - x_{sl}) \psi_{sl}^{(2)}(u) du - R. \end{aligned} \quad (3.16)$$

Тепер, розв'язавши дві задачі максимізації з цільовими функціями (3.15) і (3.16), з огляду на обмеження (2.4)-(2.6), (2.8), (3.2), (3.11)-(3.12), рішення про страхування ризиків можна приймати в випадку виконання нерівності:

$$\mathbf{МП}_{стр} > \mathbf{МП}_{нстр}.$$

Це розв'язувальне правило є найпростішим.

Для остаточного прийняття рішення про страхування для випадкових величин $\Pi_{нстпр}$ і $\Pi_{стпр}$ необхідно визначити дисперсію і коефіцієнт варіації, які характеризують міру коливання очікуваного значення прибутку.

Можна показати, що для деякого фіксованого плану випуску і перевезення продукції $\{\bar{x}_{sl}, \bar{y}_k, \bar{z}_{kn}, \bar{z}_{km}\}$ дисперсії $\mathbf{D}\Pi_{нстпр}$ і $\mathbf{D}\Pi_{стпр}$ збігаються.

З огляду на те, що всі випадкові величини $d_{km}(\omega)$, $a_{slr}^{(1)}$, $a_{slk}^{(2)}$ незалежні одна від одної, а також користуючись властивостями дисперсії, отримаємо:

$$\begin{aligned} \mathbf{D}\Pi_{стпр} &= \mathbf{D}\Pi_{нстпр} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km}^2 \mathbf{D} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) + \right. \\ &+ \left. (p_{km} - c_{km}^+)^2 \mathbf{D} \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + (s_k - c_k^-)^2 \mathbf{D} \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega)) \right] + \\ &+ \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\tau_{sr} - c_{sr}^b)^2 \mathbf{D} \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x)^2 \mathbf{D} \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}) = \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left\{ \left(p_{km}^2 + (s_k - c_k^-)^2 \right) \left[\int_0^\infty (\min(v_{km}, u))^2 \varphi_{km}(u) du - \left(\int_0^\infty \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du \right)^2 \right] + \right. \\ &+ \left. (p_{km} - c_{km}^+)^2 \left[\int_0^\infty (\max(v_{km}, u))^2 \varphi_{km}(u) du - \left(\int_0^\infty \max(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du \right)^2 \right] \right\} + \\ &+ \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\tau_{sr} - c_{sr}^b)^2 \left[\int_0^\infty (\max(u, b_{sr}))^2 \psi_{sr}^{(1)}(u) du - \left(\int_0^\infty \max(u, b_{sr}) \psi_{sr}^{(1)}(u) du \right)^2 \right] + \\ &+ \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x)^2 \left[\int_0^\infty (\max(u, x_{sl}))^2 \psi_{sl}^{(2)}(u) du - \left(\int_0^\infty \max(u, x_{sl}) \psi_{sl}^{(2)}(u) du \right)^2 \right]. \end{aligned}$$

Як і вище, на основі порівняння коефіцієнтів варіації можна сформулювати наступне розв'язувальне правило, яке дозволяє встановити доцільність страхування ризиків підприємства, пов'язаних з можливим відхиленням запланованого обсягу випуску продукції від фактичного попиту на цю продукцію, а також з нестачею сировини для виробництва:

$$\frac{\sqrt{\mathbf{D}\Pi_{стпр}(\bar{X}_{стпр})}}{\max \mathbf{M}\Pi_{стпр}} < \frac{\sqrt{\mathbf{D}\Pi_{нстпр}(\bar{X}_{нстпр})}}{\max \mathbf{M}\Pi_{нстпр}} \quad (3.17)$$

де $(\bar{X}_{нстр})$ і $(\bar{X}_{стр})$ – плани випуску і перевезення продукції, які забезпечують максимальні значення $МП_{стр}$ і $МП_{нстр}$ відповідно. Відзначимо, що якщо виконується умова (3.17), то рішення про страхування нерідко приймається навіть при невиконанні умови $МП_{стр} > МП_{нстр}$.

Проведемо обчислення і проілюструємо застосування розробленого методу для встановлення доцільності страхування ризиків для задачі випуску металургійним підприємством металопрокату ($K=2$) з чавуну та сталі та доставки її в пункти призначення (морські порти), розглянутої в п. 2.1.

Відзначимо, що для опису попиту в моделях управління запасами найбільш розумним, на думку багатьох дослідників, є гамма-розподіл, окремим випадком якого є розподіл Ерланга: величини попиту $d(\omega)$ мають щільність $\varphi(d) = \frac{\lambda^n d^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda d}$ (у випадку $n=1$ розподіл Ерланга збігається з експоненціальним розподілом). Розглянемо випадок, коли величини попиту $d_{km}(\omega)$ мають експоненціальний розподіл з параметрами λ'_{km} , тобто їх щільності $\varphi_{km}(d) = \lambda'_{km} e^{-\lambda'_{km} d}$, $k=1,2$, $m=1,2$.

Випадкові величини $a_{slr}^{(1)}$ і $a_{slk}^{(2)}$ також розподілені експоненціально з параметрами $\lambda_{slr}^{(1)}$ і $\lambda_{slk}^{(2)}$, тобто їх щільності розподілу мають вигляд: $\psi_{slr}^{(1)}(a) = \lambda_{slr}^{(1)} e^{-\lambda_{slr}^{(1)} a}$, $\psi_{slk}^{(2)}(a) = \lambda_{slk}^{(2)} e^{-\lambda_{slk}^{(2)} a}$, $s=1,2$, $l=1,2$, $k=1,2$, $r=1,2$.

Тоді величини $v_{sr}^{(1)}$ і $v_{sl}^{(2)}$, згідно з формулами згортки (3.9) і (3.10), будуть мати щільності розподілу:

$$\psi_{sr}^{(1)}(v) = \frac{\lambda_{s1r}^{(1)} \lambda_{s2r}^{(1)} x_1 x_2}{x_1 \lambda_{s2r}^{(1)} - x_2 \lambda_{s1r}^{(1)}} \left(e^{-\lambda_{s1r}^{(1)} v / x_1} - e^{-\lambda_{s2r}^{(1)} v / x_2} \right), \quad s=1,2, \quad r=1,2,$$

$$\psi_{sl}^{(2)}(v) = \frac{\lambda_{s1l}^{(2)} \lambda_{s2l}^{(2)} x_1 x_2}{x_1 \lambda_{s2l}^{(2)} - x_2 \lambda_{s1l}^{(2)}} \left(e^{-\lambda_{s1l}^{(2)} v / x_1} - e^{-\lambda_{s2l}^{(2)} v / x_2} \right), \quad s=1,2, \quad l=1,2.$$

Як було зазначено, параметри розподілів можуть бути оцінені за наявними статистичними даними.

В табл. Б.14 додатку Б представлені необхідні для розрахунків значення, для двох варіантів оптимізації: зі страхуванням ризиків і при відмові від страхування.

Отримані результати, наведені в табл. Б.15 додатку Б, показують, що в даному прикладі рішення буде прийнято на користь страхування ризиків, так цьому варіанту дій підприємства відповідають більше очікуване значення прибутку і менше значення коефіцієнта варіації.

В табл. 3.2 надані значення основних показників прибутку: значення математичного сподівання, середньоквадратичного відхилення і коефіцієнтів варіації для двох варіантів дії.

Таблиця 3.2

Значення основних показників прибутку для методу оцінки ризиків в ланцюгах поставок типу А*

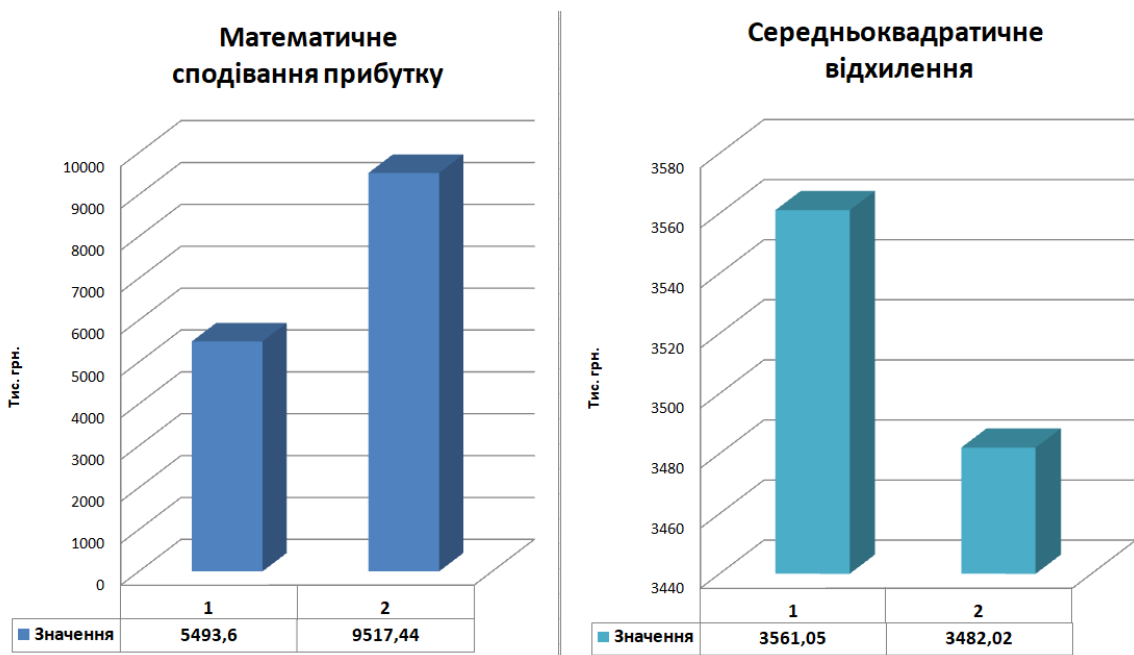
Найменування показників	Значення показників
Математичне сподівання прибутку у випадку відмови від страхування ризиків, тис. грн., $МП_{нстр}$	5493,60
Математичне сподівання прибутку у випадку страхування ризиків, тис. грн., $МП_{стр}$	9517,44
Середньоквадратичне відхилення у випадку відмови від страхування ризиків, тис. грн., $\sqrt{DП_{нстр}}(\bar{v}_{нстр})$	3561,05
Середньоквадратичне відхилення у випадку страхування ризиків, тис. грн., $\sqrt{DП_{стр}}(\bar{v}_{стр})$	3482,02
Коефіцієнт варіації у випадку відмови від страхування ризиків, %, $\frac{\sqrt{DП_{нстр}}(\bar{v}_{нстр})}{\max МП_{нстр}}$	64,8
Коефіцієнт варіації у випадку страхування ризиків, %, $\frac{\sqrt{DП_{стр}}(\bar{v}_{стр})}{\max МП_{стр}}$	36,6

*побудовано автором за розрахунками

Порівняння основних показників прибутку представлено на рис. 3.1.

Крім того, вибираючи варіант страхування, підприємство має можливість виробити і реалізувати менший обсяг продукції з більшим прибутком. Наприклад, обсяг випуску продукції у випадку відмови від страхування складе 325,87 тис. т, очікуване значення прибутку від її реалізації – 5493,60 тис. грн., а для варіанту страхування прибуток складе 9517,44 тис. грн., при відповідному обсязі виробництва 297,12 тис. т (рис. 3.2).

Розрахунки також показують, що зі збільшенням параметра n в розподілі Ерланга сумарний прибуток, пов'язаний з виробництвом, перевезенням і реалізацією продукції, збільшується, що говорить про необхідність складання точного прогнозу очікуваного попиту по всьому ланцюгу поставок; наслідком неточно прогнозованого попиту є високі транспортні витрати, нереалізовані можливості продажів, що тягне за собою втрату прибутку [88].



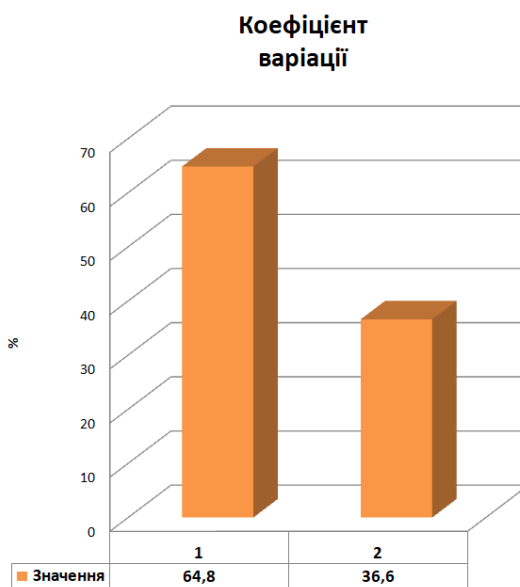


Рис. 3.1 – Значення основних показників прибутку для випадків страхування та відмови від страхування*:

- 1 - випадок, коли приймається рішення про страхування можливих ризиків
2 - випадок, коли приймається рішення про відмову від страхування

*побудовано автором за розрахунками

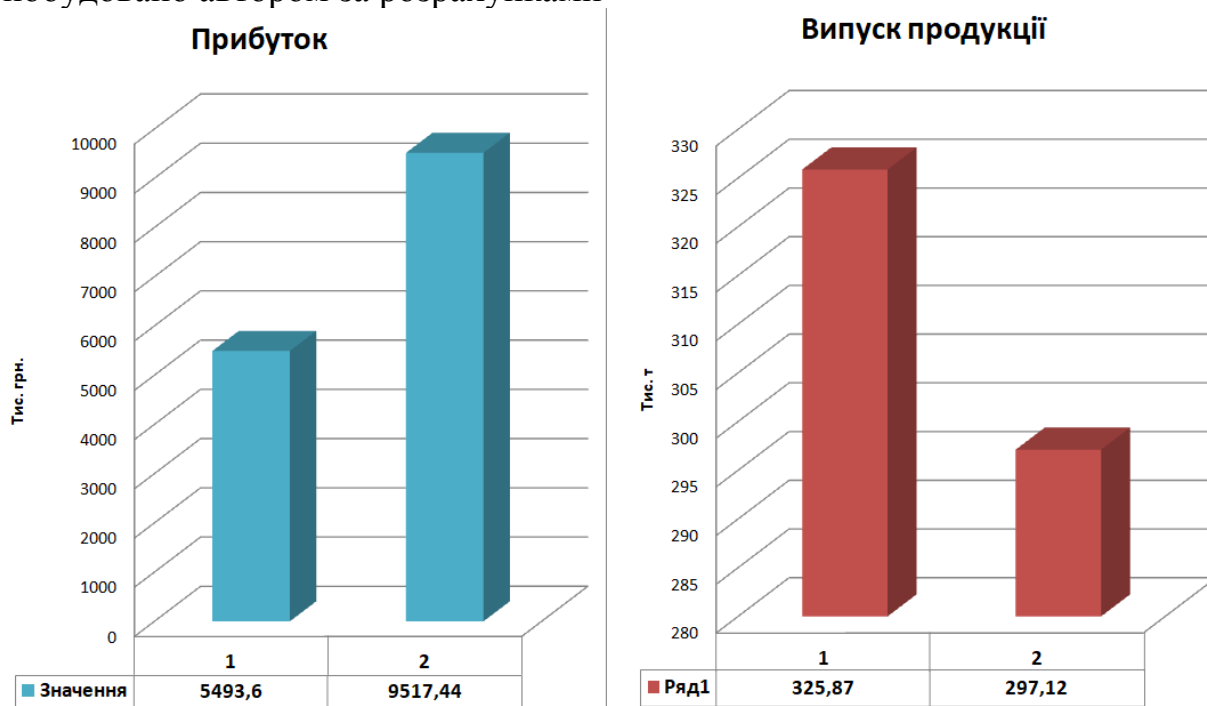


Рис. 3.2. Значення обсягів випуску продукції і загального прибутку для випадків страхування та відмови від страхування*

*побудовано автором за розрахунками

Вже згадана задача спільної оптимізації плану випуску комплектуючих, готової продукції і доставки виробленої продукції зі складу підприємства в пункти призначення через пункти перевалки з урахуванням випадкового коливання попиту на продукцію і коливання продуктивностей технологічних ліній значно важче в обчислювальному відношенні, ніж вихідна модель без урахування впливу зовнішніх і внутрішніх факторів, описана в п. 2.1, оскільки цільові функції (3.15)-(3.16) не обов'язково опуклі за параметрами управління і не сепарабельні. Ліві частини обмежень (3.11)-(3.12) також не є сепарабельними і опуклими функціями. В отриманій задачі нелінійного програмування глобальний мінімум може не збігатися з локальним. Для розв'язку такого роду задач можуть бути використані відомі чисельні методи оптимізації першого і другого порядків.

Розглянемо наведену в п. 2.2 оптимізаційну модель планів закупки та доставки товару в логістичній мережі в умовах випадкового попиту з врахуванням фактора часу (рис. 2.7) з цільовою функцією (2.63), яка визначає сумарний прибуток логістичної системи на горизонті планування T та обмеженнями (2.59)-(2.61).

Нерівність (2.59) вказує на те, що, хоча за перші j періодів фірма може закупити будь-яку кількість товарів, все ж вона не може зберігати на складі більше, ніж дозволяє його вільна місткість E . Обмеження (2.60) описують той факт, що продаж товарів у пункти роздрібної торгівлі D_1, D_2, \dots, D_N повинен проводитися за рахунок запасів I_t , які є в наявності на складі на початок кожного періоду t :

$$I_t = q + \sum_{j=1}^t x_j - \sum_{j=1}^t \sum_{n=1}^N y_{nj}, \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

Умови (2.61) говорять про те, що попит на товар в пунктах роздрібної торгівлі D_1, D_2, \dots, D_N може бути задоволений лише тим запасом товару I_{nt} , який є на їх складах в кінці кожного періоду t :

$$I_{nt} = q_n + \sum_{j=1}^t y_{nj} - \sum_{j=1}^t d_{nj}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

тобто при $d_{nt} \leq I_{n,t-1}$.

Попит на товар в періоді t в пункті призначення готової продукції D_n дорівнює d_{nt} , $n=1, 2, \dots, N$, $t = 1, 2, \dots, T$, причому величини d_{nt} утворюють послідовність незалежних в сукупності випадкових величин з функціями розподілу $B_n(x) = \mathbf{P}\{d_{nt} \leq x\}$, $t = 1, 2, \dots, T$. Також в моделі робиться припущення, що місткості складів в пунктах роздрібної торгівлі D_n досить великі.

Зазначимо, що умови (2.61) повинні виконуватися з високим ступенем ймовірності, що математично може бути записано в такий спосіб:

$$\mathbf{P}\left\{\sum_{j=1}^t d_{nj} \leq q_n + \sum_{j=1}^{t-1} y_{nj}\right\} \geq 1 - \varepsilon, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

де ε – задана мала ймовірність. Тоді (2.61) можна переписати у вигляді (2.62):

$$B_n^{(t)}\left(q_n + \sum_{j=1}^{t-1} y_{nj}\right) \geq 1 - \varepsilon, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad n = 1, 2, \dots, N.$$

Тут $B_n^{(t)}(x)$ – t -кратна згортка функцій розподілу $B_n(x)$ з собою.

Задача стохастичної оптимізації може бути сформульована наступним чином: знайти план закупівлі $\{x_t\}$ та доставки товару в пункти роздрібної торгівлі $\{y_{nt}\}$, який доставляє максимальне значення математичному сподіванню функції (2.63) і задовольняє умовам (2.60)-(2.62), а також умовами невід'ємності параметрів управління $x_t, y_{nt} \geq 0, \forall n, t$.

Можливі ризики у діяльності описаної логістичної мережі можуть бути пов'язані з незадоволенням попиту в пунктах роздрібної торгівлі та з необхідністю зберігання надлишків товару на складах.

У тому випадку, коли умова $d_{nt} \leq I_{n,t-1}$ не виконується, то попит на товар в пункті D_n в періоді t перевищує рівень запасу на складі, тобто $d_{nt} > I_{n,t-1}$. В такому випадку логістична система буде нести збитки, викликані дефіцитом товару в пунктах роздрібної торгівлі. Розмір цих збитків складе:

$$p_{nt}(d_{nt} - I_{n,t-1})\mathbf{I}(d_{nt} > I_{n,t-1}),$$

де $\mathbf{I}(A)$ – індикатор події A .

Якщо в періоді t на складі пункту D_n запас товару ненульовий, тобто виконується умова $I_{nt} > 0$, необхідно враховувати витрати на зберігання товару, які будуть дорівнювати значенню:

$$s_{nt}I_{nt}\mathbf{I}(I_{nt} > 0).$$

Можливі сумарні збитки логістичної мережі складатимуть:

$$X = p_{nt}(d_{nt} - I_{n,t-1})\mathbf{I}(d_{nt} > I_{n,t-1}) + s_{nt}I_{nt}\mathbf{I}(I_{nt} > 0). \quad (3.18)$$

Очевидно, що величина X являє собою випадкову величину з відомим законом розподілу.

Виникаючі в діяльності описаної логістичної мережі ризики можна страхувати або не страхувати. Припустимо, що за договором страхування збитки, пов'язані з коливаннями попиту, страховик зобов'язується відшкодувати повністю, тоді сума

$$p_{nt}(d_{nt} - I_{n,t-1})\mathbf{I}(d_{nt} > I_{n,t-1}) + s_{nt}I_{nt}\mathbf{I}(I_{nt} > 0)$$

буде представляти собою розмір страхового відшкодування.

Позначимо через C страхову премію, яка виплачується страховій компанії. Страхування буде доцільним у тому випадку, коли страхова премія не перевищуватиме розміру збитків, тобто ймовірність того, що розмір збитків, які буде застраховано, більший за страхову премію, достатньо велика. Математично це може бути записано наступним чином:

$$\mathbf{P}\{X > C\} \geq 1 - \varepsilon, \quad (3.19)$$

де ε – задана мала ймовірність.

Визначимо таке значення величини страхової премії C , яке задовольняло б умові (3.19). Для цього використаємо одну з модифікацій нерівності Чебишева [142], що дозволить отримати наступну нерівність:

$$1 - \mathbf{P}\{X > C\} \geq \frac{(\mathbf{M}X - C)^2}{(\mathbf{M}X - C)^2 + \mathbf{D}X}, \quad (3.20)$$

де $\mathbf{M}X$ – математичне сподівання випадкової величини (3.18), $\mathbf{D}X = \mathbf{M}X^2 - (\mathbf{M}X)^2$ – дисперсія.

Враховуючи (3.19) і (3.20), знаходимо:

$$\mathbf{D}X = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} (\mathbf{M}X - C)^2. \quad (3.21)$$

Розв'язувальне правило (3.21) можна використовувати для знаходження величини страхової премії, при якій страхування ризиків збитків логістичної мережі стає доцільним.

Зазначимо, що для опису попиту в моделях управління запасами часто використовують гамма-розподіл, окремим випадком якого є розподіл Ерланга. Припустимо, що величини попиту d_{nt} розподілені за законом

Ерланга k -го порядку, тобто їхні функції розподілу $B_n(x) = 1 - e^{-\lambda_n x} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_n x)^i}{i!}$.

Тоді середнє значення випадкової величини, розподіленої за цим законом, дорівнює k/λ_n .

Знайдемо t -кратну згортку функцій розподілу:

$$B_n^{(t)}(x) = 1 - e^{-\lambda_n x} \sum_{i=0}^{kt-1} \frac{(\lambda_n x)^i}{i!}.$$

Дамо чисельну ілюстрацію побудованої моделі оптимізації для випадку $T=3$, $N=2$, коли діяльність логістичної мережі планується на 3 періоди, а продукція доставляється в 2 пункти роздрібної торгівлі.

Проведемо обчислення для трьох варіантів, що відповідають різним значенням параметра k в розподілі Ерланга. Параметри $\lambda_n^{(k)}$ підберемо таким чином, щоб середнє очікуване значення обсягів попиту для різних варіантів розрахунків було однаковим (для $k=1$: $\lambda_1^{(1)} = 0,02$ $\lambda_2^{(1)} = 0,025$; для $k=2$: $\lambda_1^{(2)} = 0,04$ $\lambda_2^{(2)} = 0,05$; для $k=3$: $\lambda_1^{(3)} = 0,06$ $\lambda_2^{(3)} = 0,075$).

Необхідні для розрахунків значення, значення параметрів управління: обсягів закупівлі $\{x_t\}$ і продажу $\{y_{nt}\}$, які доставляють максимум цільовій функції, а також значення прибутку P і величини страхової премії C , при якій страхування ризиків збитків логістичної мережі стає доцільним, для трьох варіантів розрахунків наведені в табл. Б.16 і табл. Б.17 додатку Б.

Отримані результати показують, що зі збільшенням параметра k сумарний прибуток логістичної системи зростає. При цьому, якщо попит розподілений експоненціально ($k=1$), прибуток від продажу 398,07 одиниць товару складе 726,77 грошових одиниць. У випадку, коли обсяги попиту мають розподіл Ерланга порядку $k>1$, меншій кількості реалізованого товару (348,64 одиниці для $k=2$, 326,24 одиниці для $k=3$) відповідають більші

значення прибутку: 832,17 грошових одиниць для випадку $k=2$, 879,74 грошових одиниць для $k=3$).

Розраховані значення страхової премії C , при яких страхування ризиків в логістичній мережі стає доцільним, також зменшуються при збільшенні параметру розподілу k .

Проведені розрахунки показують, що неточно прогнозований попит є причиною підвищення витрат на страхування, зберігання надлишків, транспортування, втрат через брак товару, що тягне за собою зменшення прибутку. Таким чином, більш точний прогноз попиту на товар дозволяє учасникам логістичної мережі збільшити загальний прибуток за рахунок скорочення запасів закуповуваного для реалізації товару, так як зменшуються витрати на зберігання, транспортування та закупівлю, а також на страхування ризиків.

3.2. Метод знаходження оптимальної рівноваги між конкуруючими ланцюгами поставок з урахуванням інноваційної діяльності підприємств

В галузі дослідження конкурентної боротьби між підприємствами економіко-математичні методи і моделі отримали досить широке поширення. Аналіз дуополії як найпростішої форми олігополії вперше був здійснений французьким економістом О. Курно. Ця модель описує ринкову рівновагу в умовах некооперовані олігополії. Курно припускав, що конкуренти виробляють однотипну продукцію, приймають рішення про виробництво незалежно один від одного, припускаючи, що випуск конкурента постійний, також їм відома функція ринкового попиту.

Дослідженню конкуренції, а саме її математичного моделювання, присвячена значна кількість як зарубіжних ([219-220], [232-233], так і вітчизняних ([64], [118], [165], [190]) робіт. Серед робіт зарубіжних авторів можна виділити [232-233], які присвячені математичному аналізу олігополії в статичі і динаміці; авторами запропоновані чисельні методи для знаходження

рівноваги, досліджена стабільність рівноважних станів. У роботах [219-220] досліджені класичні моделі Курно, Штакельберга, моделі теорії ігор, які широко застосовуються в прикладних областях економіки. У монографії [165] розглянуті особливості взаємодії підприємств в умовах ринку, запропоновані математичні моделі для різних видів конкуренції. Проблеми пошуку рівноваги при ціновій конкуренції виробничо-транспортних систем на основі класичних методів теорії фірми вирішуються в [64], [118], [165], [190], проте вони корисні в основному тільки для якісного аналізу проблеми конкуренції. В [107], [145] запропоновано поєднання методів теорії фірми і класичних завдання оптимального планування виробництва лінійного програмування. Цей підхід дозволив розробити більш наближену до практики планування роботи підприємств економіко-математичну модель для аналізу дуополії типу «промислове підприємство-дистрибутивна мережа» і вивчити вплив конкурентного середовища на оптимальний розподіл матеріальних потоків, які рухаються від конкуруючих підприємств-виробників продукції до місць її споживання.

Моделюванню інноваційних процесів в даний час поки приділяється не настільки велика уваги в спеціальній літературі (див., наприклад, роботи [144], [163], [185], [229]). Наприклад, в монографії [239] розглянуті актуальні питання теорії і практики інноваційної діяльності, виявлено синергетичні ефекти, які спостерігаються в процесі економічного зростання, розроблено методологічні основи побудови системи оцінки ефективності інновацій. У роботах [124], [149] досліджувалися процеси дифузії (поширення) інновацій на основі використання методів математичної екології та кривих логістичного типу. У статті [123] аналізується можливість використання моделей економічного зростання для прогнозування з урахуванням інноваційної діяльності на макрорівні.

Однак проблема оптимізації інноваційної стратегії окремих підприємств з урахуванням їх виробничої діяльності та транспортування продукції в пункти споживання є менш вивченою. У зв'язку з цим можна

виділити роботу [144], в якій запропоновано методичний підхід для оптимізації планів випуску і перевезення продукції, що враховує інноваційну технологічну діяльність підприємств-виробників, проте не приймає до уваги можливу конкуренцію між ними.

Тому інтерес представляє вивчення економіко-математичних моделей конкуренції, які були б синтезом інноваційної політики підприємств і логістичної концепції управління.

Спочатку знайдемо рівноважні рішення для двох підприємств, які діють на ринку, користуючись підходом, описаним в [82]. Припустимо, що функція попиту на продукцію має наступний вигляд:

$$p(q_1, q_2) = a - b(q_1 + q_2), \quad (3.22)$$

де q_1 і q_2 – обсяги продукції, які планують для випуску перше та друге підприємства відповідно, a – максимально можлива ціна продукції, b – параметр, який визначає еластичність попиту, тобто зниження ціни при збільшенні обсягу проданої продукції на одну одиницю. Таке припущення ґрунтується на тому, що при моделюванні конкуренції між підприємствами допускається, що ціни на продукцію кожного з підприємств-конкурентів, які виробляють однакову продукцію, залежать від обсягу продукції, яка продається усіма підприємствами і зменшуються у випадку збільшення обсягу продукції, що надходить на ринок

Введемо в розгляд величини v_1 і v_2 , які будуть відображати розмір інвестицій в реалізацію технологічних новацій на кожному підприємстві. Припустимо, що витрати на виробництво одиниці продукції на підприємстві з номером i $c_i(v_i)$ є спадними функціями від розміру інвестицій v_i в реалізацію інноваційного проекту.

Наприклад, ці функції можна представити наступними залежностями:

$$c_i(v_i) = \frac{c_{0i}}{(1 + k_i v_i)} \text{ або } c_i(v_i) = c_{0i} - k_i v_i, \quad i = 1, 2,$$

де c_{0i} – значення витрат для застарілої технології; k_i – коефіцієнт, який характеризує ступінь ефективності інновацій при виробництві продукції..

Знайдемо прибутки Π_1 і Π_2 двох підприємств з урахуванням функції попиту на продукцію (3.22):

$$\Pi_1 = [a - b(q_1 + q_2)]q_1 - c_1(v_1)q_1 - d_1 - v_1, \quad (3.23)$$

$$\Pi_2 = [a - b(q_1 + q_2)]q_2 - c_2(v_2)q_2 - d_2 - v_2, \quad (3.24)$$

де d_1 і d_2 означають постійні витрати підприємств на виробництво.

Свій прибуток (3.23) перше підприємство-виробник хоче максимізувати по змінним q_1, v_1 . Аналогічно, друге підприємство намагатиметься максимізувати прибуток (3.24) по змінним q_2, v_2 .

Визначимо рівноважне за Курно рішення дуополії, при якому прибутки підприємств максимально можливі.

Необхідні умови екстремуму функцій прибутку (3)–(4) матимуть вигляд:

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial q_1} = a - b(q_1 + q_2) - bq_1 - c_1(v_1) = 0,$$

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial q_2} = a - b(q_1 + q_2) - bq_2 - c_2(v_2) = 0,$$

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial v_1} = -c_1'(v_1)q_1 - 1 = 0,$$

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial v_2} = -c_2'(v_2)q_2 - 1 = 0.$$

Звідси знайдемо рівняння, які будуть визначати оптимальний рівень випуску продукції дуополіста через оптимум випуску його конкурента:

$$\begin{cases} -2bq_1 - bq_2 = c_1(v_1) - a, \\ -2bq_2 - bq_1 = c_2(v_2) - a; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2q_1 + q_2 = [a - c_1(v_1)]/b, \\ q_1 + 2q_2 = [a - c_2(v_2)]/b. \end{cases}$$

Тоді рівноважне за Курно рішення дуополії визначається за формулами:

$$q_1 = [2(a - c_1(v_1)) - a + c_2(v_2)]/3b = [a - 2c_1(v_1) + c_2(v_2)]/3b, \quad (3.25)$$

$$q_2 = [2(a - c_2(v_2)) - a + c_1(v_1)]/3b = [a - 2c_2(v_2) + c_1(v_1)]/3b, \quad (3.26)$$

звідки отримаємо систему рівнянь для визначення розмірів інвестицій v_1 і v_2 :

$$[a - 2c_1(v_1) + c_2(v_2)]/3b = -1/c_1'(v_1), \quad (3.27)$$

$$[a - 2c_2(v_2) + c_1(v_1)]/3b = -1/c_2'(v_2). \quad (3.28)$$

Підставляючи отримані значення v_1 і v_2 в (3.25) та (3.26), знайдемо рівноважні за Курно обсяги випуску продукції підприємств q_1 і q_2 .

Якщо припустити, що функції $c_i(v_i)$ мають вигляд: $c_i(v_i) = c_{0i} - k_i v_i$, $k_i > 0$, $i = 1, 2$, то з (3.27)-(3.28) отримаємо:

$$[a - 2(c_{01} - k_1 v_1) + c_{02} - k_2 v_2]/3b = 1/k_1,$$

$$[a - 2(c_{02} - k_2 v_2) + c_{01} - k_1 v_1]/3b = 1/k_2.$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, визначимо v_1 і v_2 :

$$v_1 = (c_{01} + 2b/k_1 + b/k_2 - a)/k_1,$$

$$v_2 = (c_{02} + b/k_1 + 2b/k_2 - a)/k_2.$$

Зазначимо, що $v_i > 0$, тоді $c_{01} > a - 2b/k_1 - b/k_2$, $c_{02} > a - b/k_1 - 2b/k_2$.

Відповідні значення q_1 і q_2 дорівнюватимуть:

$$q_1 = -1/c_1'(v_1) = 1/k_1, \quad q_2 = -1/c_2'(v_2) = 1/k_2.$$

В рамках запропонованого підходу можна визначити також рівноважне за Штакельбергом рішення, коли одне з підприємств вважає, що конкурент буде вести себе як дуополіст Курно. Послідовник буде реагувати на дії лідера: він надає лідеру можливість першим запропонувати на ринок бажану кількість продукції і пристосовує свій випуск відповідно до випуску лідера, припускаючи, що на його дії лідер не реагує. Лідер дотримується протилежної точки зору, його вибір веде до зміни очікувань послідовника, він враховує при прийнятті своїх рішень, що послідовник реагує на його поведінку.

Припустимо, що перше підприємство є лідером і вважає, що друге реагуватиме відповідно прямої реакції Курно, тобто

$$q_2 = [a - c_2(v_2) - bq_1]/2b. \quad (3.29)$$

Тоді можлива варіація $\frac{\partial q_2}{\partial q_1} = -\frac{1}{2}$. З огляду на це,

$$\frac{\partial \Pi_1}{\partial q_1} = a - \frac{3}{2}bq_1 - bq_2 - c_1(v_1).$$

Прирівнявши $\frac{\partial \Pi_1}{\partial q_1}$ нулю, отримаємо рівняння прямої реакції першого підприємства:

$$q_1 = 2[a - bq_2 - c_1(v_1)]/3b.$$

Нехай перше підприємство вважає, що друге використовує реакцію Курно (3.29). Тоді, з урахуванням рівності нулю $\frac{\partial \Pi_1}{\partial v_1}$ і $\frac{\partial \Pi_2}{\partial v_2}$, рівновагу дуополії за Штакельбергом для випадку першого підприємства-лідера знаходимо за формулами:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= [a - 2c_1(v_1) + c_2(v_2)]/2b, \\
 q_2 &= [a + 2c_1(v_1) - 3c_2(v_2)]/4b, \\
 q_1 &= -1/c_1'(v_1), \\
 q_2 &= -1/c_2'(v_2).
 \end{aligned}$$

У ситуації, коли друге підприємство виступає в якості лідера, отримаємо наступну систему рівнянь для знаходження рівноваги за Штакельбергом:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= [a - 3c_1(v_1) + 2c_2(v_2)]/4b, \\
 q_2 &= [a + c_1(v_1) - 2c_2(v_2)]/2b, \\
 q_1 &= -1/c_1'(v_1), \\
 q_2 &= -1/c_2'(v_2).
 \end{aligned}$$

Якщо функції $c_i(v_i) = c_{0i} - k_i v_i$, то рівновагу за Штакельбергом для випадку, коли лідером є перше підприємство, можна знайти, розв'язавши систему рівнянь:

$$\begin{cases} [a - 2(c_{01} - k_1 v_1) + c_{02} - k_2 v_2]/2b = 1/k_1, \\ [a + 2(c_{01} - k_1 v_1) - 3(c_{02} - k_2 v_2)]/4b = 1/k_2. \end{cases}$$

Таким чином, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= 1/k_1, \\
 q_2 &= 1/k_2, \\
 v_1 &= (c_{01} + 3b/2k_1 + b/k_2 - a)/k_1, \\
 v_2 &= (c_{02} + b/k_1 + 2b/k_2 - a)/k_2.
 \end{aligned}$$

У випадку, коли лідером є друге підприємство, значення обсягів виробництва та інвестицій будуть наступними:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= 1/k_1, \\
 q_2 &= 1/k_2, \\
 v_1 &= (c_{01} + 2b/k_1 + b/k_2 - a)/k_1, \\
 v_2 &= (c_{02} + b/k_1 + 3b/2k_2 - a)/k_2.
 \end{aligned}$$

Перейдемо тепер до знаходження рівноважних рішень для конкуруючих підприємств-виробників, які беруть участь в ланцюгах поставок, з урахуванням їх інноваційної діяльності.

В якості основи для побудови економіко-математичної моделі дуополії будемо розглядати модель оптимізації плану виробництва і доставки багатомноменклатурної продукції [147].

Вважатимемо, що на ринку діють два підприємства, які виробляють однакову продукцію K найменувань з використанням одних і тих же ресурсів R видів і доставляють вироблену продукцію в M пунктів призначення.

Нехай підприємство з номером $i, i = 1, 2$ для виробництва однієї одиниці товару k -го виду ($k = 1, 2, \dots, K$) використовує $a_{rk}^{(i)}$ одиниць ресурсу виду r , який є в запасі в кількості $b_r^{(i)}$, $r = 1, 2, \dots, R$. Вироблена продукція надходить на склад підприємства, звідки вона повинна бути доставлена в пункти призначення D_1, D_2, \dots, D_M . Попит на товар виду k в пункті m позначимо через d_{km} , $d_{km} > 0$.

Введемо наступні позначення:

$x_k^{(i)}$ – кількість продукції k -го виду, яке i -е підприємство планує для випуску,

$y_{km}^{(i)}$ – кількість готової продукції k -го виду, заплановане для доставки в пункт призначення D_m .

Запишемо спочатку обмеження для моделей оптимізації планів виробництва і перевезення продукції стосовно дуополії [147]:

$$\sum_{k=1}^K a_{kr}^{(i)} x_k^{(i)} \leq b_r^{(i)}, r = 1, \dots, R, i = 1, 2, \quad (3.30)$$

$$y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)} \leq d_{km}, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M, \quad (3.31)$$

$$x_k^{(i)} = \sum_{m=1}^M y_{km}^{(i)}, k = 1, \dots, K, i = 1, 2, \quad (3.32)$$

$$x_k^{(1)}, x_k^{(2)}, y_{km}^{(1)}, y_{km}^{(2)} \geq 0 \quad \forall k, m. \quad (3.33)$$

Припустимо, що функція попиту на продукцію k -го виду в m -му пункті призначення має наступний вигляд:

$$p_{km}(y_{km}^{(1)}, y_{km}^{(2)}) = p_{km} - g_{km}(y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)}), \quad (3.34)$$

де p_{km} – максимально можлива ціна продукції k -го виду в m -му пункті призначення, g_{km} – параметр, який визначає еластичність попиту, тобто зниження ціни при збільшенні обсягу проданої продукції на одну одиницю. Оскільки функція попиту не може приймати негативні значення, то повинні виконуватися умови: $y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)} \leq p_{km}/g_{km}$, $k = 1, \dots, K$, $m = 1, \dots, M$, тобто вважатимемо, що $d_{km} = p_{km}/g_{km}$. Також будемо вважати, що доставка готової продукції відбувається за рахунок її покупця.

Введемо в розгляд величини $v_k^{(i)}$, які будуть відображати розмір інвестицій в реалізацію технологічних новацій на i -му підприємстві для виробництва продукції виду k . В якості інноваційного проекту для виробничого підприємства можуть виступати, наприклад, впровадження нових прогресивних перевізних і перевантажувальних технологій, більш економічних двигунів на транспортних засобах, заміна транспортних засобів на нові.

Припустимо, що витрати на виробництво одиниці продукції k -го виду на підприємстві з номером i є убутними функціями $s_k^{(i)}(v_k^{(i)})$ від розміру

інвестицій $v_k^{(i)}$ в реалізацію інноваційного проекту [147]. Наприклад, можна прийняти, що:

$$s_k^{(i)}(v_k^{(i)}) = s_{0k} / (1 + \gamma_k^{(i)} v_k^{(i)}) \text{ або} \\ s_k^{(i)}(v_k^{(i)}) = s_{0k} e^{-\gamma_k^{(i)} v_k^{(i)}}, \quad k = 1, \dots, K, i = 1, 2, \quad (3.35)$$

де s_{0k} – значення витрат для застарілої технології; $\gamma_k^{(i)}$ – коефіцієнт, який характеризує ступінь ефективності інновацій при виробництві продукції k -го виду на i -му підприємстві. Будемо також вважати, що виконані наступні умови:

$$\left[s_k^{(i)}(v_k^{(i)}) \right]'' > 0. \quad (3.36)$$

Зокрема, для функцій (3.25) ці умови виконуються.

З урахуванням (3.34) і (3.35) підприємства будуть отримувати прибуток $\Pi^{(1)}$ і $\Pi^{(2)}$:

$$\Pi^{(1)} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[(p_{km} - g_{km} (y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)})) y_{km}^{(1)} \right] - \sum_{k=1}^K s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) \cdot x_k^{(1)} - \sum_{k=1}^K v_k^{(1)}, \\ \Pi^{(2)} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[(p_{km} - g_{km} (y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)})) y_{km}^{(2)} \right] - \sum_{k=1}^K s_k^{(2)}(v_k^{(2)}) \cdot x_k^{(2)} - \sum_{k=1}^K v_k^{(2)}.$$

Між змінними $x_k^{(1)}$, $y_{km}^{(1)}$ і $x_k^{(2)}$, $y_{km}^{(2)}$ внаслідок наявності конкуренції між заводами може існувати деяка залежність. Це необхідно враховувати при запису необхідних умов екстремуму кожної з функцій $\Pi^{(1)}$ і $\Pi^{(2)}$ і при відповідних обмеженнях. У найпростішому випадку таку залежність можна не враховувати.

Виключивши з допомогою умови (3.32) змінні $x_k^{(1)}$, $x_k^{(2)}$, отримаємо значення прибутку першого підприємства:

$$\begin{aligned} \Pi^{(1)} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} - g_{km} (y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)}) \right] y_{km}^{(1)} - \\ & - \sum_{k=1}^K \left(s_k^{(1)} (v_k^{(1)}) \cdot \sum_{m=1}^M y_{km}^{(1)} \right) - \sum_{k=1}^K v_k^{(1)}. \end{aligned} \quad (3.37)$$

Цей прибуток перше підприємство-виробник хоче максимізувати по змінним $y_{km}^{(1)}, v_k^{(1)} \geq 0 \forall k, m$.

Аналогічно, друге підприємство буде прагнути максимізувати по змінним $y_{km}^{(2)}, v_k^{(2)} \geq 0 \forall k, m$ свій прибуток, тобто функцію

$$\begin{aligned} \Pi^{(2)} = & \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[p_{km} - g_{km} (y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)}) \right] y_{km}^{(2)} - \\ & - \sum_{k=1}^K \left(s_k^{(2)} (v_k^{(2)}) \cdot \sum_{m=1}^M y_{km}^{(2)} \right) - \sum_{k=1}^K v_k^{(2)}. \end{aligned} \quad (3.38)$$

Обмеження для двох задач оптимізації матимуть вигляд:

$$\sum_{k=1}^K a_{kr}^{(i)} \sum_{m=1}^M y_{km}^{(i)} \leq b_r^{(i)}, r = 1, \dots, R, i = 1, 2, \quad (3.39)$$

$$y_{km}^{(1)} + y_{km}^{(2)} \leq p_{km} / g_{km}, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M.$$

Визначимо рівноважне за Курно рішення дуополії, при якому прибутки підприємств максимально можливі.

Необхідні умови екстремуму функцій прибутку (3.37), (3.38) мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi^{(1)}}{\partial y_{km}^{(1)}} = & p_{km} - g_{km} y_{km}^{(2)} - 2g_{km} y_{km}^{(1)} - s_k^{(1)} (v_k^{(1)}) = 0, \\ \frac{\partial \Pi^{(1)}}{\partial v_k^{(1)}} = & - \sum_{m=1}^M y_{km}^{(1)} \cdot \frac{\partial s_k^{(1)} (v_k^{(1)})}{\partial v_k^{(1)}} - 1 = 0, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \Pi^{(2)}}{\partial y_{km}^{(2)}} = p_{km} - 2g_{km}y_{km}^{(1)} - g_{km}y_{km}^{(2)} - s_k^{(2)}(v_k^{(2)}) = 0,$$

$$\frac{\partial \Pi^{(2)}}{\partial v_k^{(2)}} = - \sum_{m=1}^M y_{km}^{(2)} \cdot \frac{\partial s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{\partial v_k^{(2)}} - 1 = 0 \quad \forall k, m.$$

Звідси знайдемо рівняння, які будуть визначати оптимальний рівень випуску продукції дуополіста через оптимум випуску його конкурента. Тоді рівноважне за Курно рішення дуополії визначається за формулами:

$$y_{km}^{(1)} = \frac{p_{km} - 2s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) + s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{3g_{km}},$$

$$y_{km}^{(2)} = \frac{p_{km} - 2s_k^{(2)}(v_k^{(2)}) + s_k^{(1)}(v_k^{(1)})}{3g_{km}},$$

$$\sum_{m=1}^M y_{km}^{(i)} = -1 / \left[s_k^{(i)}(v_k^{(i)}) \right]', \quad i = 1, 2. \quad (3.40)$$

При цьому повинні виконуватися наступні умови:

$$\sum_{k=1}^K a_{kr}^{(1)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{km} - 2s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) + s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{3g_{km}} \leq b_r^{(1)}, \quad r = 1, \dots, R,$$

$$\sum_{k=1}^K a_{kr}^{(2)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{km} - 2s_k^{(2)}(v_k^{(2)}) + s_k^{(1)}(v_k^{(1)})}{3g_{km}} \leq b_r^{(2)}, \quad r = 1, \dots, R. \quad (3.41)$$

При порушенні умов (3.41) для знаходження рівноважного рішення пари задач (3.37), (3.39) і (3.38), (3.39) слід застосовувати оптимізаційні алгоритми [47] з урахуванням того, що виконуються умови Курно для можливих варіацій, а саме:

$$\frac{\partial y_{km}^{(1)}}{\partial y_{km}^{(2)}} = 0, \quad \frac{\partial y_{km}^{(2)}}{\partial y_{km}^{(1)}} = 0, \quad k = 1, \dots, K, \quad m = 1, \dots, M.$$

В рамках запропонованого підходу можна визначити рівноважний в сенсі Штакельберга рішення, коли один або обидва підприємства вважають, що конкурент буде вести себе як дуополіст Курно.

Припустимо, що лідером є перше підприємство, воно вважає, що друге реагуватиме відповідно прямої реакції Курно, тобто

$$y_{km}^{(2)} = \frac{p_{km} - g_{km}y_{km}^{(1)} - s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{2g_{km}}. \quad (3.42)$$

Тоді можлива варіація $\frac{\partial y_{km}^{(2)}}{\partial y_{km}^{(1)}} = -\frac{1}{2}$.

З огляду на це $\frac{\partial \Pi^{(1)}}{\partial y_{km}^{(1)}} = p_{km} - g_{km}y_{km}^{(2)} - s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) - \frac{3}{2}g_{km}y_{km}^{(1)}$.

Прирівнявши $\frac{\partial \Pi^{(1)}}{\partial y_{km}^{(1)}}$ нулю, отримаємо рівняння прямої реакції заводу:

$$y_{km}^{(1)} = \frac{2(p_{km} - g_{km}y_{km}^{(2)} - s_k^{(1)}(v_k^{(1)}))}{3g_{km}} \quad (3.43)$$

Нехай перше підприємство вважає, що друге використовує реакцію

Курно (3.42). Тоді, з урахуванням (3.42), (3.43), а також рівності нулю $\frac{\partial \Pi^{(1)}}{\partial v_k^{(1)}}$

і $\frac{\partial \Pi^{(2)}}{\partial v_k^{(2)}}$ рішенням дуополії буде рівновага Штакельберга для першого підприємства:

$$y_{km}^{(1)} = \frac{p_{km} - 2s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) + s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{2g_{km}},$$

$$y_{km}^{(2)} = \frac{p_{km} + 2s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) - 3s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{4g_{km}},$$

$$\sum_{m=1}^M y_{km}^{(i)} = -1 / \left[s_k^{(i)} \left(v_k^{(i)} \right) \right]', \quad i = 1, 2.$$

Для того, щоб ці рішення задовольняли умовам (3.39), повинні виконуватися наступні обмеження:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^K a_{kr}^{(1)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{km} - 2s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) + s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{2g_{km}} &\leq b_r^{(1)}, \quad r = 1, \dots, R, \\ \sum_{k=1}^K a_{kr}^{(2)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{km} - 3s_k^{(2)}(v_k^{(2)}) + 2s_k^{(1)}(v_k^{(1)})}{4g_{km}} &\leq b_r^{(2)}, \quad r = 1, \dots, R. \end{aligned} \quad (3.44)$$

У ситуації, коли друге підприємство вважає, що перше реагуватиме відповідно реакції Курно, отримаємо:

$$\begin{aligned} y_{km}^{(1)} &= \frac{p_{km} - g_{km}y_{km}^{(2)} - s_k^{(1)}(v_k^{(1)})}{2g_{km}}, \\ y_{km}^{(2)} &= \frac{2(p_{km} - g_{km}y_{km}^{(1)} - s_k^{(2)}(v_k^{(2)}))}{3g_{km}}, \end{aligned} \quad (3.45)$$

і рішенням дуополії буде рівновага Штакельберга для другого підприємства:

$$\begin{aligned} y_{km}^{(1)} &= \frac{p_{km} - 3s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) + 2s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{4g_{km}}, \\ y_{km}^{(2)} &= \frac{p_{km} + s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) - 2s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{2g_{km}}, \\ \sum_{m=1}^M y_{km}^{(i)} &= -1 / \left[s_k^{(i)} \left(v_k^{(i)} \right) \right]', \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (3.46)$$

Рішення (3.46) задовольняють умовам (3.39) в тому випадку, коли виконуються обмеження:

$$\sum_{k=1}^K a_{kr}^{(1)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{km} + s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) - 2s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{2g_{km}} \leq b_r^{(1)}, r=1, \dots, R, \quad (3.47)$$

$$\sum_{k=1}^K a_{kr}^{(2)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{km} - 3s_k^{(1)}(v_k^{(1)}) + 2s_k^{(2)}(v_k^{(2)})}{4g_{km}} \leq b_r^{(2)}, r=1, \dots, R.$$

Проведемо обчислення для знаходження планів перевезення двох видів готової продукції ($y_{km}^{(1)}, y_{km}^{(2)}$, $K=2$) підприємств (наприклад, металургійної галузі) в пункти призначення D_1 і D_2 (морські порти) і інвестиційних планів ($v_k^{(1)}, v_k^{(2)}$) для різних варіантів: за Курно і за Штакельбергом.

Припустимо, що витрати на виробництво одиниці продукції:

$$s_k^{(i)}(v_k^{(i)}) = s_{0k} / (1 + j_k^{(i)} v_k^{(i)}).$$

Вихідними даними для задачі будуть значення максимально можливих цін на металопрокат (p_{km}), параметри, які визначають еластичність попиту (g_{km}), виробничі коефіцієнти ($a_{rk}^{(i)}$), розміри запасів сировини (залізної руди та коксівного вугілля) для виробництва ($b_r^{(i)}$, $R=2$), значення витрат для застарілої технології ($s_{0k}^{(i)}$) і коефіцієнти, які характеризують ступінь ефективності інновацій ($j_k^{(i)}$).

Необхідні для розрахунків значення та результати розрахунків, виконаних за допомогою пакета Excel, представлені в табл. Б.18 і табл. Б.19 додатку Б.

У табл. 3.3 наведені значення прибутку підприємств для різних варіантів дій.

Таблиця 3.3

Прибуток підприємств*

Варіанти розрахунків	Значення прибутку, тис. грн..		
	Перше підприємство	Друге підприємство	Сумарна

Рівновага за Курно	2657,5	2169,46	4826,96
Рівновага за Штакельбергом (лідер – перше підприємство)	3114,79	462,87	3577,67
Рівновага за Штакельбергом (лідер – друге підприємство)	872,93	2578,68	3451,61

*побудовано автором за розрахунками

Отримані результати показують, що позиція лідера краща для підприємства, ніж в моделі Курно, а оптимальний випуск і прибуток послідовника менше, ніж лідера. Наприклад, перше підприємство в якості лідера отримає прибуток 3114,79 тис. грн., що на 457,29 тис. грн. більше, ніж значення його прибутку за Курно. Якщо ж перше підприємство буде виступати в якості послідовника, його прибуток зменшиться на 2241,86 тис. грн. Однак при цьому сумарний обсяг випуску двох підприємств у випадку моделі Курно (898,66 тис. т) менше сумарного випуску за Штакельбергом (1021,86 тис. т і 1015,70 тис. т), а сумарний прибуток більше (4826,96 тис. грн. проти 3577,67 і 3451,61 тис. грн. відповідно). Розміри інвестицій в моделі Курно (загальні 1540,34 тис. грн.) менше, ніж за Штакельбергом (1585,44 і 1649,24 тис. грн.).

Показовим є також порівняння значень прибутку підприємств з урахуванням інвестиційних вкладень в технології і без них (табл. 3.4).

Прибуток підприємства для кожного з варіантів розрахунків (за Курно і за Штакельбергом) при впровадженні інновацій зріс в 1,2 - 2,9 рази.

Таким чином, проведені розрахунки показали, що інвестиційні вкладення дозволяють збільшити розмір прибутку і конкурентоспроможність промислових підприємств, які входять до конкуруючих ланцюгів поставок.

Таблиця 3.4

Прибуток підприємств з урахуванням
і без урахування інвестиційних вкладень*

Варіанти	Значення прибутку, тис. грн.
----------	------------------------------

розрахунків	Перше підприємство		Друге підприємство	
	без урахування інвестицій	з урахуванням інвестицій	без урахування інвестицій	з урахуванням інвестицій
Рівновага за Курно	1134,82	2657,50	832,59	2169,46
Рівновага за Штакельбергом (лідер – перше підприємство)	1281,67	3114,79	385,833	462,87
Рівновага за Штакельбергом (лідер – друге підприємство)	708,33	872,93	890,00	2578,68

*побудовано автором за розрахунками

Надалі можливі різні узагальнення наведених результатів, наприклад, побудова та дослідження динамічних моделей оптимізації з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників, а також аналогічні дослідження для інших ринкових структур.

3.3 Основні вимоги до інформаційного та організаційного забезпечення методів оцінки ризиків

Наведені в розділі 2 і п. 3.1-3.2 моделі та методи можуть бути успішно використані на практиці тільки при наявності своєчасної, достовірної та повної інформації про перспективи розвитку попиту, пропозиції, цін, конкуренції на ринку, адже наслідком неточно прогнозованого попиту є високі транспортні витрати, нереалізовані можливості продажів, що тягне за собою втрату прибутку. Для поліпшення якості прогнозу необхідно поліпшити якість інформації, необхідної при його розробці.

При прогнозуванні попиту важливо зібрати інформацію від споживачів про передбачувану появу або розробку нових продуктів, виробництво яких може створити попит на нові матеріали чи обладнання. Крім результатів спеціальних спостережень, організованих для вивчення попиту, джерелами

інформації можуть бути також дані демографічної статистики, статистики бюджетів сімей, відомості оперативного та бухгалтерського обліку в каналах торгівлі, сервісного обслуговування, економічні показники перспективного розвитку основних споживачів у сфері матеріального виробництва, науково-технічні, економічні, соціальні, зовнішньоекономічні та інші прогнози. Використання інформаційних технологій як одного з практичних способів інформаційного забезпечення є невід'ємною частиною будь-якого сучасного підприємства. Однак, не скасовуючи актуальності внутрішньої автоматизації, на даному етапі розвитку на перший план виходить автоматизація інформаційних потоків всіх підприємств-учасників ланцюга поставок. Оптимальний організаційний дизайн і управління відділами, зайнятими інформаційними технологіями та інформаційною інфраструктурою дає можливість не тільки підвищення ефективності управління підприємством і всім ланцюгом поставок, але і дозволяє створювати нові конкурентні переваги.

Однак найчастіше неправильна організація роботи інформаційних служб не дозволяє реалізувати ці переваги і повернути витрачені інвестиції. Тому створення інформаційної системи, яка б повністю задовольняла потреби підприємства, є першочерговим стратегічно важливим моментом при впровадженні логістичного підходу. Тільки маючи структуроване інформаційне забезпечення в рамках кожного окремого підприємства можливе створення єдиного наскрізного інформаційного потоку по всій керованій довжині ланцюга поставок. При цьому необхідно приділяти увагу узгодженості даних, їх оновлення повинні бути регулярними у всіх областях збору інформації.

Відмінною рисою сучасного етапу розвитку світової економіки і торгівлі є широке поширення електронних засобів комунікації, що об'єднують світ в єдиний інформаційний простір.

У сучасному менеджменті в цілому, і в логістиці, зокрема, інформаційним технологіям (ІТ) при прийнятті управлінських рішень

приділяється особлива увага (див., наприклад, роботи [63], [193]). Це пов'язано з тим, що найбільш перспективним напрямком підвищення конкурентоспроможності малого та великого бізнесу є інтеграція і кооперація підприємств на основі використання ІТ. Синхронізація та кооперація бізнес-процесів, моделей планування та управління на основі формування єдиного інформаційного простору (віртуального) для учасників, що скооперувалися, дозволяє компаніям гнучко реагувати на зміни ринкової кон'юнктури і оперативно формувати ланцюг поставок для задоволення потреб клієнтів. Це дозволяє збільшити прибутковість і підвищити конкурентоспроможність підприємств за рахунок зменшення ймовірності помилок, недопоставок і скорочення термінів поставок. Можливості Інтернету можуть бути використані для більш оперативної роботи із супутньою інформацією. Як вантажовідправники, так і вантажоодержувачі вважають, що найбільш важливою частиною доставки є можливість в будь-який час отримувати інформацію про місцезнаходження і статус вантажу. Електронна ідентифікація та оформлення електронного паспорта дозволяють відслідковувати переміщення вантажу на всьому шляху проходження і за запитом користувача надавати інформацію в режимі реального часу. Як віртуальні розрахунки, так і системи ідентифікації дозволяють не тільки скоротити час на розрахунок транспортних складових, але і мати реальне уявлення про місцезнаходження партії товару, а значить більш точно планувати оборот товарних і грошових коштів.

Задачу обробки інформації на сучасному етапі розвитку інформаційних технологій істотно полегшують різні програмні засоби для автоматизації діяльності. Вони забезпечують можливість моделювання як виробничих, так і управлінських систем, процесів, використовуються для ефективного аналізу техніко-економічних проектів, з їх допомогою готують результати для подальшого прийняття рішень. Застосування сучасних інформаційних технологій дозволяє прискорювати доставку вантажів, підвищувати їх

збереження за рахунок можливості швидкого доступу до інформації про продавців, покупців, перевізників, товари і послуги доставки.

В останні роки збільшується інтерес до «хмарних» обчислень, перехід до яких дає істотні економічні переваги [193]. Використання хмарних обчислень надає змогу споживачам інформаційних технологій знизити капітальні витрати на обладнання центрів для обробки даних завдяки тому, що побудова та введення в експлуатацію інфраструктурних об'єктів інформаційних технологій потребують часу та мають високу початкову вартість, а витрати на закупівлю обладнання в такому випадку несуть не споживачі, а провайдери хмарних послуг. Хмарні технології забезпечують можливість практично миттєво реагувати на збільшення попиту на обчислювальні потужності, в протилежному випадку спроможність споживачів гнучко реагувати на вимоги ринку обмежена.

Відомо, що витрати часу на виконання логістичних операцій складають, як правило, не менше 30% від тривалості виробничого циклу [179]. Сучасний стан економічної науки та практика ведення конкурентної боротьби характеризуються розширенням сфери застосування принципів та методів логістики, що проявляються, насамперед, у процесі логістичної інтеграції. Саме в ній реалізуються потреби підприємств у нових конкурентних перевагах.

Згідно з визначенням Європейської логістичної асоціації, управління ланцюгом поставок – це інтегральний підхід до бізнесу, який реалізує основні принципи управління логістичною ланцюгом, такі як формування функціональних стратегій, організаційної структури, методів прийняття рішень, управління ресурсами, реалізація підтримують функцій, систем і процедур [26], [183], [201].

На рис.3.3 представлена інтеграція максимального ланцюга поставок в узагальненому вигляді.

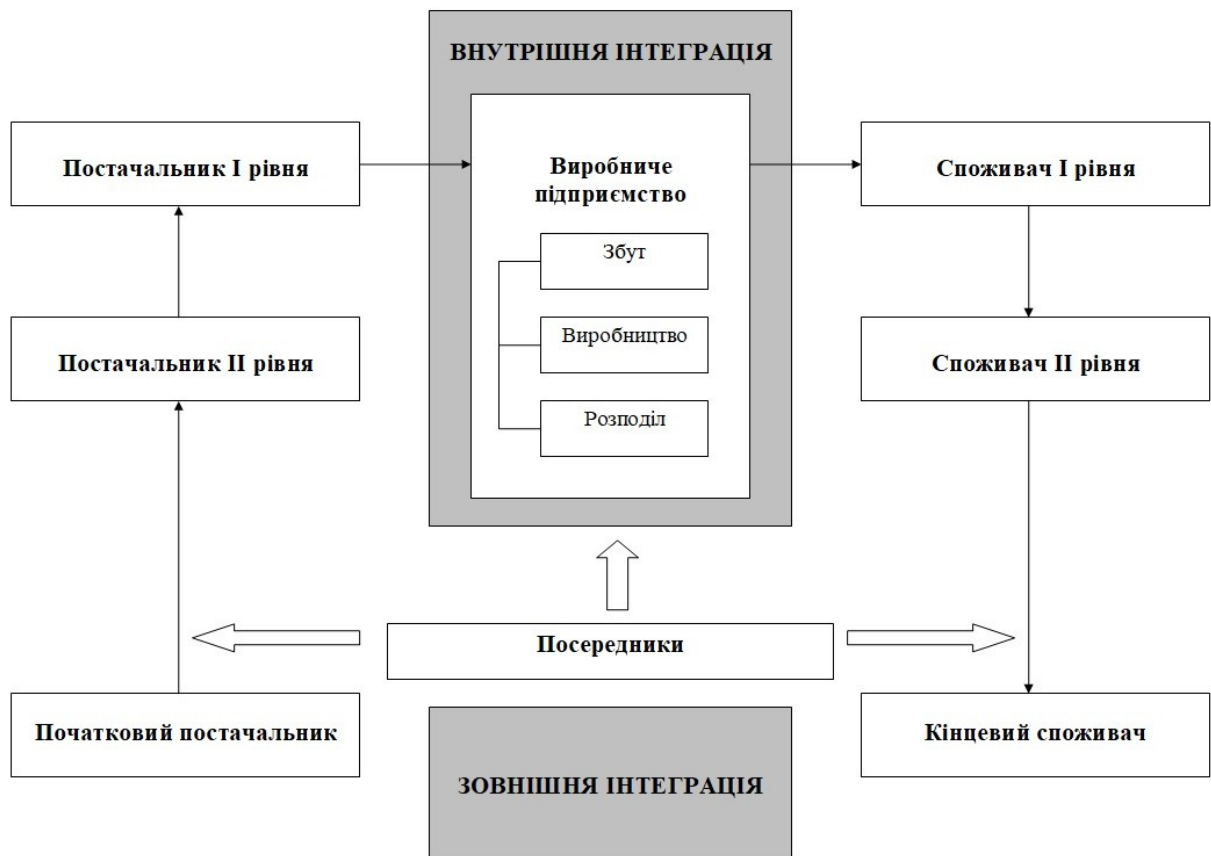


Рис. 3.3. Інтеграція ланцюга поставок*

*побудовано автором за [183]

Однією з головних проблем, які виникають при управлінні ланцюгом поставок, є слабка інформаційна інтеграція між ланками ланцюга, через що виникають наступні проблеми:

- недостатньо точне прогнозування потреб у сировині в зв'язку з неточними прогнозами споживчого попиту;
- недовиконання затверджених виробничих планів з огляду на недостатнє завантаження обладнання;
- неточне прогнозування місткості ринку і побудова на базі цих прогнозів планів продажів;
- відсутність планування при розміщенні замовлень на виробництво між підприємствами;
- складність логістичного планування товаропотоків між підприємствами;

- збільшені запаси сировини і пакувальних матеріалів з огляду на недостатньо якісне планування і синхронізацію планів по збуту, виробництву і постачанню.

Для організації ефективної співпраці з партнерами в рамках ланцюга поставок представляється доцільним вдосконалення організаційної структури виробничого підприємства, а саме: створення групи (в структурі відділу маркетингу) або окремого відділу управління ризиками, який повністю складається з фахівців з управління ризиками, а також ведення баз даних, в яких збирається і систематизується різна маркетингова інформація.

Перелік можливої інформації для зберігання в базах даних про ризики може бути, наприклад, таким:

- максимально повна інформація про кожного конкретного споживача продукції;
- максимально повна інформація про кожного конкретного постачальника сировини та комплектуючих;
- історія та види взаємодій з кожним потенційним і реальним постачальником та споживачем (з швидким доступом до документів та інформації по кожній взаємодії);
- обсяг і частота продажів за деякий період часу;
- обсяг витрачених ресурсів на здійснення продажів.

На основі накопичених даних про потреби поточних клієнтів і продажу, з метою підвищення якості обслуговування, швидкості реагування на вимоги споживачів, необхідно проведення оперативного маркетингового і фінансового аналізу, контроль кожного етапу робіт в розрізі досягнутих результатів.

Для оцінки якості сформованої інформаційної бази потрібно перевіряти не тільки її кількісні характеристики, але і якісні: достовірність, повноту і актуальність зібраної інформації, адже недостатня або неякісна інформаційна база впливає на суб'єктивізм подальшої оцінки рівня ризиків, підсилює його ,

як наслідок, знижує ефективність всього подальшого процесу ризик-менеджменту.

Якщо ланцюг поставок включає невелику кількість ланок, система управління ризиками може бути організована без створення спеціального відділу, управління ризиками може здійснювати один із заступників керівника паралельно зі своїми основними обов'язками.

Головними перевагами такої системи є її порівняльна дешевизна, простота реалізації, вона не потребує переформування організаційної структури підприємства. Однак подібне управління буде формальним і безсистемним, істотні ризики можуть залишитися без потрібної уваги або зовсім не поміченими. Таким чином, ефективність системи управління ризиками буде на порядок нижчою, ніж у випадку створення спеціального відділу.

Важливим, на нашу думку, є визначення місця служби (відділу) управління ризиком в організаційній структурі підприємства. Її не можна створювати як підвідділ будь-якого функціонального відділу, вона повинна бути обов'язково самостійним відділом організації.

На рис. 3.4 відображене місце відділу управління ризиками в схемі інтегрованого ланцюга поставок.

До функцій служби (відділу, групи) управління ризиками в основному відносяться:

- пошук джерел ризиків за допомогою аудиту, аналізу рішень, прийнятих вищим керівництвом, роботи зі звітною документацією;
- проведення аналізу ризиків, розробка і подальша робота з картами ризиків, іншою методичною документацією;
- щоденний моніторинг, аналіз причин виникнення, фіксація ризиків, організація процесу управління;
- виконання розрахунків, тестування використовуваних методів управління ризиками;

- обґрунтування доцільності страхування ризиків на основі методів і прийомів ризик-менеджменту;
- розробка відповідних методик щодо економічного обґрунтування необхідності страхування основних видів ризиків у ланцюгах поставок;
- ведення звітності, зберігання інформації в базах даних;
- контроль виконання поставлених задач.

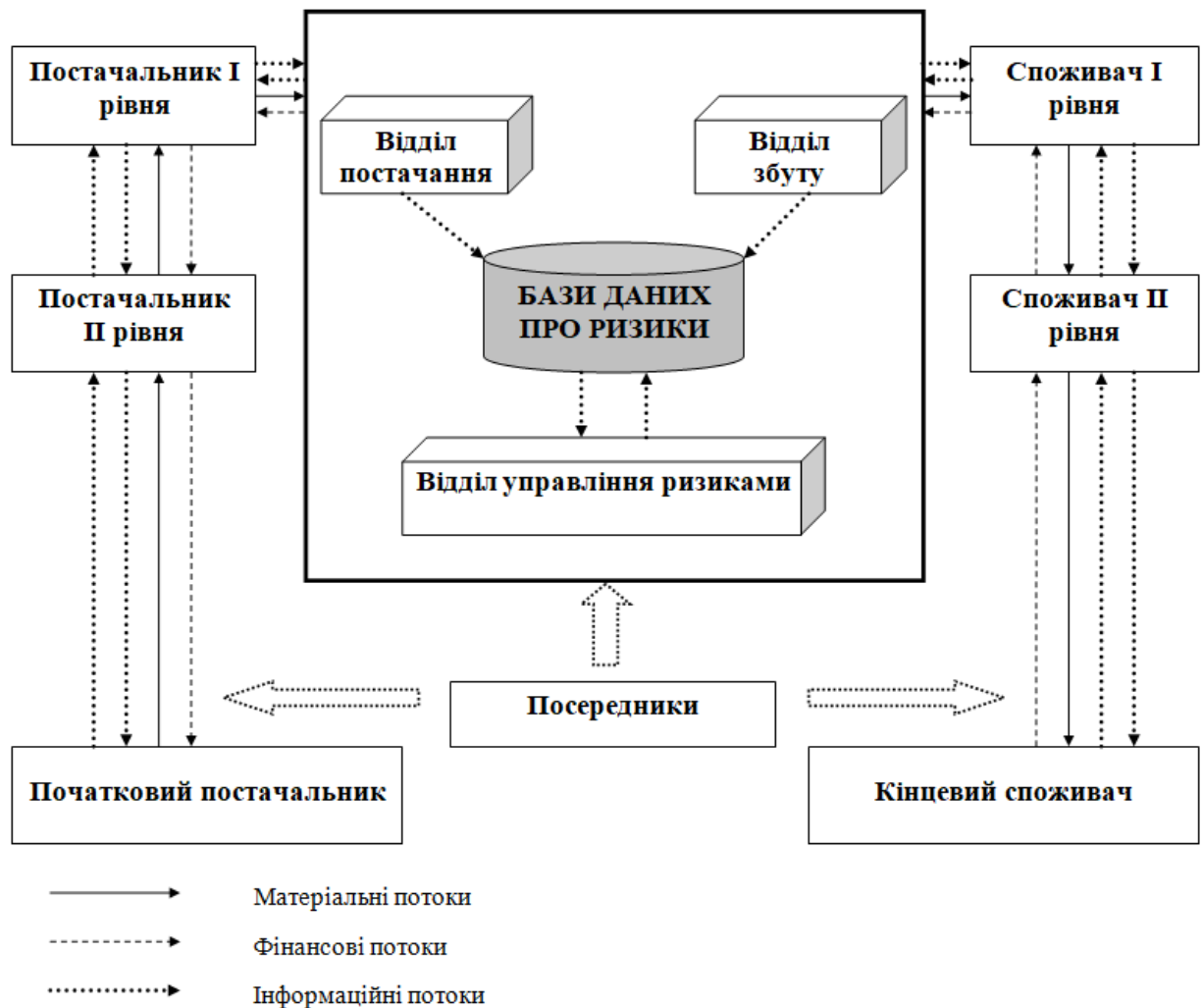


Рис. 3.4. Місце відділу управління ризиками в схемі інтегрованого ланцюга поставок*

*побудовано автором

Окремі види робіт з управління ризиками повинні бути організовані так, щоб робота могла бути самостійною, приділяти увагу високій мотивації фахівців в сфері управління ризиками, надати інформацію іншим

працівникам підприємства про функції служби та її характер її діяльності. Важливим є визначення професійних обов'язків персоналу відділу, адже в розподілі обов'язків не повинно бути протиріч.

Також для створення відділу потрібно переформування організаційної структури підприємства.

Група управління ризиками може включати фінансового менеджера, ризик-менеджера, фахівця із страхування і страхових розрахунків, фахівця з ризикових вкладень капіталу тощо. На рис. 3.5 зображена організаційна структура пропонованої служби управління ризиком.

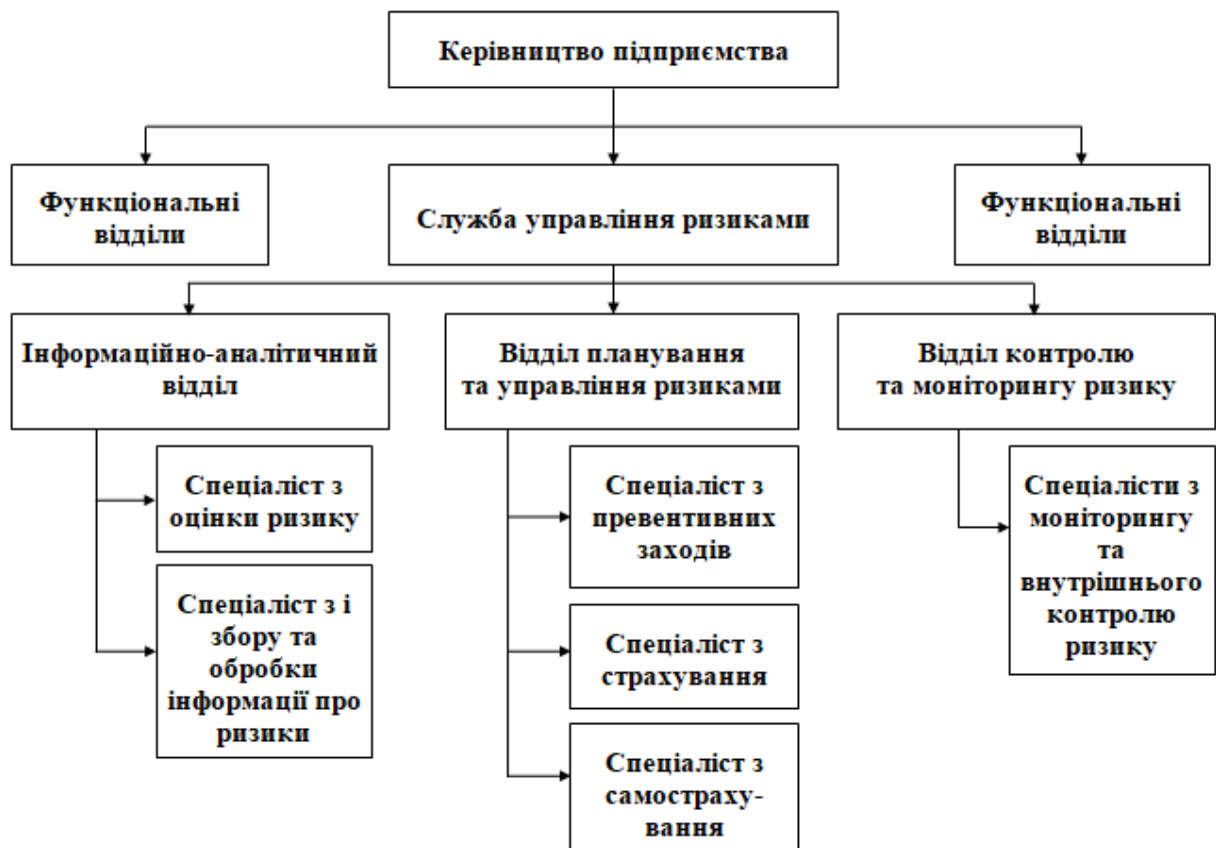


Рис. 3.5. Організаційна структура служби управління ризиком*

*побудовано автором

Основні недоліки такої пропозиції наступні. Створення відділу потребує найму додаткового персоналу, виділення приміщень для відділу

таким чином, потрібне додаткове фінансування. Додаткові витрати пов'язані з наступним:

- витратність деяких способів з управління ризиками;
- висока вартість кваліфікованих фахівців;
- відсутність чітких процедур з управління ризиком;
- відсутність достатньої кількості кваліфікованих фахівців;
- нерозуміння пріоритету функцій з управління ризиком в більшості організацій;
- недостатня вивченість всіх напрямків впливу ризиків.

Створення служби управління ризиком дозволить підвищити доходи завдяки наступним можливостям:

- підвищення безпеки діяльності організації;
- можливість економії;
- підвищення престижу фірми в очах партнерів;
- зниження претензій до фірми з боку партнерів;
- підвищення ефективності управління персоналом;
- узгодженість всіх підрозділів компанії за рахунок об'єднуючого впливу ризик-менеджменту;
- можливе збільшення тривалості життєдіяльності компанії;
- оптимізація організаційної культури;
- підвищення обсягу та потужності інвестицій і ринку.

Функції групи управління ризиком повинні бути пов'язані з основними функціями управління ланцюгом поставок (рис. 3.6).

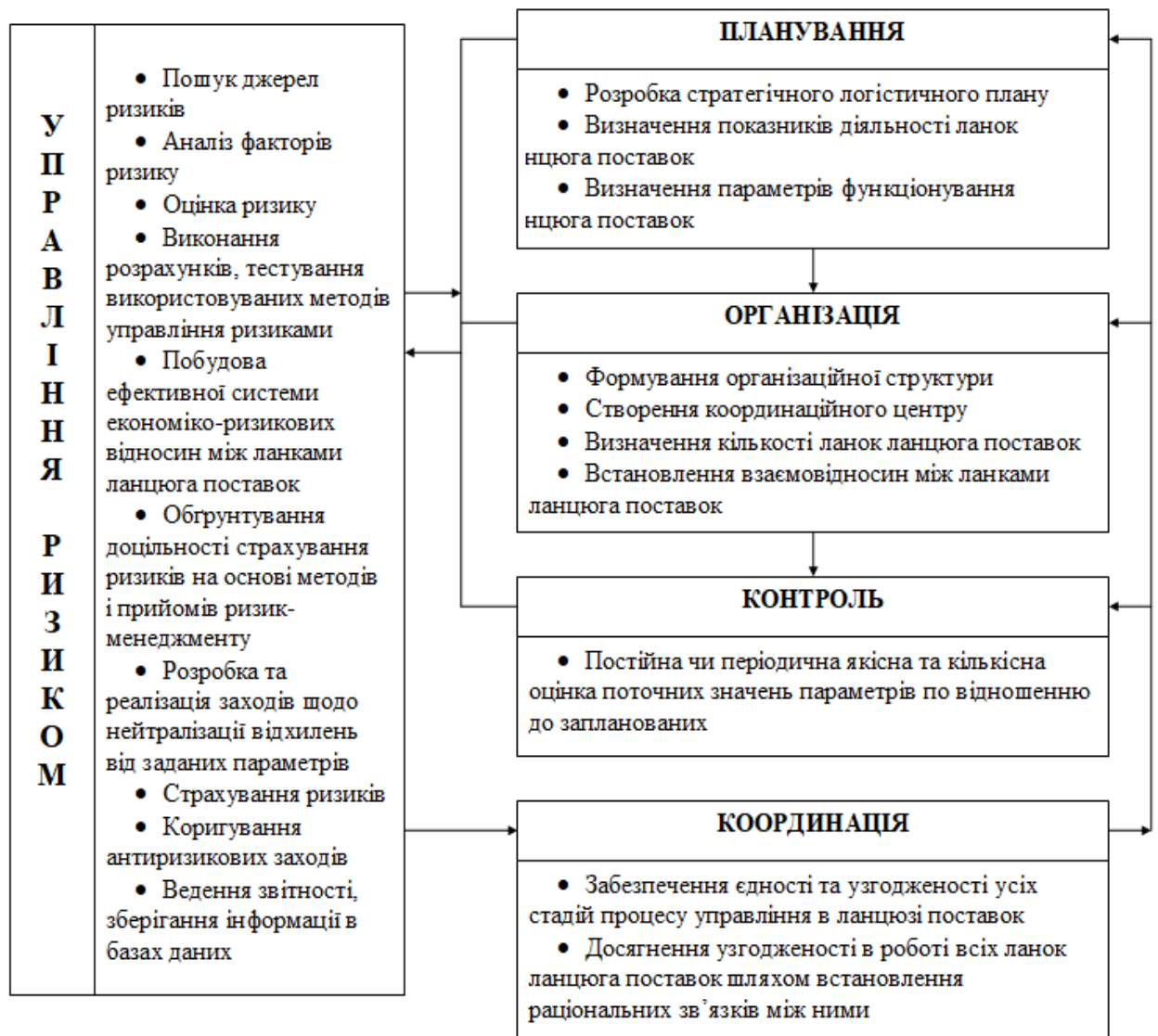


Рис. 3.6. Взаємозв'язок функцій відділу управління ризиками з основними функціями управління підприємством в рамках ланцюга поставок*

*побудовано автором

За наявності вищезгаданих статистичних даних, які знаходяться в розпорядженні фахівців групи управління ризиком, постає питання про їх обробку. Зазначимо, що для опису попиту в моделях управління запасами найбільш розумним, на думку багатьох дослідників, є гамма-розподіл, окремим випадком якого є розподіл Ерланга.

Якщо в розпорядженні фахівців з ризику є статистичні дані Y_1, Y_2, \dots, Y_n , які представляють собою фактичні розміри попиту на деяку продукцію, то для відшукування параметрів розподілу за спостереженнями

Y_1, Y_2, \dots, Y_n можна використовувати такі найбільш поширені методи як метод моментів і метод максимальної правдоподібності. Також для оцінки параметрів розподілу може бути застосована програма Microsoft Excel ([27], [115]). Аналогічно можуть бути розв'язані задачі найкращого оцінювання і для інших розподілів величини попиту, які можуть виникати в діяльності логістичних ланцюгів поставок і використовуватися в процесі розв'язку задач управління ризиком.

Обробка наявної в розпорядженні групи управління ризиками інформації дозволяє отримати найбільш точні оцінки характеристик попиту, що дасть можливість для обґрунтування економічної доцільності страхування ризиків.

Ефективність інтеграції та кооперації в ланцюгах поставок може бути істотно підвищена за рахунок введення поняття «віртуальний логістичний оператор» (ВЛО). Під ВЛО розуміється нова форма економічної організації [218], яка:

- об'єднує в ланцюгах поставок різні види діяльності і ресурси допомогою сучасних ІТ;
- надає нові, раніше недоступні послуги, що з'являються внаслідок кооперації великої кількості компаній різної спрямованості;
- оптимізує виконання операцій з метою отримання синергетичного ефекту.

При створенні ВЛО компанії інтегруються і створюють нову віртуальну структуру, тобто частина структур і обов'язків цієї компанії стають загальними (їх бере на себе ВЛО). Наприклад, пошук, обробка інформації, координація роботи тощо. Крім того, ВЛО оптимізує всі сфери діяльності компаній, всі неосновні функції передаються на аутсорсинг партнерам по ВЛО (наприклад, перевізник може передати функції навантаження або вивантаження). Для клієнта, який робить замовлення, завжди знаходиться оптимальний варіант виконання, причому він

оптимальний не тільки для споживача, але і для виконавця послуг, так як при підборі варіантів ВЛО вибирає найбільш зручний для обох сторін варіант.

ВЛО створюється за допомогою відбору необхідних організаційно-технологічних ресурсів, що належать різним підприємствам (як логістичним, так і супутнім), та їх інтеграції з використанням комп'ютерної мережі. Такий підхід дає можливість формувати гнучку і динамічну організаційну систему, найбільш пристосовану для успішного бізнесу в швидко мінливому середовищі.

Аналіз застосування ІТ в бізнесі показує, що використання віртуальних посередників в ланцюгах поставок дозволяє скоротити логістичні витрати від 5 до 60%, підвищити точність поставок від 10 до 50%, знизити час проходження товарів по ланцюгу від 5 до 50%, підвищити надійність ланцюга поставок до 30%, збільшити оборот і частки ринку за рахунок поліпшення реакційної здатності системи і поліпшення якості роботи з клієнтами до 50%. За оцінками фахівців до 80% вартості кінцевого продукту залежить від рішень, прийнятих на етапі побудови ланцюга поставок [218].

Таким чином, використання інформаційних технологій і віртуальних посередників в процесі інтегрованого планування діяльності учасників ланцюга поставок дозволить:

- скоротити терміни виконання замовлень;
- правильно розподілити запаси по складах;
- подолати залежність від обмежень по матеріалам і потужностям;
- підвищити якість обслуговування клієнтів;
- скоротити витрати на управління запасами;
- об'єднати планування продажів, виробництва і розподілу продукції;
- скоротити витрати на доставку;
- виявити і скоротити рівень надлишкових запасів;
- оптимізувати страхові запаси і рівні запасів сировини і матеріалів;

- оптимізувати використання виробничих і логістичних ресурсів.

Зазначимо, що у деяких випадках вигідніше передати стороннім організаціям систему управління ризиком цілком або її окремі функції (наприклад, оцінку ризику або управління конкретними ризиками), тобто віддати на аутсорсинг. Це дозволить позбавитися від необхідності виконання тих чи інших складних дій і процедур ризик-менеджменту, для чого було б необхідно наймати високооплачуваних професіоналів та зекономити на витратах, тому що виконання деяких функцій своїми силами часто обходиться дорожче. Такий крок також дозволить підприємству зосередитися на основній діяльності та отримати додаткові переваги від поділу схильності до ризику на частини, що забезпечують прийнятний рівень збитків по кожній з них окремо.

Висновки за розділом 3

1. На основі математичної теорії ризику розроблені методичні положення для обґрунтування економічної доцільності страхування основних фінансових ризиків у діяльності логістичних ланцюгів поставок. Суттєвою особливістю перерахованих методик є те, що вони побудовані на одночасному моделюванні процесів виробництва і доставки готової продукції в рамках ланцюга поставок і їх фінансових результатів, що є новим кроком у моделюванні процесів ризику.

2. Сформульовані розв'язувальні правила, які дозволяють встановити доцільність страхування ризиків, пов'язаних з нестачею ресурсів для виробництва продукції і ризиків, що виникають через відхилення запланованих до випуску обсягів продукції від фактичного попиту. Суть розроблених методів полягає в оцінці очікуваного прибутку від реалізації продукції з урахуванням страхування зазначених ризиків і без страхування. Суттєвою особливістю методик є те, що вони побудовані на одночасному моделюванні процесів виробництва і доставки готової продукції в рамках ланцюга поставок та їх фінансових результатів, що є новим кроком у моделюванні процесів ризику. Застосування розроблених методів проілюстровано для випадку, коли величини попиту і виробничі коефіцієнти розподілені за показовим законом, що відповідає самому несприятливому попиту. Після розв'язку двох задач одноетапної стохастичної оптимізації для кожного значення очікуваного прибутку проводиться порівняння двох значень максимального прибутку і приймається рішення про страхування або нестрахування ринкового ризику. Зазначені методики доведені до розрахункових формул і можуть бути використані в практиці.

3. Знайдено рівноважні рішення для конкуруючих ланцюгів поставок з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників, яка полягає в технологічні нововведення на підприємствах. Для цього побудована економіко-математична модель дуополії, заснована на моделі оптимізації

плану виробництва і доставки багатомноменклатурної продукції. Для врахування інноваційної активності вважалось, що виробничі витрати підприємств знаходяться в зворотній залежності від розміру інноваційних інвестицій. Розроблена модель дозволила визначити рівноважні рішення дуополії за Курно, коли підприємства приймають рішення про випуск продукції одночасно і незалежно один від одного, і за Штакельбергом, коли один виробник вважає, що конкурент буде вести себе як дуополіст Курно. Проведені розрахунки показали, що інвестиційні вкладення дозволяють збільшити розмір прибутку і конкурентоспроможність промислових підприємств. Надалі можливі різні узагальнення наведених результатів, наприклад, побудова та дослідження динамічних моделей оптимізації з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників, а також аналогічні дослідження для інших ринкових структур.

4. Сформульовані основні вимоги, які відносяться до подальшого вдосконалення організації управління ланцюгами поставок, а саме до організації збору та статистичної обробки інформації, що стосується фінансових ризиків в ланцюгах поставок. При збільшенні обсягу робіт з управління ризиками, представляється доцільним створення в рамках ланцюга поставок групи або відділу управління ризиками на виробничому підприємстві, а також ведення баз даних, в яких збирається і систематизується необхідна інформація. До функцій такого відділу в основному відноситься обґрунтування доцільності страхування ризиків на основі методів і прийомів ризик-менеджменту і розробка відповідних методик, що стосуються економічного обґрунтування необхідності страхування основних видів ризиків у ланцюгах поставок. В інформаційних базах даних може зберігатися і накопичуватися інформація щодо кожного конкретного споживача продукції та постачальника сировини та комплектуючих, історії та видів взаємодій з кожним потенційним і реальним постачальником та споживачем, дані щодо обсягу і частоти продажів за деякий період часу та обсягів витрачених ресурсів на здійснення продажів.

Створення служби управління ризиком дозволить підвищити безпеку діяльності організації, престиж фірми в очах партнерів, ефективність управління персоналом, обсягом та потужностями інвестицій, знизити претензій до фірми з боку партнерів, дасть можливості економії. Таким чином, це дозволить підвищити ефективність роботи ланцюга поставок за рахунок узгодженості всіх підрозділів компанії, об'єднання планування продажів, виробництва і розподілу продукції, скорочення витрат на управління запасами, виробництво, доставку, дозволить швидко реагувати на вимоги споживачів і підвищити якість обслуговування клієнтів.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у роботі здійснено теоретичне обґрунтування та вирішення наукового завдання з оптимізації управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику, що дозволяє зробити наступні основні висновки:

1. Дослідження сучасного стану розвитку логістики в Україні показало, що для сучасного етапу розвитку українського ринку логістичних послуг характерні такі проблеми як відстала інфраструктура транспорту, недостатня кількість і низький техніко-технологічний рівень вантажних терміналів, низький рівень розвитку сучасних систем електронних комунікацій, зв'язку, слабкий рівень розвитку виробничо-технічної бази складського господарства, недолік сучасного технологічного обладнання по переробці продукції, низький рівень автоматизації та механізації складських робіт тощо.

Систематизація основних причин і заходів щодо зниження невизначеності та ризиків в ланцюгах поставок дозволила встановити, що в зв'язку з поширенням на практиці концепції ланцюга поставок виникають чисельні проблеми, які стосуються їх оптимального проектування та оптимального управління їх функціонуванням. Ці проблеми, можуть бути вирішені за допомогою ряду конкретних теорій, таких як: мікроекономіка, операційний менеджмент, логістичний менеджмент, ризик-менеджмент, теорія конкуренції, дослідження операцій (теорія управління запасами, теорія оптимізації) тощо.

2. Проведений аналіз існуючих результатів моделювання ланцюгів поставок показав, що на даний момент в галузі економіко-математичного моделювання використовуються в основному статичні моделі, засновані на багатовимірних задачах лінійного програмування, є приклади використання і динамічних моделей, але вони враховують тільки один вид запасів (наприклад, сировини на виробничому підприємстві). Крім того, не в

достатній мірі враховується специфіка функціонування ланцюгів поставок в рамках VAT-класифікації, яка ґрунтується на тому, як проходить матеріальний потік через весь ланцюг поставок. Недостатньо використані сучасні методи ризик-менеджменту, засновані на теорії ймовірностей, математичній статистиці і стохастичному програмуванні, слабо використовується величезний теоретичний матеріал, розроблений в теорії управління запасами.

3. Побудовані та проаналізовані статичні моделі оптимального планування взаємодії підприємств у ланцюгу поставок з врахуванням факторів зовнішньої (випадковий попит на продукцію в пунктах призначення) та внутрішньої (коливання виробничих коефіцієнтів) невизначеності для різних конфігурацій ланцюгів поставок в рамках VAT-класифікації. Така класифікація дозволяє швидко і точно діагностувати джерело проблем на виробництві та виробити рекомендації щодо їх подолання, а також кількісно оцінювати синергійні ефекти у межах логістичної мережі.

4. Розроблено комплекс моделей оптимального управління функціонуванням ланцюгів поставок з урахуванням коливання рівня запасів в окремих ланках ланцюгів в умовах невизначеності та ризику з врахуванням фактора часу, які дозволяють вдосконалити взаємодію підприємств у ланцюгах поставок різних конфігурацій з врахуванням факторів зовнішньої та внутрішньої невизначеності, що дозволяє аналізувати різні варіанти прийняття рішень щодо узгодження між собою обсягів виробництва і доставки готової продукції кінцевому споживачу залежно від зміни попиту на неї, проводити аналіз роботи ланцюгів поставок і вносити конкретні пропозиції щодо вдосконалення планування їх роботи. Для всіх розроблених моделей оптимізації в роботі проведені розрахунки для випадку, коли величини попиту і виробничі коефіцієнти розподілені за законами Ерланга. Розрахунки показали, що наслідком неточно прогнозованого попиту є високі транспортні витрати, нереалізовані можливості продажу, що тягне за собою

втрату прибутку. Більш точний прогноз попиту на продукцію дозволяє учасникам логістичного ланцюга збільшити загальний прибуток за рахунок зменшення витрат на зберігання, транспортування та закупівлю. Всі розроблені в другому розділі моделі з деякими обмеженнями можуть використовуватися в практичній діяльності.

5. На основі математичної теорії ризику розроблено методичні положення для кількісної оцінки основних типів ризиків, які виникають при функціонуванні ланцюгів поставок. Суть розроблених методів полягає в оцінці очікуваного прибутку від реалізації продукції з урахуванням страхування зазначених ризиків і без страхування. Сформульовані розв'язувальні правила, які дозволяють встановити доцільність страхування ризиків, пов'язаних з нестачею ресурсів для виробництва продукції і ризиків, що виникають через відхилення запланованих до випуску обсягів продукції від фактичного попиту. Застосування розроблених методів проілюстровано для випадку, коли величини попиту і виробничі коефіцієнти розподілені за показовим законом, що відповідає самому несприятливому попиту. Після розв'язку двох задач стохастичної оптимізації для кожного значення очікуваного прибутку проводиться порівняння двох значень максимального прибутку і приймається рішення про страхування або нестрахування ринкового ризику. Зазначені методики доведені до розрахункових формул і можуть бути використані в практиці. Суттєвою особливістю розроблених методик є те, що вони побудовані на одночасному моделюванні процесів виробництва і доставки готової продукції в рамках ланцюга поставок і їх фінансових результатів, що є новим кроком у моделюванні процесів ризику.

6. Знайдено рівноважні рішення для конкуруючих ланцюгів поставок з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників, яка полягає в технологічних нововведеннях на підприємствах. Побудована економіко-математична модель дуополії, заснована на моделі оптимізації плану виробництва і доставки багатоміністерської продукції. Для врахування інноваційної активності вважалось, що виробничі витрати

підприємств знаходяться в зворотній залежності від розміру інноваційних інвестицій. Розроблена модель дозволила визначити рівноважні рішення дуополії за Курно, коли підприємства приймають рішення про випуск продукції одночасно і незалежно один від одного, і за Штакельбергом, коли один виробник вважає, що конкурент буде вести себе як дуополіст Курно. Проведені розрахунки показали, що інвестиційні вкладення дозволяють збільшити розмір прибутку і конкурентоспроможність промислових підприємств. Надалі можливі різні узагальнення наведених результатів, наприклад, побудова та дослідження динамічних моделей оптимізації з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників, а також аналогічні дослідження для інших ринкових структур.

7. Надано пропозиції щодо вдосконалення організаційної структури виробничих підприємств-ланок ланцюга поставок. При збільшенні обсягу робіт з управління ризиками, представляється доцільним створення в рамках ланцюга поставок групи або відділу управління ризиками на виробничому підприємстві, а також ведення баз даних, в яких збирається і систематизується необхідна інформація. До функцій такого відділу в основному відноситься обґрунтування доцільності страхування ризиків на основі методів і прийомів ризик-менеджменту і розробка відповідних методик, що стосуються економічного обґрунтування необхідності страхування основних видів ризиків у ланцюгах поставок. В інформаційних базах даних може зберігатися і накопичуватися інформація щодо кожного конкретного споживача продукції та постачальника сировини та комплектуючих, історії та видів взаємодій з кожним потенційним і реальним постачальником та споживачем, дані щодо обсягу і частоти продажів за деякий період часу та обсягів витрачених ресурсів на здійснення продажів. Така організація дозволить підвищити ефективність роботи ланцюга поставок за рахунок об'єднання планування продажів, виробництва і розподілу продукції, скорочення витрат на управління запасами,

виробництво, доставку, дозволить швидко реагувати на вимоги споживачів і підвищити якість обслуговування клієнтів.

Одержані результати можуть бути основою для подальших досліджень у цьому напрямку, серед яких можна, наприклад, вказати наступні:

- визначення ймовірності розорення окремих ланок ланцюга поставок;
- врахування зворотних зв'язків між пунктами кінцевого споживання готової продукції та підприємством-виробником, у тому числі в умовах конкуренції;
- побудова та дослідження моделей оптимізації з урахуванням інноваційної діяльності підприємств-виробників та фактора часу;
- дослідження більш складних конфігурацій логістичних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акимов В.А. Концепции риска и концепции анализа риска / В.А. Акимов, С.П. Воронов, Н.Н. Радаев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3, № 2. – С. 562-567.
2. Алькема В. Г. Інструментарій вдосконалення механізму управління ризиками в логістичних системах торгівельних підприємств / В. Г. Алькема, О. О. Кучмєєв // Вчені записки Університету "КРОК". Серія "Економіка". – 2018. – Вип. 4(52). – С. 148-155.
3. Бай О.А. Управління закупівельною діяльністю підприємства на основі моделювання його функціонування у відкритій системі / О.А. Бай // Економічний вісник Національного гірничого університету. – 2011. – № 1. – С. 125-131.
4. Баканов М.И. Анализ коммерческого риска / М.И. Баканов, В.А. Чернов // Бухгалтерский учет. – 1993. – № 10. – С. 12-18.
5. Бакута А.В. Проблеми та перспективи складської логістики в Україні / А.В. Бакута // Формування ринкових відносин в Україні. – 2012. – № 2. – С. 152-159.
6. Батова И.Б. Классификация рисков и причины их возникновения [Электронный ресурс] / И.Б. Батова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1. Режим доступа: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=11976>
7. Башкатов А.М. Моделирование взаимодействия ж.-д. транспорта и маршрутных региональных средств промышленного узла / А.М. Башкатов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 9. – С. 88-93.
8. Белякова Е.В. Управление закупками машиностроительного предприятия / Е.В. Белякова, А.А. Рыжая // Решетневские чтения: логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 2. – С.437-439.

9. Більовський К.Е. Стан та перспективи розвитку ринку логістичних послуг в Україні / К.Е. Більовський // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2016. – № 4, т. 2. – С. 25-29.
10. Бланк И.А. Финансовый менеджмент: Учебный курс. 2-е изд., перераб. и доп. / И.А. Бланк. – К. : Эльга, Ника-Центр, 2004. – 656 с.
11. Бочкарев А.А. Автоматизация планирования и моделирования цепи поставок: Монография / А.А. Бочкарев. – СПб.: СПбГИЭУ, 2008. – 291 с.
12. Бродецкий Г.Л. Моделирование логистических систем. Оптимальные решения в условиях риска / Г.Л. Бродецкий. – М. : Вершина, 2006. – 376 с.
13. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в логистике: потоки событий и системы обслуживания. Учебное пособие / Г.Л. Бродецкий. – М. : Образовательно-издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
14. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в логистике: процедуры оптимизации. Учебное пособие / Г.Л. Бродецкий, Д.А. Гусев. – М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.
15. Будрина Е.В. Проблема выявления, идентификации и оценки логистических рисков / Е.В.Будрина // Логистика в современном бизнесе: материалы междунар. конф. (Москва, 2001 г.). – М. : Изд-во ГУ-ВШЭ, Международный центр логистики, 2001. – С. 98-104.
16. Бутрин А.Г. Управление сбытом в цепи поставок промышленного предприятия: монография / А.Г. Бутрин, Д.А. Полюнас. – Челябинск : Абрис-Принт, 2010. – 92 с.
17. Бутрин А.Г. Эффективное управление сбытом в цепи поставок промышленного предприятия / А.Г. Бутрин, Е.И. Рогожников, В.И. Цаплин // Экономический анализ: теория и практика. – 2010. – № 15(180). – С. 30-36.

18. Буяк Л.М. Математичні моделі загальної економічної динаміки з урахуванням соціально-економічної кластеризації : монографія / Л.М.Буяк / Чернівці: ЧНУ, "Рута", 2016. – 392 с.
19. Ваніна Д. Класифікація фінансових ризиків страхових організацій / Д. Ваніна // Науковий вісник. – 2014. – № 1. – С. 17-29.
20. Векленко В.И. Риск как экономическая категория / В.И. Векленко, Э. Своински // Экономические науки. – 2008. – № 9. – С. 82–84.
21. Вітлінський В.В. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія / В.В. Вітлінський. – К. : КНЕУ, 2004. – 480 с.
22. Вико Дж. Основания новой науки об общей природе наций / Дж. Вико. – К. : REFL-book, 1994. – 656 с.
23. Вильмс М.А. Локальная модель управления цепями поставок при ненадежных поставщиках / М.А. Вильмс, А.С. Мандель, И.И. Барладян // Управление большими системами. – 2016. – № 59. – С. 147-164.
24. Воевудський Є.М. Конкуренція та інтеграція у моделі логістичної системи / Є. М. Воевудський, А. М. Холоденко // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2003. – Вип. 5. – С. 5–34.
25. Войнаренко М. П. Економічна безпека підприємства в конкурентно-середовищі : монографія / М. П. Войнаренко, Т. Т. Дуда, В. В. Лук'янова, О.Ф. Яременко ; за наук. ред. М. П. Войнаренка.–Хмельницький : ХНУ, 2008.
26. Вороб'єва В.Р. Управление цепями поставок (SCM – Supply chain management) / В.Р. Вороб'єва, В.Б. Романюк, Д.В. Худяков // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: материалы III междунар. научн. конф. (г. Томск, 23-26 мая 2016 г.). – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 640-643.
27. Воскобойников Ю.Е. Математическая статистика с примерами в Excel: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.Е. Воскобойников, Е.И. Тимошенко. – Новосибирск : НГА. СУ (Сибстрин), 2006. – 152 с.

28. Гаврилова Н.В. Напрями зниження інвестиційних ризиків підприємства / Н.В.Гаврилова // Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. – 2012. – Вип. 22, ч.1. – С. 302-308.

29. Гаджинский А. М. Логистика : учеб. для высш. и сред. спец. учеб. завед. / А. М. Гаджинский. –2-е изд. –М. : Информационно-внедренческий центр "Маркетинг", 1999. –228 с.

30. Гассенди П. Сочинение в двух томах. Избранные произведения / П. Гассенди. – М.: Мысль, 1966-1968. – Т.1: 431 с., Т.2: 836 с.

31. Горячева И.А. К вопросу терминологического определения уязвимости цепи поставок: факторы, причины и формирование адаптивной модели управления / И.А. Горячева, В.Н.Трегубов // Логистика и управление цепями поставок. – 2019. – № 3(92). – С. 11-17.

32. Гранатуров В.М. Аналіз підприємницьких ризиків: проблеми визначення, класифікації та кількісні оцінки: монографія / за наук. ред. В.М. Гранатурова. – Одеса : Ін-т проблем ринку та екон.-екол. досліджень НАН України, 2003. – 164с.

33. Григорук П.М. Методологічні засади моделювання системи забезпечення фінансово-економічної безпеки в умовах невизначеності і багатомірності ринкового середовища/П.М.Григорук, Н.А. Хрущ // Науковий вісник Мукачівського державного університету. Серія «Економіка».–2017. – №1 (7). –С. 198–204.

34. Григорук П.М. Теоретико-методологічні засади економіко-математичного моделювання процесів прийняття маркетингових рішень. – Хмельницький.: ХмЦНП, 2014. – 344 с.

35. Гринів Л.В. Методи оцінки ефективності прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності / Л.В. Гринів, О.П. Вачіль // Вісник Прикарпатського університету. Серія: Економіка. – 2015. – Вип. 11. – С. 292-296.

36. Грицина Л.А. Сучасний стан та перспективи розвитку транспортної логістики в Україні. Інфраструктура ринку: електрон.наук.-практ. журн. [Електронний ресурс] / Л.А. Грицина, М.В.Кошівська. – Одеса, 2018. – Вип. 18. – С. 11-18. Режим доступу: http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/18_2018_ukr/5.pdf.

37. Губанов Р.С. Страхование финансовых рисков как метод риск-менеджмента / Р.С.Губанов // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – № 8. – С.31-35.

38. Гутаревич В.О. Математичні моделі просування вантажопотоків декількома видами транспорту / В.О.Гутаревич // Проблеми розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2011: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Несебр (Болгарія), 25–30 вересня 2011 р.). – Одеса : ОНМУ, 2011. – С. 182-184.

39. Дейнега О.В. Сучасні моделі інтеграції інформаційних потоків підприємств у ланцюгах поставок / О.В. Дейнега // Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент. – 2017. – Вип. 24(1). – С. 111-115.

40. Довженко О.О. Перспективи розвитку логістики на українських підприємствах [Електронний ресурс] / О.О. Довженко, О.С. Мельничук // Економіка. Управління. Інновації. – 2011. – № 2. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2011_2_14

41. Дорожкин А.М. Понятие «неопределенность» в современной науке и философии / А.М. Дорожкин, О.И. Соколова // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. – 2015. – №12. – С. 5-12.

42. Дубовик С.Г. Управління ланцюгами поставок підприємств, їхні сутність і структура / С.Г. Дубовик, Н.О. Сигида, Ю.Ю. Спесивий // Економіка та суспільство. – 2018. – № 8. – С. 402-410.

43. Дудинская М.В. Оценка устойчивости и идентификация логистических рисков в цепях поставок / М.В. Дудинская // Логистика и управление цепями поставок. – 2016. – № 6(77). – С. 24-31.

44. Дыбская В.В. Провайдеры логистических услуг - кто они? / В.В. Дыбская // Логистика и управление цепями поставок. – 2004. – № 1. – С. 51-63.
45. Економічна безпека підприємства в конкурентному середовищі : монографія / за наук. ред. проф. М. П. Войнаренка. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 312 с.
46. Ермакова П.А. Виртуальные логистические провайдеры в системе классификации логистических операторов [Электронный ресурс] / П.А. Ермакова // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 1. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3948>
47. Ермольев Ю.М. Математические методы исследования операций / Ю.М. Ермольев, И.И. Ляшко, В.С. Михалевич, В.И. Тюптя. – К. : Вища школа, 1979. – 312 с.
48. Жаков В.В. Современные подходы к анализу и повышению конкурентоспособности цепи поставок / В.В. Жаков // Sciences of Europe. – 2019. – № 41. – С. 9-13.
49. Захаров К.В. Логистика, эффективность и риски внешнеэкономических операции / К.В. Захаров, К.В. Бочарников, В.В. Липовский. – Киев : Эльга, Ника-Центр, 2004. – 260 с.
50. Землячова О.А. Класифікація фінансових ризиків та методи їх зниження / О.А.Землячова, Л.С.Савочка // Науковий вісник: фінанси, банки, інвестиції. – 2012. – С. 50-57.
51. Зюзина Н.Н. Риски: понятие и управление в современных условиях / Н.Н. Зюзина // Территория науки. – 2014. – № 3. – С. 42-47.
52. Иванов Д.А. Неопределенность и риски в цепях поставок: классификация задач и направления будущих исследований / Д.А. Иванов, М.А. Иванова // Российский журнал менеджмента. – 2015. – Т. 13. – № 2. – С. 99-128.
53. Иванов Д.А. Управление цепями поставок / Д.А. Иванов. – СПб. : Изд-во Политех.ун-та, 2009. – 660 с.

54. Ильина Ю.А. Устойчивость глобальных цепей поставок в условиях нестабильной внешней среды / Ю.А. Ильина // Актуальные вопросы -экономических наук. – 2016. – № 52. – С. 75-79.
55. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / М. Интрилигатор. – М.: Айрис-Пресс, 2002. – 576 с.
56. Кальченко А. Проблеми логістичного ринку послуг / А. Кальченко // Маркетинг в Україні. – 2009. – №1. – С. 59-63.
57. Каминский А.Б. Економічний ризик та методи його вимірювання / А.Б. Каминский. – Донецьк : Козаки, 2002. – 120 с.
58. Кислий В. Розвиток транспортно-логістичних кластерів в Україні / В. Кислий // Економіка України. – 2010. – № 12. – С. 28-36.
59. Кислицин Е.В. Управление цепями поставок методами аналитического и имитационного моделирования / Е.В. Кислицин, В.В. Городничев // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2016. – №1 (11). – С. 111-116.
60. Клапків М.С. Страхування фінансових ризиків: монографія / М.С. Клапків. – Тернопіль : Екон. думка, Карт-бланш, 2002. – 570 с.
61. Клепікова О. Аналіз головних показників фінансової стійкості страхової компанії з використанням імітаційного моделювання / О.Клепікова, С.Поліщук, А.Сарамков, Д.Нечай / Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія економічна. - 2019. - № 96. - С.80-94.
62. Клепікова О. А. Вплив маркетингової політики на оптимізацію планування роботи постачальницької фірми в ланцюзі поставок / О.А. Клепікова // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2020. – № 6(288). – С. 130-133.
63. Клепікова О. А. Інформаційно-аналітичні системи прийняття рішень в управлінні підприємством // Вісник соціально-економічних досліджень: зб. наук. праць. – Одеса: Одеський національний економічний університет. – 2017. – № 1 (62). – С.196–204.

64. Кобець В.М. Економіко-математичне моделювання виробничо-транспортних систем в умовах інформаційної симетрії та асиметрії: дис.... канд. екон. наук: 08.00.11 / В.М. Кобець. – Одеса, 2008. – 218 с.
65. Ковалев М.Н. Моделирование цепей поставок в промышленности / М.Н. Ковалев // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого: научно-практический журнал. – 2014. – № 1. – С.117-124.
66. Колодізева Т.О. Використання інноваційних концепцій управління для удосконалення функціонування ланцюгів поставок / Т.О. Колодізева // Проблеми економіки. – 2017. – № 2. – С. 200-209.
67. Кольга П.В. Методы управления логистическими рисками на промышленных предприятиях / П.В. Кольга // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8–4. – С. 95-98.
68. Королев В.Ю. Математические основы теории риска / В.Ю. Королев, В.Е. Беннинг, С.Я. Шоргин. – М. : Физматгиз, 2007. – 544 с.
69. Короленко Н.В. Управление рисками логистической системы предприятия: теоретические аспекты [Электронный ресурс] / Н.В. Короленко // Эффективна економіка. – 2013. – № 10. Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2428>
70. Коюда П.М. Характеристика та класифікація ризиків / П.М. Каюда, О.П. Каюда // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – 2006. – Вып. 71. – С. 203–214.
71. Крикавський Є.В. Компліментарність стратегій маркетингу та логістики в ланцюгу поставок товарів повсякденного попиту / Є.В. Крикавський, Л.Я. Якимишин // Маркетинг і цифрові технології. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 21-32.
72. Крикавський Є.В. Концептуальні орієнтири маркетингово-логістичного управління ланцюгами поставок / Є.В. Крикавський, О.А. Похильченко // Маркетинг інновацій і інновації у маркетингу: матеріали X міжнар. наук.-практ. конф. (Суми, 29 вересня - 1 жовтня 2016 р.). – Суми : Ткачов О.О., 2016. – С. 136-137.

73. Крикавський Є.В. "Логістичний паспорт" України у глобальній конкуренції / Є.В. Крикавський, Н.В. Чернописька // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. – 2013. – № 769. – С. 324-331.
74. Крикавський Є.В. Сучасна трансформація ринку логістичних послуг / Є.В. Крикавський, М. Васелевський, М.М. Галелюк // Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. – 2010. – Вип. 4. – С. 322-328.
75. Крикавський Є.В. Промислові ланцюги поставок: між ефективністю та відповідальністю / Є.В. Крикавський // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 5. – С. 30-41.
76. Крикавський Є.В. Формування збутової стратегії промислового підприємства / Є.В. Крикавський, Н.С. Корсар // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. – 2012. – № 748. – С. 357-361.
77. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок. Пер. с англ. / М. Кристофер – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.
78. Кузьменко А.В. Досвід та закономірності формування світової транспортно-логістичної інфраструктури / А.В. Кузьменко // Науковий огляд. – 2015. – № 7 (17). – С. 5-18.
79. Куликова Е.Ю. Понятие «неопределенность» и прогнозирование оптимального вектора развития природно-технической геосистемы / Е.Ю. Куликова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 6. – С. 14-16.
80. Курамшин Н.Д. 5PL – новый уровень логистического аутсорсинга / Н.Д. Курмашин // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т.3. – № 8. – С. 54-56.

81. Куркин Н.В. Управление экономической безопасностью развития предприятия: Монография / Н.В. Куркин. – Донецьк: Арт-прес, 2004. – 452 с.
82. Куруджи Ю. В. Метод нахождения оптимальной равновесия между конкурирующими цепочками поставок с учетом инновационной деятельности / Ю. В. Куруджи // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2020. – № 1(278). – Т. 1. – С. 51-56.
83. Куруджи Ю.В. Об одной модели оптимизации планов поставки и выпуска продукции предприятия при случайном спросе / Ю.В.Куруджи // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2014. – Вип. 1(21). – С. 27-38.
84. Куруджи Ю.В. Об одной статической модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / Ю.В. Куруджи // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. –2013. – Вип. 2(43). – С. 150-163.
85. Куруджи Ю.В. Оптимизация планов закупки и доставки товара в логистической сети при случайном спросе [Електронний ресурс] / Ю.В. Куруджи // Глобальні та національні проблеми економіки: електронне наукове фахове видання. – 2017. – №18. – С. 603-607. Режим доступу: <http://global-national.in.ua/issue-18-2017/25-vipusk-18-serpen-2017-r/3360-kurudzhi-yu-v-optimizatsiya-planov-zakupki-i-dostavki-tovara-v-logisticheskoi-seti-pri-sluchajnom-sprose>
86. Куруджи Ю.В. Применение линейного программирования для оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / Ю.В. Куруджи, М.Я. Постан // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 2/2(16). – С. 42-47.
87. Куруджи Ю.В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок при случайном спросе / Ю.В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 5/2(19). – С. 31-35.

88. Куруджи Ю.В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок с учетом факторов внутренней и внешней неопределенности / Ю.В. Куруджи // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: «Економічні науки». – 2016. – №19. – С. 156-161.

89. Куруджи Ю.В. Разработка модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции с учетом факторов неопределенности / Ю.В. Куруджи // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4(3). – С. 12-15.

90. Кучмеев О.О. Особливості управління логістичними ризиками в ланцюгах поставок торговельних підприємств / О.О. Кучмеев // Причорноморські економічні студії. – 2018. – Вип. 35(2). – С. 52-56.

91. Левина Т.В. Актуальные вопросы управления логистическими рисками / Т.В.Левина // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 4(63). – С. 22-37.

92. Левкин Г.Г. Особенности классификации логистических рисков в управлении цепями поставок / Г.Г. Левкин, В.В. Чувинова // Глобальная трансформация национальных рыночных систем в ходе формирования экономики знаний: материалы междунар. науч.-практ. конф., часть 2 (Хабаровск, 2013 г.). – Хабаровск : РИЦ ХГАЭП, 2013. – С. 269-274.

93. Левковець П.Р. Удосконалення керування рухом автотранспортних засобів / П.Р. Левковець, І.М. Сергійчук, А.І. Сергійчук // Вісник Національного транспортного університету. – 2006. – № 11. – С. 236 - 239.

94. Липанов В.Д. Моделирование и усовершенствование алгоритма формирования оптимальных маршрутов транспортных перевозок / В.Д. Липанов, С.А. Кичкайло // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – Вип. 2. – С. 105-109.

95. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика. Управление цепями поставок: учебник / Под ред. Б.А. Аникина и Т.А. Родкиной. – Москва: Проспект, 2015. – 216 с.
96. Лузин В.П. Информационно-технические основы создания системы управления крупными рисками в страховой компании / В.П. Лузин. – М. : БУКВИЦА, 2000. –146 с.
97. Лук'янова В.В. Дослідження ризиків операційної діяльності підприємства / В.В. Лук'янова, А.В. Свідерська // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки. – 2012. – №4, Т.3. – С. 24-28.
98. Лук'янова В.В. Дуалізм невизначеності та ризику в економічних явищах / В. В. Лук'янова // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2017. – № 2, т. 2. – С. 216-220.
99. Лук'янова В.В. Економічний ризик: Навч. посібник / В.В. Лук'янова, Т.В. Головач. – К. : Академвидав, 2007. – 464 с.
100. Лук'янова В.В. Оцінювання ризику і стійкість економічної системи / В. В. Лук'янова // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. - 2014. - № 3(3). - С. 33-38.
101. Лук'янова О.М. Світовий досвід та перспективи розвитку транспортно-логістичної системи України / О.М. Лук'янова, Д.Ю. Кривцун // Економіка та суспільство. – 2018. – Вип. 18. – С. 166-172.
102. Лысенко Ю.Г. Моделирование технологической гибкости производственно-экономических систем: Монография / Ю.Г. Лысенко, Н.В.Румянцев – Донецк: ДонНУ, 2007. – 238 с.
103. Любченко В.О. Основные факторы риска в деятельности классификационного общества и методы его снижения / В.О.Любченко // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2009. – Вип. 15. – С. 152-168.

104. Макалюк І.В. Сучасний стан та передумови розвитку транспортно-логістичного бізнесу в Україні / І.В. Малюк, С. Зінчук // Сучасні проблеми економіки і підприємництво. – № 19. – С. 51-58.

105. Маликов О.Б. Определение запасов и емкости складов в цепях поставок / О.Б. Маликов // Известия ПГУПС. – 2017. – № 1. – С. 149-156.

106. Маликов О.Б. Складская и транспортная логистика в цепях поставок: учебное пособие / Маликов О.Б. – СПб : Питер. 2015. – 397 с.

107. Малиновский Д.А. Моделирование и анализ дуополии в конкурентной среде системы "промышленное предприятие-дистрибутивная сеть" каналам / Д.А. Малиновский // Розвиток методів управління та господарювання на транспорт. – 2012. – № 40. – С. 163–176.

108. Малюгина Т.В. Риски: понятие, общая классификация, виды и методы анализа / Т.В. Малюгина // Молодой ученый. – 2019. – №23. – С. 269-272.

109. Мандра В.В. Аналіз світового досвіду управління транспортно-логістичним центром / В.В. Мандра // Економічний аналіз : зб. наук. праць. 2016. – Т. 24. – № 2. – С. 92-97.

110. Мандра В.В. Організаційна модель стратегічного управління ризиками логістичного центру [Електронний ресурс] / В.В. Мандра // Інфраструктура ринку: електронне наукове фахове видання. – 2017. – Вип. 4. – С. 153–158. Режим доступу: http://www.market-infr.od.ua/journals/2017/4_2017_ukr/32.pdf

111. Мандра В.В. Принятие решений по управлению логистическими системами в условиях неопределенности / В.В.Мандра // Нове в економічній кібернетиці: зб. наук. ст. Методи, моделі та інформаційні технології підтримки прийняття рішень для складних економічних систем. – 2014. – Вип. 1. – С. 56–62.

112. Манжура О.М. Моделювання розподілу витрат та надбавки між підприємством виробником та збутовим посередником / О.М. Манжура //

Моделювання та інформаційні системи в економіці. – 2011. – Вип. 83. – С. 83-92.

113. Маргіта Н.О. Особливості управління логістичними ризиками на вітчизняних підприємствах та підходи до їх оцінки / Н.О. Маргіта, М.Ю. Криницька // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Логістика. – 2016. – № 846. – С. 110-119.

114. Матвеева М.А. Цифрофизация процессов управления запасами на предприятии / М.А. Матвеева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 12-3(39). – С. 91-93.

115. Математическая статистика. Описательная статистика. Статистические оценки: лаб. практикум / О. В. Новоселов и др; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2015. – 94 с.

116. Математичне та комп'ютерне моделювання економічних процесів : монографія / З. М. Соколовська, В. М. Андрієнко, І. Ю. Івченко та ін. – Одеса : Астропринт, 2016. – 272 с.

117. Мельников А.В. Риск-менеджмент. Стохастический анализ рисков в экономике финансов и страхования / А.В. Мельников. – М. : «АНКИЛ», 2001. – 112 с.

118. Мельников С.В. Економіко-математичне моделювання діяльності транспортного підприємства у ринковому середовищі: дис.... канд. екон. наук: 08.00.11/ С.В. Мельников – Одеса, 2010. – 179 с.

119. Мертенс А. Инвестиции: Курс лекций по современной финансовой теории / А. Мертенс. – К. : Киевское инвестиционное агентство, 1977. – 416 с.

120. Металл Украины: электронный журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ukrmet.dp.ua/>

121. Милль Дж.С. Основы политической экономии и некоторые аспекты их приложения к социальной философии / Дж.С. Милль. – М. : Прогресс, 2005. – 352 с.

122. Миэринь Л.А. Основы рискологии. Учебное пособие / Л.А. Миэринь. – СПб. : Питер, 2010. – 138 с.
123. Москвиченко И.М. Применение моделей экономического роста для прогнозирования инновационных процессов / И.М. Москвиченко // Управління проектами та розвиток виробництва. – 2002. – Вип 2(5). – С. 138-145.
124. Московкин В.М. Основы концепции диффузии инноваций / В.М. Московкин // Бизнес-Информ. – 1998. – №17-18. – С. 41-48.
125. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность, прибыль / пер. с англ. В.Г. Гребенников. – М. : Дело, 2003. – 360 с.
126. Некрасов А.Г. Комплексная безопасность цепей поставок. Научно-практическое пособие / А.Г. Некрасов. – М. : Print UP, 2009. – 106 с.
127. Нижник В.М. Управління конкурентоспроможністю промислових підприємств: методи та механізми підвищення: монографія /В. М. Нижник. – Хмельницький, 2012. –223 с.
128. Никитин С.И. Моделирование логистических процессов в условиях риска / С.И. Никитин, Е.С. Никифоров, К.В. Фельдшеров // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2013. – №1 (15). – С. 191-200.
129. Никифорова Г.И. Взаимодействие железнодорожного и морского транспорта в логистической цепи доставки внешнеторгового грузопотока / Г.И. Никифорова // Известия ПГУПС. – 2019. – № 3. – С. 339-346.
130. Огліх В.В. Оптимізація процесу керування підприємством в рамках виробничо-збутового циклу / В.В.Огліх, Т.І.Єфанова, Т.Г. Ніколаєв // Бізнес Інформ. – 2012. – № 3. – С. 224-227.
131. Омельченко В.Я. Принципы формирования маркетингово-логистических сетей в контексте глобальных экономических трансформаций / В.Я. Омельченко, А.П. Омельченко, К.В. Осипенко // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. - 2019. - № 5. - С. 175-179.

132. Онищенко С.П. Использование методики VAR для оценки рыночного риска судоходных компаний / С.П. Онищенко // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2003. – Вип. 5. – С. 45-55.
133. Орлова М.А. Терминология и классификация понятия «неопределенность» / М.А. Орлова // Вестник ТГУ. 2010. – Вып. 7(87). – С. 43-46.
134. Офіційний сайт міжнародної консалтингової компанії Armstrong&Associates [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3plogistics.com/3pl-market-info-resources/3pl-market-information/%20global-3pl-market-size-estimates/>
135. Офіційний сайт Світового банку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ipi.worldbank.org/international/global/2018>
136. Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/
137. Панфилова Э.А. Понятие риска: многообразие подходов и определений / Э.А. Панфилова // Теория и практика общественного развития. – 2010. – № 4. – С. 30-34.
138. Парфенов М.А. Типология цепей поставок и особенности их потоковых процессов / М.А. Парфенов // Вестник АГТУ. Сер. Экономика. – 2010. – № 2. – С. 167-169.
139. Питуляк Н.С. Зарубіжний досвід функціонування логістичних центрів / Н.С. Питуляк // Маркетинг інновацій і інновації в маркетингу: матеріали ІV міжнар. наук.-практ. конф. (29 вересня - 1 жовтня 2010 року). – Суми: Сумський державний університет, 2010. – С. 175–177.
140. Поликарпова М.Г. Статистический подход к оценке логистических рисков промышленных предприятий / М.Г. Поликарпова, В.В.Барішникова // Статистика и экономика. – 2013. – №3. – С. 134-136.
141. Попов В.А. Вероятностное моделирование логистических транспортных систем / В.А. Попов, Д.В. Еременко, А.А.Науменко,

А.А. Сегеда // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 2. – С. 149–155.

142. Портер М. Конкурентная стратегия. Изд. 3-е / М. Портер. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 453 с.

143. Постан М.Я. Динамическая модель оптимального управления запасами товаров и их доставкой в деятельности логистической фирмы / М.Я. Постан // Логистика: проблемы и решения. – 2009. – №2. – С. 54-58.

144. Постан М.Я. Исследование методов оптимизации планов производства и перевозки продукции с учетом инновационной деятельности предприятий / М.Я. Постан, И.М. Москвиченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 5, № 2 (19). – С. 26–30.

145. Постан М.Я. Метод нахождения равновесного решения для портовых операторов в конкурентной среде типа олигополии / М.Я. Постан, И.В. Савельева // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 4(2). – С. 58-63.

146. Постан М.Я. Метод оценки рисков при оптимизации планирования выпуска продукции предприятием в условиях случайного спроса / М.Я. Постан // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2013. – № 4(16). – С. 321–325.

147. Постан М.Я. Модель оптимального планирования производства и доставки продукции предприятия по распределительным каналам / М.Я. Постан, Д.А. Малиновский // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2009. – Вип. 15. – С. 19-28.

148. Постан М. Я. О некоторых задачах, связанных с использованием методов исследования операций в теории ценовой конкуренции / М. Я. Постан // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 20-річчю економіко-правового факультету Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова. Одеса 14–15 вересня 2018 р. – С. 169–173.

149. Постан М. Я. О применении обобщенной логистической кривой для моделирования диффузии инноваций / М.Я. Постан // Управління проектами та розвиток виробництва. – 2001. – № 2. – С. 127-133.
150. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я. Постан. – Одесса : Астропринт. – 2006. – 376 с.
151. Просветов Г.И. Управление запасами: задачи и решения: Учебно-практическое пособие / Г.И. Просветов. – М. : Издательство «Альфа-Пресс», 2009. – 192 с.
152. Проценко О. Развитие системы управления цепями поставок / О. Проценко // Логистика. – 2013. – № 4. – С. 31.
153. Пузанов І.І. Методологічні підходи до урахування ризику у банківській діяльності / І.І. Пузанов // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності: збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 2. – С. 14-19.
154. Райзберг Б.А. Предпринимательство и риск / Б.А. Райсберг. – М. : Знание, 1992. – 62 с.
155. Ремига Ю.С. Значення інноваційного підходу при управлінні ланцюгами поставок в сучасних умовах / Ю.С. Ремига // Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності. – 2017. – Вип. 15. – С. 107-112.
156. Родкина Т. Моделирование процесса закупок / Т. Родкина, А. Козлов // Логистика. – 2001. – №1. – С. 10-11.
157. Румянцев Н.В. Моделирование гибких производственно-логистических систем / Н.В. Румянцев – Донецк: ДонНУ, 2004. – 235 с.
158. Сакович В.А. Модели управления запасами / ред. М.И. Балашевич. – Минск: Наука и техника, 1986. – 319 с.
159. Семенова К.Д. Ризики діяльності промислових підприємств: інтегральне оцінювання: монографія / К.Д. Семенова, К.І. Тарасова. – Одеса: ФОП Гуляєва В.М., 2017. – 234 с.

160. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе: Учебник / В.И. Сергеев. – М. : Изд-во ИНФРА-М, 2001. – 608 с.
161. Сергійчук І.М. Моделювання процесів управління рухом автотранспортних засобів / І.М. Сергійчук, А.І. Сергійчук // Вісник Національного транспортного університету. – 2005. – № 2. – С. 114-116.
162. Скільцько В.І., Войніков М.Ю. Управління ризиками в ланцюгу поставок / В.І. Скільцько, М.Ю. Войніков // Бизнес Информ. – 2018. – № 2. – С. 304-313.
163. Соловьев В.П. Инновационная деятельность как системный процесс в конкурентной экономике (Синергетические эффекты инноваций) / В.П.Соловьев. – К. : Феникс, 2004. – 560 с.
164. Статистика работы украинских портов в январе-мае 2019 года. Порты Украины. – 2019. – №7. – С. 44-47.
165. Степанов Л.В. Моделирование конкуренции в условиях рынка / Л.В. Степанов. – М. : Академия естествознания, 2009. – 114 с.
166. Сток Дж. Стратегическое управление логистикой: пер. с 4-го англ. изд. / Дж. Сток, Д. Лпмберт. – М. : Изд-во ИНФРА-М, 2005. – 797 с.
167. Столяр Е. Неопределенность и уязвимость, как основные причины снижения надежности в цепях поставок / Е. Столяр // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 1(48). – С. 65-74.
168. Стримовская А.В. Повышение эффективности транспортировки в цепях поставок / А.В. Стримовская, Д.Б. Бажина // Логистика и перевозки. – 2018. – № 1(74). – С. 35-38.
169. Суслов С. Проектирование цепей поставок с помощью оптимизации и динамического моделирования: обзор технологий и проекта [Электронный ресурс] / С. Суслов, С. Егоров, А. Семёнов, А. Машков. – Режим доступа: <https://www.anylogistix.ru/upload/iblock/039/03902aa3c8fbdc30975d5dc2ab537b.pdf>

170. Тарнавська Н.П. Організаційні та інфраструктурні передумови створення міжнародного логістичного центру / Н.П. Тарнавська, Р.Б. Сивак // Бізнес–Інформ. – 2013. – № 13. – С. 29-35.

171. Ткаченко І.С. Економіко-математичне моделювання структури малого бізнесу сфери послуг на регіональному рівні / І.С. Ткаченко, Т.В. Григор'єва – Тернопіль: Економічна думка. – 1999. – 152 с.

172. Ткаченко І.С. Імітаційне моделювання логістики технологічних операцій у виробничо-економічних системах / І.С. Ткаченко, Р.М. Терновий // Ефективна економіка. – 2010. – № 12. – 11 с.

173. Ткаченко І. Моделювання транспортної логістики електронної комерції / І. Ткаченко, І. Бондарчук, Ю. Ткаченко // Вісник Тернопільської академії народного господарства. – 2002. – №8–2. – С.214–217.

174. Толуев Ю.И. Методы имитационного моделирования цепей поставок [Электронный ресурс] // Ю.И. Толуев // Логистика и управление цепями поставок. – 2016. – №4 (75). – Режим доступа: <http://www.lscm.ru/index.php/ru/po-godam/item/1458>

175. Трифонов П.В. Трансформация управления цепями поставок в условиях четвертой промышленной революции / П.В. Трифонов, Р.В. Серышев // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 3. – С. 30-37.

176. Тэпман Л.Н. Риски в экономике: учебное пособие / ред. В.А. Швандар. – М. : ЮНИТН-ДАНА, 2002. – 380 с.

177. Уваров С.А. Логистика снабжения в системе управления цепями поставок / С.А. Уваров // Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – № 3. – С. 36.

178. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок: пер. с англ. / Д. Уотерс. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503 с.

179. Управление цепью поставок (SCM) / сост. П. П. Крылатков, М. А. Прилуцкая. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 140 с.

180. Фалин Г.И. Математический анализ рисков в страховании / Г.И. Фалин. – М. : Российский юридический издательский дом, 1994. – 128 с.
181. Фалин Г.И. Теория риска для актуариев в задачах: изд. 2-е, испр. и доп. / Г.И. Фалин, А.И. Фалин. – М. : Мир, Научный мир, 2004. – 240 с.
182. Фалович В.А. Реструктуризація ланцюга поставок у контексті розвитку його емерджентних властивостей / В.А. Фалович // Бізнес Інформ. – 2017. – № 2. – С. 196-202.
183. Федотов Ю.В. Управление цепями поставок: проблемы определения термина и области исследований / Ю.В. Федотов // Российский журнал менеджмента. – 2011. – Т. 9, № 2. – С. 49-58.
184. Федотова Л. Оценка рисков в прохождении товаров по логистической цепочке / Л. Федотова // Логистика. – 2010. – № 2. – С. 19-21.
185. Федулова Л. Инновационное развитие: эволюция взглядов и проблемы современного понимания / Л. Федулова // Экономическая теория. – 2013. – №2. – С.28-45.
186. Филина Л.С. Проектирование транспортных процессов с учетом риска / Л.С. Филина // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2003. – Вип. 5. – С. 113-124.
187. Хвищун Н.В. Теоретичні підходи до класифікації логістичних систем [Електронний ресурс] / Н.В. Хвищун. // Ефективна економіка. – 2009. – № 3. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2009_3_54
188. Холоденко А. М. Вертикальная интеграция в логистической цепочке поставок / А. М. Холоденко, В. А. Сударев // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. 2004. – Вип. 7. – С. 208–221.
189. Холоденко А.М. Конкуренція та інтеграція логістичних ланцюжків в умовах інформаційної асиметрії / А.М. Холоденко. В.М. Кобець // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2004. – Вип.8. – С.32-56.

190. Холоденко А.М. Моделирование ценовой конкуренции транспортных предприятий у логистичной системе / А.М. Холоденко // Экономика транспортного процесу: Зб. наук праць. – 2002. – Вип.5. – С. 37-41.

191. Хорошун В.В. Економіко-математичні методи та моделі прогнозування збутової логістики торговельного підприємства / В.В. Хорошун, І.А. Науменко // Причорноморські економічні студії. – 2018. – Вип. 28(2). – С. 179-183.

192. Хрущ Н.А. Конкурентні стратегії: процеси створення та реалізації: монографія / Н.А.Хрущ, М.В.Желіховська. - К.: Освіта України, 2010. - 315 с.

193. Царегородцев А.В. Анализ рисков безопасности данных в корпоративных сетях кредитно-финансовых организаций на основе облачных вычислений / А.В. Царегородцев // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 39. – С. 35-43.

194. Чернописька Н. В. Логістика електронної комерції: стан та перспективи розвитку в Україні / Н. В. Чернописька, О. В. Солодка // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 594 : Логістика. – С. 490–495.

195. Чухрай Н. Аутсорсинг в логістиці: європейський та український досвід / Н. Чухрай // Транспорт і логістика. – 2007. – № 5 (19). – С. 32-35.

196. Чухрай Н.І. Формування ланцюга поставок: питання теорії і практики / Н.І. Чухрай, О.Б. Гірна. – Львів : Вид-во Інтелект-Захід, 2007. – 232 с.

197. Шамис В.А. Особенности рисков в транспортной логистике [Электронный ресурс] / В.А. Шамис // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 5. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2016/05/67093>

198. Шамис В.А. Рассмотрение моделей в управление цепями поставок с применением имитационного моделирования [Электронный

ресурс] // Современная техника и технологии. – 2016. – № 10. Режим доступу:: <http://technology.snauka.ru/2016/10/10692>

199. Шандрівська О.Є. Комплексний аналіз ринку логістичних послуг в Україні / О.Є. Шандрівська, Л.Ю. Швеців // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 7. – С. 163-173.

200. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок: пер. с англ. / ред. В.С. Лукинский. – СПб.: Питер, 2006. – 720 с.

201. Шатохин С.С. Формирование модели виртуального логистического оператора в цепях поставки: дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / С.С. Шатохин. – СПб, 2011. – 135 с.

202. Шибает А.Г. Распределение степени влияния коммерческих рисков при тайм-чартерной аренде судов / А.Г.Шибает, С.И. Рылов, Ю.А.Коскина, Н.В. Судник // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2011. – Вип. 17. – С. 197-212.

203. Шимко О.В. Ринок логістичних послуг: проблеми становлення та розвитку / О.В. Шимко // Наукові записки Національного університету "Острозька академія". Сер.: Економіка. – 2011. – Вип. 16. – С. 424-433.

204. Эмбрехтс П. Некоторые аспекты страховой математики / П. Эмбрехтс, К. Клюппельберг // Теория вероятностей и ее применение – 1993. – Т. 38, Вып. 2. – С. 374-416.

205. Энциклопедия финансового риск-менеджмента. 4-е изд., испр. и доп. / под ред. А. А. Лобанова и А. В. Чугунова. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 932 с.

206. Юдин Д. Б. Задачи и методы стохастического программирования. Изд. 2-е / Д.Б. Юдин. – М. : URSS, 2010. – 391 с.

207. Якимишин Л.Я. Формування ланцюга поставок на основі ідентифікації споживчих потреб / Л.Я. Якимишин // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Логістика. – 2017. – № 863. – С. 245-258.

208. Яковенко В.С. Синтез математичних методів для оптимізації розвізних маршрутів дистрибуторських компаній / В.С. Яковенко // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2011. – № 36. – С. 238-241.
209. Agra A. A maritime inventory routing problem: Discrete time formulations and valid inequalities / A. Agra, H. Andersson, M. Christiansen, L. Wolsey // *Networks*. – 2013. – Vol. 62, Issue 4, – P. 297-314.
210. Asmussen S. *Ruin Probabilities* / S. Asmussen. – World Scientific: Singapore - New Jersey – London - Hong Kong, 2001. – 385 p.
211. Bagchi P. On measuring supply chain competency of nations: A developing country perspective / P. Bagchi // LERC. Cardiff. 2000. – P. 28.
212. Bramel J. *The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management* / J. Bramel, D. Simchi-Levi. – Berlin: Springer, 1997. – 355 p.
213. Brandimarte P. *Introduction to Distribution Logistics* / P. Brandimarte, G. Zotteri. – NY: J. Wiley&Sons, Inc., 2007. – 579 p.
214. Chen F. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information / F. Chen, Z. Drezner, J. K. Ryan, D. Simchi-Levi // *Management Science*. – 2000. – 46 (3). – P. 436-443.
215. Chopra S. Reducing the risk of supply chain disruptions / S. Chopra, M.S. Sodhi // *MIT Sloan Management Review*. – 2014. – 55 (3). – P. 73-80.
216. Chopra S. The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain / S. Chopra, G. Reinhardt, U. Mohan // *Naval Research Logistics*. 2007. – 54 (5). – P. 544-555.
217. Christopher M. *Logistics and supply chain management (creating, value-adding networks)* / M. Christopher // 4th Edn. Harlow, Prentice Hall, 2011. – 305 p.
218. *Connecting to Compete 2012: Trade Logistics in the Global Economy* [Електронний ресурс] / The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. – Режим доступу:

http://siteresources.worldbank.org/TRADE/Resources/239070-1336654966193/LPI_2012_final.pdf.

219. Daugherty A. Reconsidering Cournot: the Cournot Equilibrium Is Consistent / A. Daugherty // *Rand Journal of Economics*. – 1985. – Vol. 16, № 3. – P. 368-379.

220. Gibbons R. *A Primer in Game Theory* / R. Gibbons. – New York; Sydney: Harvester Wheatsheaf, 1992. – 267 p.

221. Grandell J. *Aspects of Risk Theory* / J. Grandell – New York – Heidelberg - Berlin: Springer-Verlag, 1992. – 175 p.

222. Grygorak M. Determination of parameters of the stochastic inventory management system in the conditions of economically-based shortage / L. Savchenko, M. Grygorak // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2019. – № 1(3). – С. 37-46.

223. Hsu C.I. Reliability evaluation and adjustment of supply chain network design with demand fluctuations / C.I. Hsu, H.C. Li // *International Journal of Production Economics*. – 2011. – 132 (1). – P. 131-145.

224. Jeffrey M. Alden Billions Achieved with Business Analytics [Электронный ресурс] / M. Jeffrey. – Edelman Awards Gala, 2013. – Режим доступа: <https://www.yumpu.com/en/document/read/17932745/download-the-2013-edelman-competition-brochure-institute-for->

225. Klepikova O. An insurance company as an element of sustainable development of the state socio-economic system: Ukraine insurance companies case study / Z. Sokolovska, O. Klepikova, T. Cherkasova / "Rivista di Studi sulla Sostenibilita". – 2019. – № 2. – P. 53-72.

226. Kouvelis P. Contingency strategies in managing supply systems with uncertain lead-times / P. Kouvelis, J. Li // *Production and Operations Management*. – 2012. – 21 (1). – P. 161-176.

227. Kurudzhi Yu. Method of finding equilibrium solutions for duopoly of supply chains taking into account the innovation activity of enterprises /

Yu. Kurudzhi, I. Moskvichenko, M. Postan // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – # 3/4(87). – P. 25-30.

228. Lee H.L. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect / H.L. Lee, P. Padmanabhan, S. Whang // Management Science. – 1997. – 43 (4). – P. 546-558.

229. Meade N. Modeling and forecasting the diffusion of innovation – a 25-year review / N. Meade, T. Islam // International Journal of Forecasting. – 2006. – № 22. – P. 514–545.

230. Morozova I.V. Dynamic optimization model for planning of integrated logistical system functioning / I.V. Morozova, M.Ya. Postan, S.N. Dashkovskiy // In: Proc. of 3d Intl. Conf. “Dynamics in Logistics” LDIC’2012. – Berlin: Springer, 2013. – P. 291-300.

231. Mulani N.P. New business models for supply chain excellenc / N.P. Mulani, H.L. Lee // Achieving Supply Chain Excellence through Technology. – San Francisco, Montgomery Research, Inc. 2002. – Vol. 4.

232. Okuguchi K. Oligopoly with intertemporal demand interaction / Okuguchi K., Szidarovszky F. // Journal of Economic Research. – 2003. – № 8. – P. 51-61.

233. Okuguchi K. The Theory of oligopoly with Multi-Product Firms / Okuguchi K., Szidarovszky F. – Published by Springer Berlin Heidelberg, 1999. – 280 p.

234. Ouyang Y. The bullwhip effect in supply chain networks / Y. Ouyang, X. Li // European Journal of Operational Research. – 2010. – 201 (3). – P. 799-810.

235. Paul S.K. Real time disruption management for a two-stage batch production – inventory system with reliability considerations / S.K. Paul, R. Sarker, D. Essam // European Journal of Operational Research. – 2014. – 237 (1). – P. 113-128.

236. Pires S. Supply chain and virtual enterprise: Comparison, migration and a case study / S. Pires, C. Bremer, E. Santa, C. Goulart // *International Journal of Logistics: Research and Application*. – 2001. – Vol. 4. – № 3. – P. 297-311.
237. Postan M. Application of Semi-Markov Drift Processes to Logistical Systems Modeling and Optimization / M. Postan // *Dynamics in Logistics: Proc. of the 4th Intl. Conference*. Springer, 2016. – P.227–237.
238. Postan M.Ya. Dynamic Model for Optimization of Production and Finished Products Delivery Plans in Supply Chain / M.Ya. Postan, N.I. Chuhraj, Yu.V. Kurudzhi // *Logistyka*. – 2014. – Vol. 4. – P. 2345-2352.
239. Rogers E. Diffusion of Innovations (5th ed.) / E. Rogers. – New York : Free Press, 2002. – 576 p.
240. Smith J.M. Handbook of Stochastic Models and Analysis of Manufacturing System Operations / J.M. Smith, B. Tan. – International Series in Operations Research and Management Science. N.Y.Springer, 2013 – Vol. 192. – 373 p.
241. Sysoev V. V. Diagnostics of enterprise logistic activity / V. V. Sysoev, V. O. Pismak // *Economic Journal of Lesya Ukrainka Eastern European National University*. - Lutsk: Vezha-Druk, 2020. - №1 (21). - P.117-127.
242. Sysoiev V. Reflexive modeling business partner selection in supply chain / V. V. Sysoiev // *EKONOMSKI PREGLED*, 2017. – № 68 (6). – P.638-654.
243. Sysoiev V. Supply optimization model in the hierarchical geographically distributed organization / V. Sysoiev, Yu. Kushneruk // *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*. – 2019. – Vol. 53, Iss. 3. – P. 238-256.
244. Villegas F.A. Supply chain dynamics: Analysis of inventory vs. order oscillations trade-off / F.A. Villegas, N.R. Smith // *International Journal of Production Research*. – 2006. – 44 (6). – P. 1037-1054.
245. Wang, Q. Fixed-interval joint-replenishment policies for distribution systems with multiple retailers and stochastic demand / Q. Wang, S. Axsater // *Naval Research Logistic (NRL)*. – 2013. – Volume 60. – Issue 8. – P. 637–651.

246. Williams A.C. A Stochastic Transportation Problem. /
A.C. Williams // Opns. Res. – 1963. – V. 11, # 5. – P. 759-770.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Акти використання дисертаційного дослідження**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**Проректор з навчально-педагогічної роботи
Одеського національного морського університету
 проф. В.В. Марков

« 17 » 09 2020 р.

ДОВІДКА

використання результатів дисертаційного дослідження
КУРУДЖИ ЮЛІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ
в навчальному процесі
Одеського національного морського університету

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційного дослідження старшого викладача кафедри «Менеджмент і маркетинг» Одеського національного морського університету Куруджи Юлії Володимирівни на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.11 – Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці використовуються при проведенні лекційних і практичних занять з дисциплін «Ризик-менеджмент» та «Логістичний менеджмент» для студентів спеціальності «Менеджмент» освітніх програм «Логістичний менеджмент» і «Морська логістика» Одеського національного морського університету.

Узгоджено:

Начальник навчального відділу ОНМУ,
к.т.н., доц.


І.В. Герасимов

Директор Навчально-наукового інституту
морського бізнесу ОНМУ, д.е.н., проф.


С.П. Онищенко

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з НР
Одеського національного
морського університету

доц. О.О. Немчук

« 18 » 09 2020 р.

ДОВІДКА

використання дисертаційного дослідження
КУРУДЖИ ЮЛІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ
в науково-дослідних темах
НДІ фундаментальних і прикладних досліджень

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційного дослідження Куруджи Юлії Володимирівни на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.11 – Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці використовувались у науковій роботі ОНМУ при виконанні тем:

1. «Теоретичні засади оптимального управління функціонуванням та розвитком морських транспортних систем» (2015-2017 рр., номер державної реєстрації 0115U000605). В цій роботі Куруджи Ю.В. розроблені розділи: «Модель оптимізації плану випуску і доставки товарів з урахуванням факторів невизначеності», «Метод оцінки ринкового ризику при плануванні роботи ланцюга поставок з урахуванням факторів внутрішньої та зовнішньої невизначеності».

2. «Теоретико-економічні засади оптимального управління функціонуванням та розвитком виробничо-транспортних та логістичних систем в інтересах національної безпеки та євроінтеграції» (2017-2019 рр., номер державної реєстрації 0117U000618). В цій роботі Куруджи Ю.В. розроблені розділи: «Розробка динамічних моделей оптимізації планування діяльності логістичних систем у межах VАТ-класифікації», «Метод оцінки економічної доцільності страхування ризиків при плануванні роботи дворівневої логістичної мережі».

Узгоджено:

Директор НДІ ФіПД, д.т.н., проф.

К.В. Єгупов

Зав. науково-виробничим відділом НДІ ФіПД

О.Г. Коровіна

ТОВ «Експрес-Фаворит»

65023 Україна, м. Одеса, пров. Новобазарний 5
код ЄДРПОУ 40989503; ПІН 409895015531; тел. (048)74-88-248

Вих. № 21/09-20
Від 21 вересня 2020 г.

Довідка

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
Куруджи Юлії Володимирівни
на тему: «Моделі оптимального управління функціонуванням ланцюгів
поставок в умовах невизначеності та ризику»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук
за спеціальністю 08.00.11 – математичні методи, моделі та
інформаційні технології в економіці**

Довідка видана про те, що результати наукових досліджень Куруджи Юлії Володимирівни є актуальними для ТОВ «Експрес-Фаворит» та можуть бути використані в процесі її фінансово-господарської діяльності, зокрема у забезпеченні розвитку бізнес-партнерства у межах ланцюгів поставок.

Впровадження в практику діяльності ТОВ «Експрес-Фаворит» запропонованих здобувачем теоретико-методичних основ та практичних рекомендацій щодо сумісного планування бізнес-активностей у межах ланцюгів поставок дозволить одержувати синергійні ефекти від кооперації, а також впливатиме на зміцнення конкурентних позицій компанії у конкуренції між іншими ланцюгами поставок та надаватиме змогу підвищити фінансову стабільність компанії.

Довідку видано для подання до спеціалізованої вченої ради із захисту дисертацій.

З повагою
Директор ТОВ «Експрес-Фаворит» Кундисюк О.В.





вих. №148/БКП
28.09.20р

ООО «Бруклін-Київ Порт»

bkport@bkport.com www.bkport.com

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи КУРУДЖИ ЮЛІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ

на тему: «Моделі оптимального управління функціонуванням ланцюгів поставок в умовах невизначеності та ризику»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.11 – математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці

Наступним підтверджується, що окремі наукові розробки в межах дослідження впроваджені у роботу та використовуються в діяльності стивідорної компанії ТОВ «Бруклін-Київ Порт».

Практичну цінність для діяльності компанії мають запропоновані автором науково-методичні підходи щодо оптимізації транспортно-логістичного ланцюга поставок вантажів, а також пропозиції стосовно економіко-математичного обґрунтування доцільності страхування ризиків зниження вантажопотоків терміналу завдяки випадковому коливанню попиту.

Розроблені автором пропозиції знайшли застосування в роботі ТОВ «Бруклін-Київ Порт» при прийнятті управлінських рішень щодо планування обсягів перевалки вантажів на портовому терміналі.

Впровадження авторських розробок і пропозицій не передбачає фінансових зобов'язань підприємства перед автором.

Директор



В.А. Пустоваров

ТОВ «БРУКЛІН-КІЇВ Порт»
65026, Україна, м. Одеса,
Митна площа, 1
тел: +380 48 737 3681
факс: +380 48 737 3686
ЄДРПОУ 34552569



LLC «BROOKLYN-KIEV Port»
65026, Ukraine, Odessa,
Mytna Sq., 1
tel: +380 48 737 3681
fax: +380 48 737 3686
USREOU 34552569

ДОДАТОК Б

Вихідні дані та результати розрахунків для оптимізаційних моделей в ланцюгах поставок різної конфігурації

Таблиця Б.1

Вихідні дані для розрахунку для статичної моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок типу А*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
$a_{111}^{(1)}$	1,0	c_{12}	4,0	$\theta_{11}, n=1$	120
$a_{121}^{(1)}$	1,1	c_{211}	4,1	$\theta_{12}, n=1$	66
$a_{112}^{(1)}$	1,05	c_{212}	2,3	$\theta_{11}, n=2$	60
$a_{122}^{(1)}$	1,15	c_{221}	2,3	$\theta_{12}, n=2$	33
$a_{211}^{(1)}$	1,2	c_{222}	2,6	$\theta_{11}, n=3$	40
$a_{212}^{(1)}$	1,0	c_{3111}	1,5	$\theta_{12}, n=3$	22
$a_{111}^{(2)}$	1,0	c_{3112}	3,8	$\theta_{13}, n=1$	72
$a_{121}^{(2)}$	1,0	c_{3113}	2,4	$\theta_{21}, n=1$	78
$a_{211}^{(2)}$	1,1	c_{3121}	3,0	$\theta_{13}, n=2$	36
$a_{112}^{(2)}$	1,15	c_{3122}	5,4	$\theta_{21}, n=2$	39
$a_{122}^{(2)}$	1,2	c_{3123}	4,1	$\theta_{13}, n=3$	24
$a_{212}^{(2)}$	1,2	c_{3211}	1,5	$\theta_{21}, n=3$	26
b_{22}	1600	c_{3212}	4,1	$\theta_{22}, n=1$	84
b_{11}	1700	c_{3213}	3,0	$\theta_{23}, n=1$	90
b_{12}	1100	c_{3221}	2,3	$\theta_{22}, n=2$	42
b_{21}	900	c_{3222}	2,0	$\theta_{23}, n=2$	45
c_{01}	1,5	c_{3223}	3,9	$\theta_{22}, n=3$	28
c_{02}	2,0	w_1	250	$\theta_{23}, n=3$	30
c_{03}	2,0	w_2	500	q_{km}^-	50
c_{11}	3,5	q_{km}^+	5	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.2

Результати розрахунку для статичної моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок типу А*

Умовні позначення	Варіанти			Умовні позначення	Варіанти		
	$n=1$	$n=2$	$n=3$		$n=1$	$n=2$	$n=3$
x_{11}	508,45	546,05	552,68	z_{113}	0	0	0
x_{12}	572,17	614,38	621,79	z_{121}	122,00	130,23	131,48
x_{21}	610,13	655,26	663,22	z_{122}	59,59	66,07	67,74
y_1	250,89	271,6	275,79	z_{123}	69,30	75,30	76,57
y_2	257,55	274,45	276,89	z_{211}	82,92	87,27	87,59
z_{11}	0	0	0	z_{212}	0	0	0
z_{12}	250,89	271,6	275,79	z_{213}	88,81	95,71	97,01
z_{21}	171,73	182,98	184,61	z_{221}	0	0	0
z_{22}	85,83	91,47	92,28	z_{222}	85,83	91,47	92,28
z_{111}	0	0	0	z_{223}	0	0	0
z_{112}	0	0	0	$\min \bar{C}$	18119,4	15360,3	14027,3

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.3

Вихідні дані для розрахунку для статичної моделі оптимізації в ланцюгах поставок типу V*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
$a_{11}^{(1)}$	1,0	$c_{21}^{(1)}$	6,0	$c_{1212}^{(4)}$	4,0
$a_{21}^{(1)}$	1,1	$c_{22}^{(1)}$	2,0	$c_{1222}^{(4)}$	3,0
$a_{12}^{(1)}$	1,05	$c_{11}^{(2)}$	4,0	$c_{2111}^{(4)}$	5,0
$a_{22}^{(1)}$	1,1	$c_{12}^{(2)}$	3,0	$c_{2121}^{(4)}$	2,0
$a_{111}^{(2)}$	1,05	$c_{21}^{(2)}$	2,0	$c_{2112}^{(4)}$	6,0
$a_{121}^{(2)}$	1,0	$c_{22}^{(2)}$	1,0	$c_{2122}^{(4)}$	2,0
$a_{112}^{(2)}$	1,2	$c_{111}^{(3)}$	3,0	$c_{2211}^{(4)}$	4,0
$a_{122}^{(2)}$	1,25	$c_{112}^{(3)}$	4,0	$c_{2221}^{(4)}$	3,0
$a_{211}^{(2)}$	1,15	$c_{121}^{(3)}$	2,0	$c_{2212}^{(4)}$	7,0
$a_{221}^{(2)}$	1,1	$c_{122}^{(3)}$	3,0	$c_{2222}^{(4)}$	4,0
$a_{212}^{(2)}$	1,15	$c_{211}^{(3)}$	2,0	d_{111}	100
$a_{222}^{(2)}$	1,05	$c_{212}^{(3)}$	4,0	d_{121}	120
b_1	1750	$c_{221}^{(3)}$	3,0	d_{211}	75
b_2	2000	$c_{222}^{(3)}$	3,0	d_{221}	80
w_1	400	$c_{1111}^{(4)}$	5,0	d_{112}	95
w_2	700	$c_{1121}^{(4)}$	3,0	d_{122}	90
$c_1^{(0)}$	2,0	$c_{1112}^{(4)}$	6,0	d_{212}	110
$c_2^{(0)}$	3,0	$c_{1122}^{(4)}$	5,0	d_{222}	80
$c_{11}^{(1)}$	2,0	$c_{1211}^{(4)}$	5,0	-	-
$c_{12}^{(1)}$	4,0	$c_{1221}^{(4)}$	2,0	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.4

Результати розрахунку для задачі оптимізації для ланцюга поставок типу V*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
x_1	824,5	z_{121}	0	z_{1212}	0
x_2	798,8	z_{122}	210,00	z_{1222}	90,00
x_{11}	446,25	z_{211}	0	z_{2111}	0
x_{12}	445,50	z_{212}	185,00	z_{2121}	75,00
x_{21}	378,25	z_{221}	0	z_{2112}	0
x_{22}	353,00	z_{222}	160,00	z_{2122}	110,00
y_{11}	195,00	z_{1111}	0	z_{2211}	0
y_{12}	210,00	z_{1121}	100,00	z_{1221}	80,00
y_{21}	185,00	z_{1112}	95,00	z_{2212}	0
y_{22}	160,00	z_{1122}	0	z_{2222}	80,00
z_{111}	95,00	z_{1211}	0	-	-
z_{112}	100,00	z_{1221}	120,00	-	-

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.5

Вихідні дані для розрахунку по моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції з урахуванням факторів невизначеності*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
b_1	200	s'_{121}	3,0	λ'_{21}	0,020
b_2	250	s'_{112}	2,3	λ'_{12}	0,013
b_3	400	s'_{122}	2,6	λ'_{22}	0,025

Продовження табл. Б.5

w_1	200	s'_{113}	3,0	λ'_{13}	0,020
w_2	100	s'_{123}	2,0	λ'_{23}	0,050
s_1	3,0	s'_{211}	1,5	λ''_{11}	5,0
s_2	2,0	s'_{221}	3,0	λ''_{21}	5,0
s'_{11}	3,5	s'_{212}	2,4	λ''_{12}	4,0
s'_{12}	4,0	s'_{222}	3,0	λ''_{22}	4,0
s'_{21}	2,0	s'_{213}	2,0	λ''_{13}	2,5
s'_{22}	3,0	s'_{223}	2,0	λ''_{23}	2,5
s'_{111}	2,0	λ'_{11}	0,040	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.6

Результати розрахунку для моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції з урахуванням факторів невизначеності*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
x_1	120,38	y_{111}	20,06	y_{211}	50,14
x_2	108,28	y_{121}	0	y_{221}	0
x_{11}	91,72	y_{112}	61,84	y_{212}	38,45
x_{12}	28,66	y_{122}	0	y_{222}	0
x_{21}	108,28	y_{113}	9,82	y_{213}	19,69
x_{22}	0	y_{123}	28,66	y_{223}	0

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.7

Вихідні дані для розрахунку для моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок типу А з врахуванням фактора часу*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
$a_{111}^{(1)}$	0,3	$h_{111}^{(1)}$	0,1	$c_{11}^{(4)}$	15
$a_{112}^{(1)}$	0,2	$h_{121}^{(1)}$	0,2	$c_{21}^{(4)}$	10
$a_{121}^{(1)}$	0,5	$h_{211}^{(1)}$	0,1	$c_{12}^{(4)}$	10
$a_{122}^{(1)}$	0,4	$h_{221}^{(1)}$	0,2	$c_{22}^{(4)}$	10
$a_{211}^{(1)}$	0,3	$h_{111}^{(2)}$	0,1	$c_{13}^{(4)}$	15
$a_{212}^{(1)}$	0,5	$h_{121}^{(2)}$	0,2	$c_{23}^{(4)}$	15
$a_{111}^{(2)}$	0,3	$h_{211}^{(2)}$	0,1	$c_{111}^{(5)}$	3
$a_{121}^{(2)}$	0,5	$h_{112}^{(2)}$	0,1	$c_{211}^{(5)}$	5
$a_{112}^{(2)}$	0,2	$h_{122}^{(2)}$	0,2	$c_{121}^{(5)}$	2
$a_{122}^{(2)}$	0,4	$h_{212}^{(2)}$	0,1	$c_{222}^{(5)}$	4
$a_{211}^{(2)}$	0,3	$h_{11}^{(3)}$	0,5	$c_{131}^{(5)}$	6
$a_{212}^{(2)}$	0,5	$h_{21}^{(3)}$	0,4	$c_{231}^{(5)}$	8
q_{11}	50	$h_{12}^{(3)}$	0,2	$c_{112}^{(5)}$	5
q_{12}	20	$h_{22}^{(3)}$	0,3	$c_{212}^{(5)}$	4
q_{21}	18	$h_{13}^{(3)}$	0,4	$c_{122}^{(5)}$	4
q_{22}	45	$h_{23}^{(3)}$	0,3	$c_{222}^{(5)}$	5
q_{211}	15	$c_{111}^{(1)}$	10	$c_{132}^{(5)}$	7
q_{212}	25	$c_{121}^{(1)}$	20	$c_{232}^{(5)}$	6
q_{221}	30	$c_{111}^{(2)}$	20	$c_{113}^{(5)}$	6
q_{31}	20	$c_{121}^{(2)}$	10	$c_{213}^{(5)}$	4
q_{32}	35	$c_{211}^{(2)}$	25	$c_{123}^{(5)}$	7
d_{11}	100	$c_{112}^{(2)}$	15	$c_{223}^{(5)}$	4
d_{21}	120	$c_{122}^{(2)}$	20	$c_{133}^{(5)}$	4

Продовження табл. Б.7

d_{12}	95	$c_{212}^{(2)}$	25	$c_{233}^{(5)}$	6
d_{22}	80	$c_{111}^{(3)}$	20	$c_{114}^{(5)}$	8
d_{13}	60	$c_{121}^{(3)}$	10	$c_{214}^{(5)}$	6
d_{23}	65	$c_{211}^{(3)}$	25	$c_{124}^{(5)}$	7
E_{11}	300	$c_{112}^{(3)}$	15	$c_{224}^{(5)}$	7
E_{21}	400	$c_{122}^{(3)}$	20	$c_{134}^{(5)}$	8
E_2	500	$c_{212}^{(3)}$	25	$c_{234}^{(5)}$	7
E_3	500	-	-	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.8

Результати розрахунку для динамічної моделі оптимізації планів випуску і доставки продукції в ланцюгах поставок типу А*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
$x_{111}^{(1)}$	72,70	y_{13}	235,00	z_{232}	0
$x_{121}^{(1)}$	74,10	y_{23}	65,00	z_{113}	0
$x_{211}^{(1)}$	28,65	z_{111}	20,00	z_{213}	60,00
$x_{221}^{(1)}$	32,75	z_{211}	0	z_{123}	0
$x_{111}^{(2)}$	18,00	z_{121}	0	z_{223}	45,00
$x_{121}^{(2)}$	41,00	z_{221}	35,00	z_{133}	0
$x_{211}^{(2)}$	60,00	z_{131}	0	z_{233}	0
$x_{111}^{(2)}$	83,50	z_{231}	0	z_{114}	80,00
$x_{121}^{(2)}$	143,50	z_{112}	0	z_{214}	0
$x_{211}^{(2)}$	95,5	z_{212}	60,00	z_{124}	95,00
y_{11}	0	z_{122}	0	z_{224}	0
y_{21}	60,00	z_{222}	0	z_{134}	60,00
y_{12}	0	z_{132}	0	z_{234}	65,00
y_{22}	105,00	-	-	-	-

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.9

Вихідні дані для розрахунку для оптимізаційної моделі в логістичній мережі в умовах випадкового попиту*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
c_1	5,3	E	150	p_{13}	10,0
c_2	6,0	q	100	p_{23}	10,0
c_3	6,2	s_{11}	0,1	q_1	134
r_{11}	1,8	s_{21}	0,1	q_2	118
r_{21}	1,6	s_{12}	0,2	λ_1^1	0,02
r_{12}	2,2	s_{22}	0,2	λ_2^1	0,025
r_{22}	2,0	s_{13}	0,3	λ_1^2	0,04
r_{13}	2,0	s_{23}	0,3	λ_2^2	0,05
r_{23}	2,0	p_{11}	5,5	λ_1^3	0,06
s_1	0,1	p_{21}	5,7	λ_2^3	0,075
s_2	0,1	p_{12}	8,9	λ_1^4	0,08
s_3	0,2	p_{22}	9,5	λ_2^4	0,1

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.10
Результати розрахунку параметрів управління для оптимізаційної моделі логістичній мережі в умовах випадкового попиту*

Умовні позначення	Варіанти			
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$
x_1	148,07	98,64	76,24	63,14
x_2	150,00	150,00	150,00	150,00
x_3	0	0	0	0
y_{11}	60,49	33,02	20,58	13,14
y_{21}	37,59	15,62	5,66	0
y_{12}	71,63	64,85	62,00	60,34
y_{22}	78,37	85,15	88,00	89,66
y_{13}	74,31	74,43	77,00	25,61
y_{23}	75,69	75,57	73,00	124,39

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.11
Структура витрат і значення загального прибутку для оптимізаційної моделі в логістичній мережі в умовах випадкового попиту*

Показники	Варіанти			
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$
Витрати на закупівлю товару	1684,80	1422,77	1304,07	1234,62
Витрати на зберігання	234,04	204,38	190,94	183,08
Витрати на транспортування	783,34	697,39	658,50	635,71
Дохід від продажу	3428,98	3156,71	3033,25	2961,05
Прибуток	726,77	832,17	879,74	907,63

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.12
Вихідні дані для розрахунку для методу оцінки економічної доцільності страхування ризиків в ланцюгах поставок типу А*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
$a_{111}^{(1)}$	1,0	$c_{11}^{(3)}$	1,0	c_{21}^+	10,1
$a_{121}^{(1)}$	1,1	$c_{12}^{(3)}$	2,0	c_{22}^+	8,0
$a_{112}^{(1)}$	1,05	$c_{21}^{(3)}$	2,0	c_{23}^+	8,5
$a_{122}^{(1)}$	1,15	$c_{22}^{(3)}$	1,0	s_1	2,0
$a_{211}^{(1)}$	1,2	$c_{111}^{(4)}$	1,5	s_2	2,0
$a_{212}^{(1)}$	1,0	$c_{112}^{(4)}$	2,0	c_1^-	1,0
$a_{111}^{(2)}$	1,0	$c_{113}^{(4)}$	2,4	c_2^-	1,0
$a_{121}^{(2)}$	1,0	$c_{121}^{(4)}$	3,0	$\theta_{11}, n=1$	120
$a_{211}^{(2)}$	1,1	$c_{122}^{(4)}$	2,0	$\theta_{12}, n=1$	66
$a_{112}^{(2)}$	1,15	$c_{123}^{(4)}$	4,1	$\theta_{11}, n=2$	60
$a_{122}^{(2)}$	1,2	$c_{211}^{(4)}$	1,5	$\theta_{12}, n=2$	33
$a_{212}^{(2)}$	1,2	$c_{212}^{(4)}$	2,0	$\theta_{11}, n=3$	40
b_{22}	1600	$c_{213}^{(4)}$	3,0	$\theta_{12}, n=3$	22
b_{11}	1700	$c_{221}^{(4)}$	2,3	$\theta_{13}, n=1$	72
b_{12}	1100	$c_{222}^{(4)}$	2,0	$\theta_{21}, n=1$	78
b_{21}	900	$c_{223}^{(4)}$	1,0	$\theta_{13}, n=2$	36
w_1	250	p_{11}	16,0	$\theta_{21}, n=2$	39
w_2	500	p_{12}	22,0	$\theta_{13}, n=3$	24
$c_{11}^{(0)}$	0,25	p_{13}	20,0	$\theta_{21}, n=3$	26

Продовження табл. Б.12

$c_{12}^{(0)}$	0,4	p_{21}	21,0	$\theta_{22}, n=1$	84
$c_{21}^{(0)}$	0,35	p_{22}	17,0	$\theta_{23}, n=1$	90
$c_{11}^{(1)}$	0,25	p_{23}	18,0	$\theta_{22}, n=2$	42
$c_{12}^{(1)}$	0,4	c_{11}^+	8,1	$\theta_{23}, n=2$	45
$c_{21}^{(1)}$	0,35	c_{12}^+	10,5	$\theta_{22}, n=3$	28
$c_1^{(2)}$	1,0	c_{13}^+	9,0	$\theta_{23}, n=3$	30
$c_2^{(2)}$	1,5	-	-	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.13

Результати розрахунку обсягів виробництва і перевезень для методу оцінки економічної доцільності страхування ризиків в ланцюгах поставок типу А*

Умовні позначення	Варіант відмови від страхування			Варіант страхування ризиків		
	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=1$	$n=2$	$n=3$
x_{11}	673,53	611,66	643,07	673,53	223,24	487,23
x_{12}	758,09	388,07	723,80	758,09	586,70	547,81
x_{21}	808,24	734,00	771,68	808,24	350,12	584,68
y_1	329,53	306,94	314,50	78,07	83,14	250,00
y_2	344,00	304,72	328,57	59,31	64,35	237,23
z_{11}	250,00	250,00	250,00	78,07	83,14	250,00
z_{12}	79,53	56,94	64,50	0	0	0
z_{21}	0	0	0	0	0	0
z_{22}	344,00	304,72	328,57	59,31	64,35	237,23
z_{111}	140,45	125,87	137,57	42,32	50,36	125,25
z_{112}	15,14	39,28	27,38	24,89	21,45	65,72
z_{113}	94,41	84,85	85,05	10,86	11,32	59,04
z_{121}	0	0	5,30	0	0	0
z_{122}	79,53	56,72	59,21	0	0	0
z_{123}	0	0,22	0	0	0	0
z_{211}	0	0	0	0	0	0
z_{212}	0	0	0	0	0	0
z_{213}	0	0	0	0	0	0
z_{221}	109,75	92,14	103,00	19,56	20,10	64,85
z_{222}	104,71	99,43	103,94	5,69	8,92	69,07
z_{223}	129,54	113,16	121,32	34,05	35,33	103,31

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.14

Вихідні дані для розрахунку для методу оцінки економічної доцільності страхування ризиків в ланцюгах поставок типу V*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
b_{11}	350	$c_{222}^{(4)}$	2,0	s_1	2,0
b_{12}	500	c_1^-	1,0	s_2	2,0
b_{21}	450	c_2^-	1,0	λ'_{11}	0,008
b_{22}	480	c_{11}^+	40,0	λ'_{12}	0,015
w_1	250	c_{12}^+	35,0	λ'_{21}	0,013
w_2	300	c_{21}^+	35,0	λ'_{22}	0,012
$c_{11}^{(1)}$	1,2	c_{22}^+	40,0	$\lambda^{(1)}_{111}$	5,5
$c_{12}^{(1)}$	1,1	c_{11}^x	0,8	$\lambda^{(1)}_{121}$	7,1
$c_{21}^{(1)}$	1,2	c_{12}^x	0,8	$\lambda^{(1)}_{112}$	3,6
$c_{22}^{(1)}$	1,3	c_{21}^x	0,8	$\lambda^{(1)}_{122}$	10,0

Продовження табл. Б.14

$c_1^{(2)}$	1,0	c_{22}^x	0,7	$\lambda^{(1)}_{211}$	5,5
$c_2^{(2)}$	1,5	π_{11}	1,0	$\lambda^{(1)}_{221}$	7,1
$c_{11}^{(3)}$	1,0	π_{12}	0,9	$\lambda^{(1)}_{212}$	3,6
$c_{12}^{(3)}$	2,0	π_{21}	0,9	$\lambda^{(1)}_{222}$	10,0
$c_{21}^{(3)}$	2,0	π_{22}	1,0	$\lambda^{(2)}_{111}$	10,0
$c_{22}^{(3)}$	1,0	c_{11}^b	0,8	$\lambda^{(2)}_{112}$	5,5
$c_{111}^{(4)}$	1,5	c_{12}^b	0,8	$\lambda^{(2)}_{121}$	7,1
$c_{112}^{(4)}$	2,0	c_{21}^b	0,8	$\lambda^{(2)}_{222}$	3,6
$c_{121}^{(4)}$	3,0	c_{22}^b	0,8	$\lambda^{(2)}_{211}$	8,3
$c_{122}^{(4)}$	2,0	p_{11}	50,0	$\lambda^{(2)}_{212}$	6,7
$c_{211}^{(4)}$	1,5	p_{12}	47,0	$\lambda^{(2)}_{221}$	10,0
$c_{212}^{(4)}$	2,0	p_{21}	55,0	$\lambda^{(2)}_{222}$	8,3
$c_{221}^{(4)}$	2,3	p_{22}	51,0		

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.15

Результати розрахунку обсягів виробництва і перевезень для методу оцінки економічної доцільності страхування ризиків в ланцюгах поставок типу V*

Умовні позначення	Варіант відмови від страхування	Варіант страхування ризиків	Умовні позначення	Варіант відмови від страхування	Варіант страхування ризиків
x_{11}	184,86	173,65	z_{22}	123,66	106,58
x_{12}	260,81	243,37	z_{111}	132,16	130,37
x_{21}	197,05	186,52	z_{112}	70,05	60,17
x_{22}	169,59	155,98	z_{121}	0	0
y_1	202,21	190,54	z_{122}	0	0
y_2	123,66	106,58	z_{211}	0	0
z_{11}	202,21	190,54	z_{212}	0	0
z_{12}	0	0	z_{221}	66,72	45,15
z_{21}	0	0	z_{222}	56,94	61,43

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.16

Вихідні дані для розрахунку для методу оцінки економічної доцільності страхування ризиків при плануванні роботи дворівневої логістичної мережі*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
c_1	5,3	s_2	0,1	p_{11}	5,5
c_2	6,0	s_3	0,2	p_{21}	5,7
c_3	6,2	E	150	p_{12}	8,9
r_{11}	1,8	q	100	p_{22}	9,5
r_{21}	1,6	s_{11}	0,1	p_{13}	10,0
r_{12}	2,2	s_{21}	0,1	p_{23}	10,0
r_{22}	2,0	s_{12}	0,2	q_1	134
r_{13}	2,0	s_{22}	0,2	q_2	118
r_{23}	2,0	s_{13}	0,3	-	-
s_1	0,1	s_{23}	0,3	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.17

Результати розрахунку параметрів управління для методу оцінки економічної доцільності страхування ризиків при плануванні роботи дворівневої логістичної мережі*

Умовні позначення	Варіанти		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$
x_1	148,07	98,64	76,24
x_2	150,00	150,00	150,00
x_3	0	0	0
y_{11}	60,49	33,02	20,58
y_{21}	37,59	15,62	5,66
y_{12}	71,63	64,85	62,00
y_{22}	78,37	85,15	88,00
y_{13}	74,31	74,43	77,00
y_{23}	75,69	75,57	73,00
P	726,77	832,17	879,74
C	202,83	171,65	160,72

* побудовано автором за розрахунками

Таблиця Б.18

Вихідні дані для розрахунку для методу знаходження оптимальної рівноваги між конкуруючими ланцюгами поставок*

Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів	Умовні позначення	Значення параметрів
p_{11}	23	$a_{21}^{(1)}$	2,4	b_{22}	1000
p_{12}	35	$a_{22}^{(1)}$	1,8	$\gamma_1^{(1)}$	0,02
p_{21}	25	$a_{11}^{(2)}$	1,6	$\gamma_2^{(1)}$	0,02
p_{22}	36	$a_{12}^{(2)}$	2,3	$\gamma_1^{(2)}$	0,015
g_{11}	0,2	$a_{21}^{(2)}$	1,15	$\gamma_2^{(2)}$	0,015
g_{12}	0,15	$a_{22}^{(2)}$	1,7	$s_{01}^{(1)}$	12
g_{21}	0,1	b_{11}	1450	$s_{02}^{(1)}$	18
g_{22}	0,15	b_{12}	1100	$s_{01}^{(2)}$	12
$a_{11}^{(1)}$	1,5	b_{21}	1400	$s_{02}^{(2)}$	19
$a_{12}^{(1)}$	1,1	-	-	-	-

* побудовано за даними [120], [136], [164]

Таблиця Б.19

Результати розрахунку для методу знаходження оптимальної рівноваги між конкуруючими ланцюгами поставок з урахуванням інноваційної діяльності підприємств*

Умовні позначення	Рівновага за Курно		Рівновага за Штакельбергом (лідер – перше підприємство)		Рівновага за Штакельбергом (лідер – друге підприємство)	
	Перше підприємство	Друге підприємство	Перше підприємство	Друге підприємство	Перше підприємство	Друге підприємство
y_{11}	151,03	145,34	236,60	103,82	106,25	228,76
y_{12}	74,79	72,89	115,53	51,33	53,75	112,92
y_{21}	456,40	147,89	248,03	96,65	108,80	235,45
y_{22}	75,58	73,74	119,34	50,55	54,60	115,15
v_1	318,09	351,16	409,65	285,64	259,84	456,16
v_2	407,91	463,18	525,01	365,14	333,49	599,74

* побудовано автором за розрахунками

ДОДАТОК В

**Методичні вказівки до розв’язку задачі оптимізації поставок сировини,
випуску продукції підприємством і доставки готової продукції**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Менеджмент і маркетинг»

Методичні вказівки до розв’язку задачі

«Оптимізація поставок сировини,
випуску продукції підприємством
і доставки готової продукції»

Методичні вказівки розроблені Куруджи Юлією Володимирівною – старшим викладачем кафедри «Менеджмент і маркетинг» Одеського національного морського університету.

Методичні вказівки схвалені на засіданні кафедри «Менеджмент і маркетинг» 24.02.2019 р. (протокол № 15).

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Загальні вказівки	3
2. Етапи вирішення задачі	3
3. Методичні вказівки до розв’язку задачі	4
3.1. Підготовка вихідних даних	4
3.2. Економіко-математична модель задачі в загальному вигляді ..	5
3.3. Модель оптимізації для окремого випадку	7
Висновок	14
Список літератури	14

Вступ

Використання логістичних принципів в діяльності промислових і транспортних підприємств, логістичних та експедиторських компаній дозволяє значно підвищити ефективність управління їх роботою за рахунок чіткої координації дій в ланцюгах поставок. Логістичний менеджмент, за визначенням, може розглядатися як система прийняття рішень, яка пов'язує промислове підприємство з постачальниками і споживачами за допомогою каналів дистрибуції і транспортних підприємств. Інтегрований логістичний менеджмент повинен забезпечувати ефективний контроль над роботою всіх елементів логістичної системи. Основною задачею інтегрованого логістичного менеджменту є розробка оптимального плану випуску готової продукції, здійснення оптимального управління запасами сировини і напівфабрикатів, незавершеного виробництва, готової продукції, а також розробка оптимального плану доставки готової продукції споживачам. Для того, щоб реалізувати такий ефективний менеджмент на практиці, необхідна відповідна система прийняття рішень, яка повинна бути заснована на таких розділах дослідження операцій, як теорія оптимізації, теорія управління запасами, лінійне, нелінійне, динамічне, цілочисельне, стохастичне програмування, а також на методах економетрики (наприклад, для прогнозування попиту). Дані методичні вказівки можуть бути використані в практичній діяльності логістичного оператора.

1. Загальні вказівки

Основною метою методичних вказівок є підвищення ефективності управління діяльністю учасників ланцюга поставок і координації їх взаємодії на заданому горизонті планування.

Використання методичних вказівок в практичній діяльності дасть можливість логістичному оператору не тільки підвищити ефективність своєї роботи, але також дозволить аналізувати різні варіанти прийняття рішень щодо обсягів виробництва і доставки готової продукції кінцевому споживачеві залежно від зміни попиту на неї, проводити аналіз роботи інтегрованих ланцюгів поставок і вносити конкретні пропозиції щодо вдосконалення планування їх роботи.

2. Етапи розв'язку задачі

2.1. Підготовка вихідних даних. Для вирішення задачі спочатку необхідно зібрати дані про виробничі характеристики заданого промислового підприємства і множини споживачів готової продукції.

2.2. Прогнозування попиту в пунктах призначення з використанням програми Excel.

2.3. Розрахунок собівартості перевезення 1 т готової продукції залізницею.

2.4. Розрахунок оптимального плану поставок сировини, випуску готової продукції та її перевезення до пунктів призначення.

2.5. Здійснення постановки задачі і запис її економіко-математичної моделі.

2.6. Розв'язання задачі оптимізації за допомогою програми Excel.

2.7. Проведення аналізу отриманого розв'язку.

2.8. Складення робочих календарних графіків поставок сировини, виробництва і перевезення готової продукції в пункти призначення

3. Методичні вказівки до розв'язання задачі

3.1. Підготовка вихідних даних

При описі заводу-виробника готової продукції й пунктів призначення слід приділити увагу опису виробничих потужностей заводу, видів необхідної сировини, а також описати можливі транспортні комунікації для доставки готової продукції в пункти споживання. Зокрема, слід акцентувати увагу на технології перевезення з урахуванням типів залізничних платформ, варіантах маршрутів руху поїздів.

При характеристиці пунктів призначення (наприклад, логістичних дистрибутивних центрів, які обслуговують порти) слід дати загальну характеристику пунктів і під'їзних колій.

На першому кроці підготовки вихідних даних підставі заданих обсягів попиту за минулий період необхідно скласти прогноз зростання попиту по кожному виду готової продукції й кожному пункту призначення на T кроків вперед. Із цією метою використовується лінійна регресійна залежність виду

$$d_t = a + bt + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де a і b – коефіцієнти регресії, ε_t – помилка прогнозу. Коефіцієнти a і b знаходяться за допомогою програми Excel.

Після розрахунків d_t за формулою (1), наприклад, для $T=4$, для $t=n+1, n+2, n+3, n+4$, де n – довжина заданого часового ряду, знаходимо для кожного виду готової продукції й кожного пункту призначення величини повного попиту, тобто

$$d_t = \sum_{i=1}^4 d_{n+i}.$$

Далі розраховується собівартість перевезення готової продукції кожного виду від заводу до кожного пункту призначення. При цьому зазначена собівартість на 1 км знаходиться на сайті «Укрзалізниця» (www.uz.gov.ua), а відстані від заводу до портів визначається за таблицею відстаней, наведеною в Інтернеті.

Отримані результати представляються в табличному вигляді (див. Бланк в Додатку) і в подальшому використовуються в оптимізаційних розрахунках поряд з іншими вихідними даними, які містяться в завданні на проектування.

3.2. Економіко-математична модель задачі у загальному вигляді

Наведемо спочатку модель задачі оптимізації в загальному виді [5]. Вона є узагальненням відомої в теорії управління запасами моделі Вагнера-Уайтіна [5, 6].

Нехай деяке промислове підприємство виробляє K видів готової продукції. Для її виробництва потрібно R видів матеріальних ресурсів. Вважається, що задана матриця технологічних коефіцієнтів $A = \|a_{rk}\|$, $r=1, 2, \dots, R$, $k=1, 2, \dots, K$, де a_{rk} – кількість ресурсу r -го виду, необхідного для виробництва одиниці готової продукції k -го виду.

Підприємство закупас всі види матеріальних ресурсів у R постачальників (або у постачальної фірми). Готова продукція повинна бути доставлена в N пунктів призначення. Горизонт планування дорівнює T (час вимірюється в дискретних одиницях, тобто в добі, місяцях, кварталах).

Загальний розмір попиту на готову продукцію k -го виду у i -му пункті призначення (або споживання) за період T відомий і дорівнює $d_{ik} > 0$. З урахуванням заданого попиту завод закуповує матеріальні ресурси й виробляє продукцію.

Прийmemo наступні припущення:

- ринок матеріальних ресурсів необмежений;
- усі замовлення на поставку матеріалів і одержання готової продукції здійснюються на початку кожного періоду (всередині планового періоду T). Запаси матеріалів використовуються наприкінці кожного періоду;
- час виконання замовлення на поставку чергової партії матеріалів дорівнює нулю, тобто замовлена партія надходить відразу після розміщення замовлення;
- виробничі устаткування є абсолютно надійним;
- продуктивність технологічних ліній на підприємстві обмежена тільки місткістю складів для зберігання матеріалів і готової продукції.

Для побудови економіко-математичної моделі введемо наступні позначення:

- x_{rt} – кількість матеріалу r -го виду, замовленого й отриманого у періоді t , $t=1, 2, \dots, T$;
- y_{kt} – кількість готової продукції k -го виду, яку підприємство планує випустити наприкінці періоду t , $t=1, 2, \dots, T$;
- z_{knt} – кількість готової продукції k -го виду, яке планується доставити в n -й пункт призначення наприкінці періоду t , $t=1, 2, \dots, T$;

- p_{rt} – вартість закупівлі й доставки одиниці матеріалу r -го виду в періоді t , $t=1, 2, \dots, T$;
- e_{kt} – собівартість випуску одиниці готової продукції k -го виду в періоді t , $t=1, 2, \dots, T$;
- c_{knt} – собівартість перевезення одиниці готової продукції k -го виду із заводу в n -й пункт призначення в періоді t , $t=1, 2, \dots, T$;
- h_{1rt} (h_{2kt}) – вартість добового зберігання одиниці матеріалу r -го виду (готової продукції k -го виду) у періоді t , $t=1, 2, \dots, T$;
- C_1 (C_2) – місткість складу для зберігання матеріалів (готової продукції);
- q_{1r} (q_{2k}) – початковий запас матеріалу r -го виду (готової продукції k -го виду) на складі. Вважається, що

$$\sum_{r=1}^R q_{1r} \leq C_1, \quad \sum_{k=1}^K q_{2k} \leq C_2;$$

- I_{1rt} (I_{2kt}) – рівень запасу r -го виду матеріалу (k -го виду готової продукції) на складі наприкінці періоду t , $t=1, 2, \dots, T$.

Зазначені рівні запасів виражаються через уведені вище параметри управління наступним чином:

$$I_{1rt} = q_{1r} + \sum_{j=1}^t \left(x_{rj} - \sum_{k=1}^K a_{rk} y_{kj} \right), \quad r=1, 2, \dots, R, \quad (2)$$

$$I_{2kt} = q_{2k} + \sum_{j=1}^t \left(y_{kj} - \sum_{n=1}^N z_{knj} \right), \quad k=1, 2, \dots, K. \quad (3)$$

Оскільки

$$\sum_{r=1}^R q_{1r} \leq C_1, \quad \sum_{k=1}^K q_{2k} \leq C_2,$$

то, враховуючі (2), (3), звідси одержуємо

$$\sum_{r=1}^R q_{1r} + \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^t x_{rj} - \sum_{j=1}^t \sum_{r=k=1}^R a_{rk} y_{kj} \leq C_1, \quad t=1, 2, \dots, T, \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K q_{2k} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^t y_{kj} - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj} \leq C_2, \quad t=1, 2, \dots, T. \quad (5)$$

З іншого боку, у періоді t не може бути спожите матеріалів r -го виду й вивезене готової продукції k -го виду в кількостях, більших, ніж рівні запасів $I_{1,r,t-1}$ і $I_{2,k,t-1}$ відповідно, тобто

$$\sum_{k=1}^K a_{rk} y_{kt} \leq I_{1,r,t-1}, \quad t=1, 2, \dots, T,$$

$$\sum_{n=1}^N z_{knt} \leq I_{2,k,t-1}, \quad t=1, 2, \dots, T.$$

Тому з врахуванням (2), (3) отримасмо:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^t a_{jk} y_{kj} \leq q_{1r} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{rj}, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots,T, \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj} \leq q_{2k} + \sum_{j=1}^t y_{kj}, k=1,2,\dots,K, t=1,2,\dots,T. \quad (7)$$

Нарешті, в n -й пункт призначення готова продукція k -го виду повинна бути доставлена в кількості d_{kn} на горизонті планування, тобто

$$\sum_{t=1}^T z_{kn} = d_{kn}, k=1,2,\dots,K, n=1,2,\dots,N. \quad (8)$$

Вираз для повних витрат по усьому інтегрованому ланцюгу поставок має наступний вигляд:

$$S = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{n=k=1}^N \sum_{m=1}^K c_{knt} z_{knt} + \sum_{k=1}^K \left[e_{kt} y_{kt} + h_{2kt} \left(q_{2k} + \sum_{j=1}^t y_{kj} - \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^K z_{knt} \right) \right] + \sum_{r=1}^R \left[p_{rt} x_{rt} + h_{1rt} \left(q_{1r} + \sum_{j=1}^t x_{rj} - \sum_{j=1}^K \sum_{k=1}^N a_{kr} y_{kj} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

(ми тут не врахуємо витрати на розміщення замовлення на поставку матеріалів).

Оптимізаційна задача формулюється наступним чином: знайти значення змінних $x_{rt}, y_{kt}, z_{knt} \geq 0$, які задовольняють обмеженням (4)-(8) і забезпечують мінімальне значення функції (9).

Для того, щоб сформульована задача лінійного програмування була припустимою, необхідне виконання наступних умов:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N d_{kn} \leq (T-1)C_2 + \sum_{k=1}^K q_{2k},$$

$$\sum_{k=1}^K a_{rk} \left(\sum_{n=1}^N d_{kn} - q_{2k} \right) \leq q_{1r} + (T-2)C_1, r=1,2,\dots,R.$$

З іншого боку, для запобігання тривіальних ситуацій необхідно припустити, щоб $\sum_{n=1}^N d_{kn} > q_{2k}, k=1,2,\dots,K$.

Після запису економіко-математичної моделі розв'язок задачі здійснюється за допомогою пакета програм Excel, опція «Пошук розв'язку».

3.3. Модель оптимізації для окремого випадку

Враховуючи дуже високу розмірність моделі оптимізації, наведеної в п. 3.2, для реальних значень N, K, R (вони вимірюються десятками), з метою зниження трудомісткості розрахунків і аналізу результатів розв'язку прийняті значення $N=3, K=2, R=2, T=4$. Для цього окремого випадку число змінних виду x_{rt} дорівнює 8, число змінних виду $y_{kt} - 8$, число змінних виду $z_{knt} - 24$. Таким

чином, загальне число змінних у моделі дорівнює 40. Запишемо модель оптимізації для вказаного випадку. Цільова функція має наступний вигляд:

$$S = \{ \text{витрати у 1-му періоді} \} +$$

$$c_{111} z_{111} + c_{211} z_{211} + c_{121} z_{121} + c_{221} z_{221} + c_{131} z_{131} + c_{231} z_{231} +$$

$$+ c_{11} y_{11} + h_{211} (q_{21} + y_{11} - z_{111} - z_{211} - z_{131}) + c_{21} y_{21} + h_{221} (q_{22} + y_{21} - z_{211} - z_{221} - z_{231}) +$$

$$+ p_{11} x_{11} + h_{111} (q_{11} + x_{11} - a_{11} y_{11} - a_{12} y_{21}) + p_{21} x_{21} + h_{121} (q_{12} + x_{21} - a_{21} y_{11} - a_{22} y_{21}) +$$

$$\{ \text{витрати у 2-му періоді} \} +$$

$$+ c_{112} z_{112} + c_{212} z_{212} + c_{122} z_{122} + c_{222} z_{222} + c_{132} z_{132} + c_{232} z_{232} +$$

$$+ c_{12} y_{12} + h_{212} (q_{21} + y_{12} - z_{112} - z_{212} - z_{132}) +$$

$$+ c_{22} y_{22} + h_{222} (q_{22} + y_{22} - z_{212} - z_{222} - z_{232}) +$$

$$+ p_{12} x_{12} + h_{112} (q_{11} + x_{12} - a_{11} y_{12} - a_{12} y_{22}) +$$

$$+ p_{22} x_{22} + h_{122} (q_{12} + x_{22} - a_{21} y_{12} - a_{22} y_{22}) +$$

$$\{ \text{витрати у 3-му періоді} \} +$$

$$+ c_{113} z_{113} + c_{213} z_{213} + c_{123} z_{123} + c_{223} z_{223} + c_{133} z_{133} + c_{233} z_{233} +$$

$$+ c_{13} y_{13} + h_{213} (q_{21} + y_{13} - z_{113} - z_{213} - z_{133}) +$$

$$+ c_{23} y_{23} + h_{223} (q_{22} + y_{23} - z_{213} - z_{223} - z_{233}) +$$

$$+ p_{13} x_{13} + h_{113} (q_{11} + x_{13} - a_{11} y_{13} - a_{12} y_{23}) +$$

$$+ p_{23} x_{23} + h_{123} (q_{12} + x_{23} - a_{21} y_{13} - a_{22} y_{23}) +$$

$$\{ \text{витрати у 4-му періоді} \} +$$

$$+ c_{114} z_{114} + c_{214} z_{214} + c_{124} z_{124} + c_{224} z_{224} + c_{134} z_{134} + c_{234} z_{234} +$$

$$+ c_{14} y_{14} + h_{214} (q_{21} + y_{14} - z_{114} - z_{214} - z_{134}) +$$

$$+ c_{24} y_{24} + h_{224} (q_{22} + y_{24} - z_{214} - z_{224} - z_{234}) +$$

$$+ p_{14} x_{14} + h_{114} (q_{11} + x_{14} - a_{11} y_{14} - a_{12} y_{24}) +$$

$$+ p_{24} x_{24} + h_{124} (q_{12} + x_{24} - a_{21} y_{14} - a_{22} y_{24}) \rightarrow \min$$

Обмеження: $x_{rt}, y_{kt}, z_{knt} \geq 0$

$$q_{11} + q_{12} + x_{11} + x_{21} - y_{11} (a_{11} + a_{21}) - y_{21} (a_{12} + a_{22}) \leq C_1,$$

$$q_{11} + q_{12} + x_{11} + x_{12} + x_{21} + x_{22} -$$

$$(y_{11} + y_{12})(a_{11} + a_{21}) - (y_{21} + y_{22})(a_{12} + a_{22}) \leq C_1'$$

$$\begin{aligned}
 & q_{11} + q_{12} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{21} + x_{22} + x_{23} - \\
 & \quad - (y_{11} + y_{12} + y_{13})(a_{11} + a_{21}) - (y_{21} + y_{22} + y_{23})(a_{12} + a_{22}) \leq C_1, \\
 & q_{11} + q_{12} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} - \\
 & \quad - (y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14})(a_{11} + a_{21}) - (y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24})(a_{12} + a_{22}) \leq C_1; \\
 & q_{21} + q_{22} + y_{11} + y_{21} - (z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{211} + z_{221} + z_{231}) \leq C_2, \\
 & q_{21} + q_{22} + y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22} - (z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{211} + z_{221} + z_{231} + \\
 & \quad + z_{112} + z_{122} + z_{132} + z_{212} + z_{222} + z_{232}) \leq C_2, \\
 & q_{21} + q_{22} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{21} + y_{22} + y_{23} - 0 \\
 & \quad - (z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{211} + z_{221} + z_{231} + \\
 & \quad + z_{112} + z_{122} + z_{132} + z_{212} + z_{222} + z_{232} + \\
 & \quad + z_{113} + z_{123} + z_{133} + z_{213} + z_{223} + z_{233}) \leq C_2, \\
 & q_{21} + q_{22} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24} - \\
 & \quad - (z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{211} + z_{221} + z_{231} + \\
 & \quad + z_{112} + z_{122} + z_{132} + z_{212} + z_{222} + z_{232} + z_{113} + z_{123} + z_{133} + z_{213} + z_{223} + z_{233} + \\
 & \quad + z_{114} + z_{124} + z_{134} + z_{214} + z_{224} + z_{234}) \leq C_2; \\
 & a_{11}y_{11} + a_{12}y_{21} \leq q_{11}, \\
 & a_{21}y_{11} + a_{22}y_{21} \leq q_{12}, \\
 & -x_{11} + a_{11}(y_{11} + y_{12}) + a_{12}(y_{21} + y_{22}) \leq q_{11}, \\
 & -x_{21} + a_{21}(y_{11} + y_{12}) + a_{22}(y_{21} + y_{22}) \leq q_{12}, \\
 & -x_{11} - x_{12} + a_{11}(y_{11} + y_{12} + y_{13}) + a_{12}(y_{21} + y_{22} + y_{23}) \leq q_{11}, \\
 & -x_{21} - x_{22} + a_{21}(y_{11} + y_{12} + y_{13}) + a_{22}(y_{21} + y_{22} + y_{23}) \leq q_{12}, \\
 & -x_{11} - x_{12} - x_{13} + a_{11}(y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14}) + a_{12}(y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24}) \leq q_{11}, \\
 & -x_{21} - x_{22} - x_{23} + a_{21}(y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14}) + a_{22}(y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24}) \leq q_{12}; \\
 & z_{111} + z_{121} + z_{131} \leq q_{21}, \\
 & z_{211} + z_{221} + z_{231} \leq q_{22}, \\
 & -y_{11} + z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{112} + z_{122} + z_{132} \leq q_{21}, \\
 & -y_{21} + z_{211} + z_{221} + z_{231} + z_{212} + z_{222} + z_{232} \leq q_{22}, \\
 & -y_{11} - y_{12} + z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{112} + z_{122} + z_{132} + z_{113} + z_{123} + z_{133} \leq q_{21}, \\
 & -y_{21} - y_{22} + z_{211} + z_{221} + z_{231} + z_{212} + z_{222} + z_{232} + z_{213} + z_{223} + z_{233} \leq q_{22}, \\
 & -y_{11} - y_{12} - y_{13} + z_{111} + z_{121} + z_{131} + z_{112} + z_{122} + z_{132} + \\
 & \quad + z_{113} + z_{123} + z_{133} + z_{114} + z_{124} + z_{134} \leq q_{21}, \\
 & -y_{21} - y_{22} - y_{23} + z_{211} + z_{221} + z_{231} + z_{212} + z_{222} + z_{232} + \\
 & \quad + z_{213} + z_{223} + z_{233} + z_{214} + z_{224} + z_{234} \leq q_{22}; \\
 & z_{111} + z_{112} + z_{113} + z_{114} = d_{11}, \\
 & z_{211} + z_{212} + z_{213} + z_{214} = d_{21}, \\
 & z_{121} + z_{122} + z_{123} + z_{124} = d_{12},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & z_{221} + z_{222} + z_{223} + z_{224} = d_{22}, \\
 & z_{131} + z_{132} + z_{133} + z_{134} = d_{13}, \\
 & z_{231} + z_{232} + z_{233} + z_{234} = d_{23}.
 \end{aligned}$$

Наведемо приклад розв'язку сформульованої задачі оптимізації поставок сировини, випуску продукції підприємством і доставки готової продукції для вихідних даних, представлених на рис. 1.

Задача розв'язується за допомогою програми Excel.

Результатом її розв'язку є значення параметрів управління $x_{ij}, y_{kl}, z_{knt} \geq 0$ (рис. 2), які доставляють мінімальне значення цільової функції S , що відображає повні витрати по всьому логістичному ланцюгу поставок (рис. 3).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	Вихідні дані																
2	Вартість закупівлі та доставки одиниці матеріалу												Початковий запас матеріалу				
3		1-й період	2-й період	3-й період	4-й період								1-го виду	q ₁₁	30		
4	1-го виду	d ₁₁	100	d ₁₂	110	d ₁₃	120	d ₁₄	120				2-го виду	q ₁₂	25		
5	2-го виду	d ₂₁	100	d ₂₂	110	d ₂₃	120	d ₂₄	120								
6	Собівартість випуску одиниці готової продукції												Початковий запас готової продукції				
7		1-й період	2-й період	3-й період	4-й період								1-го виду	q ₂₁	40		
8	1-го виду	e ₁₁	300	e ₁₂	310	e ₁₃	320	e ₁₄	320				2-го виду	q ₂₂	30		
9	2-го виду	e ₂₁	700	e ₂₂	710	e ₂₃	720	e ₂₄	720								
10	Собівартість перевезення одиниці готової продукції												Вісткість складу для зберігання матеріалу				
11		1-й пункт	2-й пункт	3-й пункт	4-й пункт								1-й пункт				
12	1-го виду	g ₁₁	295	g ₁₂	205	g ₁₃	205	g ₁₄	205	g ₁₅	205	g ₁₆	2-й пункт			1:10	
13	2-го виду	g ₂₁	180	g ₂₂	180	g ₂₃	180	g ₂₄	180	g ₂₅	180	g ₂₆	3-й пункт				
14		1-й пункт	2-й пункт	3-й пункт	4-й пункт								1-й пункт				
15	1-го виду	h ₁₁	0.1	h ₁₂	0.2	h ₁₃	0.2	h ₁₄	0.2	h ₁₅	0.2	h ₁₆	2-й пункт				
16	2-го виду	h ₂₁	0.1	h ₂₂	0.2	h ₂₃	0.2	h ₂₄	0.2	h ₂₅	0.2	h ₂₆	3-й пункт				
17		1-й пункт	2-й пункт	3-й пункт	4-й пункт								1-й пункт				
18	1-го виду	h ₁₁	0.1	h ₁₂	0.2	h ₁₃	0.2	h ₁₄	0.2	h ₁₅	0.2	h ₁₆	2-й пункт				
19	2-го виду	h ₂₁	0.1	h ₂₂	0.2	h ₂₃	0.2	h ₂₄	0.2	h ₂₅	0.2	h ₂₆	3-й пункт				
20	Вартість зберігання одиниці матеріалу												Вісткість складу для зберігання продукції				
21		1-й період	2-й період	3-й період	4-й період								1-й пункт				
22	1-го виду	h ₁₁	0.1	h ₁₂	0.2	h ₁₃	0.2	h ₁₄	0.2	h ₁₅	0.2	h ₁₆	2-й пункт				
23	2-го виду	h ₂₁	0.1	h ₂₂	0.2	h ₂₃	0.2	h ₂₄	0.2	h ₂₅	0.2	h ₂₆	3-й пункт				
24	Вартість зберігання одиниці готової продукції												Матриця техніко-економічних коефіцієнтів				
25		1-й період	2-й період	3-й період	4-й період								1-й ресурс	a ₁₁	0.3	a ₁₂	0.2
26	1-го виду	h ₂₁	0.1	h ₂₂	0.2	h ₂₃	0.2	h ₂₄	0.2	h ₂₅	0.2	h ₂₆	2-й ресурс	a ₂₁	0.5	a ₂₂	0.4
27	2-го виду	h ₂₁	0.1	h ₂₂	0.2	h ₂₃	0.2	h ₂₄	0.2	h ₂₅	0.2	h ₂₆					
28	Потреби пунктів призначення												Матриця техніко-економічних коефіцієнтів				
29		1 пункт	2 пункт	3 пункт									1-й ресурс	a ₁₁	0.3	a ₁₂	0.2
30	1-й товар	d ₁₁	46.2	d ₁₂	32.5	d ₁₃	35.2						2-й ресурс	a ₂₁	0.5	a ₂₂	0.4
31	2-й товар	d ₂₁	34.9	d ₂₂	40	d ₂₃	45.5										

Рис. 1. Введення вихідних даних

Параметри управління									
Кількість замовленого і отриманого матеріалу									
	1-й період	2-й період	3-й період	4-й період					
1-го виду	x ₁₁	10,59	x ₁₂	0	x ₁₃	0	x ₁₄	0	
2-го виду	x ₂₁	48,69	x ₂₂	0	x ₂₃	0	x ₂₄	0	
Кількість продукції для виробництва									
	1-й період	2-й період	3-й період	4-й період					
1-го виду	y ₁₁	0	y ₁₂	74,94	y ₁₃	0	y ₁₄	0	
2-го виду	y ₂₁	62,5	y ₂₂	28,04	y ₂₃	0	y ₂₄	0	
Кількість продукції для доставки в пункти призначення									
	1-й період	2-й період	3-й період	4-й період					
1-го виду	z ₁₁₁	0	z ₁₁₂	0	z ₁₁₃	46,2	z ₁₁₄	0	в 1-й пункт призначення
	z ₁₂₁	4,34	z ₁₂₂	0	z ₁₂₃	20,7	z ₁₂₄	0	в 2-й пункт призначення
	z ₁₃₁	35,2	z ₁₃₂	0	z ₁₃₃	0	z ₁₃₄	0	в 3-й пункт призначення
	z ₁₄₁	0	z ₁₄₂	6,88	z ₁₄₃	28	z ₁₄₄	0	в 4-й пункт призначення
2-го виду	z ₂₁₁	0	z ₂₁₂	43	z ₂₁₃	0	z ₂₁₄	0	в 2-й пункт призначення
	z ₂₂₁	30	z ₂₂₂	15,6	z ₂₂₃	0	z ₂₂₄	0	в 3-й пункт призначення

Рис. 2. Оптимальні значення параметрів управління

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
63	Затрати								
64	на перевезення продукції	12725,84	11288,79	8437,18	0,00	Всього 32451,810			
65	на виробництво продукції	43750,00	43139,90	0,00	0,00	всього 86899,900			
66	на зберігання продукції	6,25	20,60	0,02	0,02	всього 27,890			
67	на закупівлю матеріалу	5927,60	0,00	0,00	0,00	всього 5927,600			
68	на зберігання матеріалу	7,68	0,00	0,00	0,00	всього 7,680			
69	Загальні витрати	62417,37	54449,19	8437,18	0,00	125303,734			

Рис. 3. Значення цільової функції та її складових

Отримані результати можна інтерпретувати наступним чином. З метою мінімізації витрат на зберігання матеріалів, необхідних для виробництва продукції, здійснюється їх закупівля та зберігання на складі тільки в 1-му періоді. Готова продукція зберігається на складі у 1-му і 2-му періодах. Детальний рух матеріальних потоків і структура витрат у кожному з періодів представлено на рис. 4, 5 і 6.

Отже, у 1-му періоді (рис. 4) для виготовлення продукції підприємство-виробник закупив у постачальницької фірми 10,59 од. матеріалу 1-го виду й 48,69 од. матеріалу 2-го виду. На виробництво 62,5 од. продукції 2-го виду використовується 12,5 од. матеріалу 1-го виду й 25 од. матеріалу 2-го виду. Продукція 1-го виду у 1-му періоді не виробляється. При цьому у 2-й пункт призначення буде доставлено 4,84 од. продукції 1-го виду, в 3-й – 35,16 од. продукції 1-го виду (що задовольнить попит 3-го пункту на продукцію цього виду) і 30 од. продукції 2-го виду.

Загальні витрати у 1-му періоді складуть 62417,37 гр. од., з них 5927,6 гр. од. на закупівлю матеріалу, 7,68 гр. од. на його зберігання, 43750 гр. од. на

випуск продукції, 6,25 гр. од. на її зберігання, 12725,84 гр. од. на перевезення готової продукції в пункти призначення.

1-й ПЕРІОД				
	Залишки матеріалу на початку періоду	К-ть використаного матеріалу	К-ть замовленого матеріалу	Залишки матеріалу в кінці періоду
1-й вид матеріалу	30,00	12,50	10,59	28,09
2-й вид матеріалу	25,00	25,00	48,69	48,69
В кінці періоду на складі для зберігання матеріалу				76,78
	Залишки продукції на початку періоду	К-ть продукції для виробництва	К-ть продукції для вивезення	Залишки продукції в кінці періоду
1-й вид продукції	40,00	0,00	40,00	0,00
2-й вид продукції	30,00	62,50	30,00	62,50
В кінці періоду на складі для зберігання продукції				62,50
Доставка продукції в пункти призначення				
1-й пункт	Доставлено в 1 періоді		Всього доставлено	
	1-й вид продукції	0,00	0,00	46,20
2-й пункт	Доставлено в 1 періоді		Всього доставлено	
	1-й вид продукції	4,84	4,84	33,58
3-й пункт	Доставлено в 1 періоді		Всього доставлено	
	1-й вид продукції	36,20	36,20	36,16
	2-й вид продукції	30,00	30,00	45,60
Затрати				
на перевезення продукції		12725,84	на закупівлю матеріалу	
на випуск продукції		43750,00	на зберігання матеріалу	
на зберігання продукції		6,25	Загальні витрати	
			62417,37	

Рис. 4. Рух матеріальних потоків і структура витрат підприємства в 1-му періоді

У 2-му періоді (рис. 5) виробляється 74,94 од. продукції 1-го виду й 28,04 од. продукції 2-го виду. Для цього використовуються всі запаси матеріалів на складі. При цьому вироблена продукція 1-го виду зберігається на складі, а частина продукції 2-го виду доставляється в пункти призначення в наступних кількостях: 6,86 од. 1-й пункт, 40,04 од. в 2-й пункт і 15,6 од. в 3-й пункт, що повністю задовольняє попит 2-го й 3-го пунктів на даний вид продукції.

Загальні витрати у 2-му періоді складуть 54449,19 гр. од., з них 43139,8 гр. од. на випуск продукції, 20,6 гр. од. на її зберігання й 11288,79 гр. од. на перевезення в пункти призначення.

У 3-му періоді (рис. 6) здійснюється доставка готової продукції в пункти призначення: 46,2 од. продукції 1-го виду й 28,04 од. продукції 2-го виду в 1-й пункт, 28,74 од. продукції 1-го виду в другий пункт. При цьому витрати на перевезення продукції складуть 8437,18 гр. од.

2-й ПЕРІОД				
	Запаси матеріалу на початку періоду	К-ть використаного матеріалу	К-ть замовленого матеріалу	Запаси матеріалу в кінці періоду
1-й вид матеріалу	28,09	28,09	0,00	0,00
2-й вид матеріалу	48,59	48,59	0,00	0,00
В кінці періоду на складі для зберігання матеріалу				0,00
	Запаси продукції на початку періоду	К-ть продукції для виробництва	К-ть продукції для вивезення	Запаси продукції в кінці періоду
1-й вид продукції	0,00	74,94	0,00	74,94
2-й вид продукції	62,50	29,04	62,50	29,04
В кінці періоду на складі для зберігання продукції				102,98
Доставка продукції в пункти призначення				
1-й пункт	Доставлено в 2 періоді		Всього доставлено	Потреба пункту призначення
	1-й вид продукції	2-й вид продукції		
	0,00	0,00	0,00	46,20
	6,86	6,86	6,86	34,90
2-й пункт	Доставлено в 2 періоді		Всього доставлено	Потреба пункту призначення
	1-й вид продукції	2-й вид продукції		
	0,00	40,00	4,04	33,58
	40,00	0,00	40,00	40,04
3-й пункт	Доставлено в 2 періоді		Всього доставлено	Потреба пункту призначення
	1-й вид продукції	2-й вид продукції		
	0,00	0,00	35,20	35,16
	15,60	15,60	45,60	45,60
Затрати				
на перевезення продукції	11288,79	на закупівлю матеріалу	0,00	
на випуск продукції	43139,80	на зберігання матеріалу	0,00	
на зберігання продукції	20,60	Загальні витрати	54445,19	

Рис. 5. Рух матеріальних потоків і структура витрат підприємства в 2-му періоді

3-й ПЕРІОД				
	Запаси матеріалу на початку періоду	К-ть використаного матеріалу	К-ть замовленого матеріалу	Запаси матеріалу в кінці періоду
1-й вид матеріалу	0,00	0,00	0,00	0,00
2-й вид матеріалу	0,00	0,00	0,00	0,00
В кінці періоду на складі для зберігання матеріалу				0,00
	Запаси продукції на початку періоду	К-ть продукції для виробництва	К-ть продукції для вивезення	Запаси продукції в кінці періоду
1-й вид продукції	74,94	0,00	74,94	0,00
2-й вид продукції	29,04	0,00	29,04	0,00
В кінці періоду на складі для зберігання продукції				0,00
Доставка продукції в пункти призначення				
1-й пункт	Доставлено в 3 періоді		Всього доставлено	Потреба пункту призначення
	1-й вид продукції	2-й вид продукції		
	46,20	0,00	46,20	46,20
	29,04	0,00	34,90	34,90
2-й пункт	Доставлено в 3 періоді		Всього доставлено	Потреба пункту призначення
	1-й вид продукції	2-й вид продукції		
	0,00	29,74	33,58	33,58
	0,00	0,00	40,00	40,04
3-й пункт	Доставлено в 3 періоді		Всього доставлено	Потреба пункту призначення
	1-й вид продукції	2-й вид продукції		
	0,00	0,00	35,20	35,16
	0,00	0,00	45,60	45,60
Затрати				
на перевезення продукції	8437,18	на закупівлю матеріалу	0,00	
на випуск продукції	0,00	на зберігання матеріалу	0,00	
на зберігання продукції	0,00	Загальні витрати	8437,18	

Рис. 6. Рух матеріальних потоків і структура витрат підприємства в 3-му періоді

У 4-му періоді продукція не виробляється й не доставляється в пункти призначення.

Отриманий план організації закупівлі матеріалів, виробництва й доставки продукції в пункти призначення дозволяє мінімізувати сумарні витрати вздовж усього ланцюга поставок, які складуть 125303,734 гр. од.

Висновок

Після розв'язку задачі оптимізації проводиться аналіз її розв'язку, складаються графіки поставок сировини, виробництва готової продукції і перевезень.

Список рекомендованої літератури

- Гаджинский А.М. Логистика: Учебник – 15-е изд., перераб и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2008. - 472 с.
- Малидретос Дж., Христодулу-Варотси И., Постан М.Я. и др. Транспортная логистика и интермодальные перевозки: Учебное пособие. - Одесса: Астропринт, 2004.- 164 с.
- Чухрай Н.І. Формування ланцюга поставок: питання теорії та практики / Н.І. Чухрай, О.Б. Гірна. – Львів: Інтеллект-Захід, 2007. – 232 с.
- Постан М.Я. Динамическая модель оптимального управления запасами товаров и их доставкой в деятельности логистической фирмы / М.Я. Постан // Логистика: проблемы и решения. – 2009. – №2. – С.54-58.
- Postan M.Ya. Dynamic Optimization Model for Planning of Integrated Logistical System Functioning/ M.Ya. Postan, I.V. Morozova, S.N. Dashkovskiy // Contributed Chapter in the Book: Dynamics in Logistics. Ed. H.J. Kreowski. – Berlin-Heidelberg: Springer, 2013.
- Brandimarte P. Introduction to distribution logistics / P. Brandimarte, G. Zotteri. – NY: J. Wiley & Sons, Inc., 2007. – 581 p.

ДОДАТОК Г

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

11. Куруджи Ю. В. Метод знаходження оптимальної рівноваги між конкуруючими ланцюгами поставок з урахуванням інноваційної діяльності / Ю. В. Куруджи // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2020. – № 1(278). – Т. 1. – С. 51-56 (0,58 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, Google Scholar.**

12. Куруджи Ю. В. Метод оцінки економічної доцільності страхування ризиків при плануванні роботи дворівневої логістичної мережі / Ю. В. Куруджи // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. – 2018. – Вип. 2(63). – С. 100-110 (0,52 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Google Scholar, Academic resource index, Research Bible, Ulrichsweb Global Serials Directory.**

13. Kurudzhi Yu. Method of finding equilibrium solutions for duopoly of supply chains taking into account the innovation activity of enterprises / Yu. Kurudzhi, I. Moskvichenko, M. Postan // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – #3/4(87). – P. 25-30 (0,7 друк. арк.). *Особистий внесок: запропоновано моделі конкуренції між ланцюгами поставок (0,23 друк. арк.).* **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Scopus, CrossRef, EBSCO, Index Copernicus, РИИЦ, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, WorldCat, Electronic Journal Library, DOAJ, ResearchBib, Directory of Research Journals Indexing.**

14. Куруджи Ю. В. Оптимизация планов закупки и доставки товара в логистической сети при случайном спросе / Ю. В. Куруджи // Глобальні та національні проблеми економіки: електронне наукове фахове видання. –

2017. – №18. – С. 603-607 (0,6 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричній базі даних Index Copernicus.**

15. Куруджи Ю. В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок с учетом факторов внутренней и внешней неопределенности / Ю. В. Куруджи // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: «Економічні науки». – 2016. – №19. – С. 156-161 (0,55 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, Google Scholar.**

16. Куруджи Ю. В. Разработка модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции с учетом факторов неопределенности / Ю. В. Куруджи // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4(3). – С. 12-15. (0,47 друк. арк.) **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, ПИНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, WorldCat, Electronic Journal Library, DOAJ, EBSCO, ResearchBib.**

17. Куруджи Ю. В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок при случайном спросе / Ю. В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 5/2(19). – С. 31-35 (0,58 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, ПИНЦ, ResearchBib, DOAJ, WorldCat.**

18. Куруджи Ю. В. Об одной модели оптимизации планов поставки и выпуска продукции предприятия при случайном спросе / Ю. В. Куруджи // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – 2014. – Вип. 1(21). – С. 27-38 (0,7 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних: Google Scholar, ПИНЦ.**

19. Куруджи Ю. В. Применение линейного программирования для оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / М. Я. Постан Ю. В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 2/2(16). – С. 42-47 (0,52 друк. арк.). **Особистий внесок: розроблено статичну модель оптимізації плану роботи ланцюга**

поставок типу V (0,26 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних:** *Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, BASE, ПИИЦ, ResearchBib, DOAJ, WorldCat.*

20. Куруджи Ю. В. Об одной статической модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / Ю. В. Куруджи // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті. – 2013. – Вип. 2(43). – С. 150-163 (0,81 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних:** *Google Scholar, Academic resource index, Research Bible, Ulrichsweb Global Serials Directory.*

У періодичних зарубіжних виданнях:

12. Kurudzhi Yu.V. Dynamic Model for Optimization of Production and Finished Products Delivery Plans in Supply Chain / M.Ya. Postan, N.I. Chuhraj, Yu.V. Kurudzhi // *Logistyka*. – 2014. – Vol. 4. – P. 2345-2352 (0,55 друк. арк.).
Особистий внесок: розроблено динамічну модель оптимізації планів випуску і доставки продукції (0,18 друк. арк.). **Індексується та реферується в наукометричних базах даних:** *Baza danych o zawartości polskich czasopism technicznych.*

Матеріали конференцій і тези доповідей:

26. Куруджи Ю. В. Моделирование цепей поставок в условиях конкуренции и инновационной активности предприятий / Ю. В. Куруджи // Економічний потенціал країни: наукові підходи та практика реалізації : матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. 4 травня 2018 р. (м. Одеса, 4 травня 2018 р.). – Одеса : ОНУ ім. І.І. Мечникова, 2018. – С. 168-170 (0,18 друк. арк.).

27. Куруджи Ю. В. Щодо питання доцільності страхування ризиків збитків логістичної мережі / Ю. В. Куруджи // Пріоритетні напрями розвитку економіки: нові реалії та можливості в умовах євроінтеграції : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 12 травня 2018 р.). – Запоріжжя : ЗДІА, 2018. – С. 140-143 (0,23 друк. арк.).

28. Куруджи Ю. В. Статистические проблемы при оценивании параметров распределения спроса в цепях поставок / Ю. В. Куруджи // Економічне зростання: стратегія, напрями, пріоритети : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 12 травня 2018 р.). – Запоріжжя : ГО "СІЕУ", 2018. – С. 26-29 (0,19 друк. арк.).

29. Куруджи Ю. В. Про одну стохастичну багатомітенклатурну модель оптимізації роботи дворівневої логістичної мережі / Ю. В. Куруджи // Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Харків – Київ, 12-15 вересня 2017 р.). – Харків : ХНУРЕ, 2017. – С. 111-114. (0,23 друк. арк.).

30. Куруджи Ю. В. Оцінка ринкового ризику при плануванні роботи ланцюгів поставок / Ю. В. Куруджи // Економіко-математичне моделювання : матеріали I нац. наук.-метод. конф. (м. Київ, 30 вересня – 1 жовтня 2016 р.). – К. : КНЕУ, 2016. – С. 201-203 (0,12 друк. арк.).

31. Куруджи Ю. В. Оптимизация объемов закупки товара и его доставки в логистической сети при случайном спросе / М. Я. Постан, Ю. В. Куруджи // Інформаційні управляючі системи та технології : матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 20-22 вересня 2016 р.). – Одеса : ОНМУ, 2016. – С. 25-29 (0,15 друк. арк.). *Особистий внесок: виведено формули сумарного прибутку дворівневої логістичної системи (0,07 друк. арк.).*

32. Куруджи Ю. В. Об одном подходе к оценке рисков при планировании работы цепей поставок с учетом факторов внешней и внутренней неопределенности / Ю. В. Куруджи // Механізми, стратегії, моделі та технології управління економічними системами за умов інтеграційних процесів : теорія, методологія, практика: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. (Хмельницький – Яремче, 8-10 жовтня 2015 р.). – Хмельницький : ФОП Сторожук О.В., 2015. – С. 40-42 (0,12 друк. арк.).

33. Куруджи Ю. В. К проблеме информационного обеспечения планирования работы цепей поставок / Ю. В. Куруджи // Проблеми

економічної кібернетики 2014 : матеріали II міжнар. наук.-метод. конф. (м. Полтава, 2-3 жовтня 2014 р.). – Полтава : ПУЕТ, 2014. – С. 73-74 (0,15 друк. арк.).

34. Куруджи Ю. В. Об одном подходе к оценке рисков предприятия при оптимизации планирования производства и доставки продукции в условиях случайного спроса / Ю. В. Куруджи // Транспорт як фактор глобального розвитку : матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів (Одеса – Щецін, 29-30 квітня 2014 р.) – Одеса : ОНМУ, 2014.– С. 265-266 (0,17 друк. арк.).

35. Куруджи Ю.В. Применение линейного программирования для оптимизации плана выпуска промежуточной и конечной продукции в цепях поставок / М. Я. Постан, Ю. В. Куруджи // Проблемы подготовки профессиональных кадров по логистике в условиях глобальной конкурентной среды : матеріали X міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 25-26 жовтня 2013 р.). – К. : Логос, 2013. – С. 308-310 (0,17 друк. арк.). *Особистий внесок: розроблено статичну оптимізаційну модель плану роботи ланцюга поставок типу V (0,08 друк. арк.).*

36. Куруджи Ю.В. On optimization model for planning production and delivery of finished products in supply chain / Ю. В. Куруджи // Проблеми розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2013 : матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Галац – Варна – Аспровальта, 21–29 вересня 2013 р.). – Одеса : ОНМУ, 2013. – С. 191 (0,1 друк. арк.).

37. Куруджи Ю. В. Моделирование финансовых рисков в цепях поставок методами теории массового обслуживания / Ю. В. Куруджи // Маркетинг та логістика в системі менеджменту : матеріали IX міжнар. наук.-практ. конф. (м. Львів, 8-10 листопада 2012 р.). Львів : «Львівська політехніка», 2012. С. 240 (0,12 друк. арк.).

38. Куруджи Ю. В. К проблеме управления финансовыми рисками в деятельности транспортно-логистических цепей доставки грузов / Ю. В. Куруджи // Сучасні порти – проблеми та рішення : матеріали IV

міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Польща – Німеччина, 26 квітня–3 травня 2012 р.). – Одеса : ОНМУ, 2012. – С. 169-170 (0,1 друк. арк.).

39. Куруджи Ю. В. О некоторых задачах управления финансовыми рисками в деятельности логистических систем / Ю. В. Куруджи // Проблемы розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2011 : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Несебр, 25–30 вересня 2011 р.). – Одеса : ОНМУ, 2011. – С. 185-187 (0,17 друк. арк.).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

30. Постан М.Я., Куруджи Ю.В. Логістичний менеджмент: Навчальний посібник. Практикум / М. Я. Постан, Ю. В. Куруджи. – Одеса: Бондаренко, 2020. – 84 с. (4,88 друк. арк.). *Особистий внесок: розраховані оптимальні плани виробництва та доставки продукції для задач планування роботи ланцюгів поставок (1,53 друк. арк.).*

31. Куруджи Ю.В. Управління ризиками на морському транспорті: Навчальний посібник. Практикум / М. Я. Постан, І. М. Москвіченко, Ю. В. Куруджи. – Одеса : Бондаренко, 2018. – 88 с. (5,11 друк. арк.). *Особистий внесок: проведено розрахунки для задач страхування ризиків, які зустрічаються в діяльності підприємств морського транспорту (1,25 друк. арк.).*

32. Транспортний менеджмент: Навчальний посібник. Практикум / М.М. Коваленко, Ю.В. Куруджи, М.Я. Постан та ін. – Одеса : Бондаренко, 2017. – 108 с. (6,28 друк. арк.). *Особистий внесок: розраховані оптимальні плани перевезень для задач взаємодії різних видів транспорту в транспортних мережах (0,9 друк. арк.).*

33. Куруджи Ю.В. Modeling the influence of transport units movement's irregularity of storage level of cargo at warehouse / Ю. В. Куруджи // Проблемы розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2012 : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса – Констанца – Несебр, 22–30 вересня 2012 р.). – Одеса : ОНМУ, 2012. – С. 196. (0,12 друк. арк.).

ДОДАТОК Д

Апробація результатів дисертаційної роботи

№ з/п	Тип конференції	Назва конференції	Місце та дата проведення	Тип участі
1	II Міжнародна науково-практична конференція	Економічний потенціал країни: наукові підходи та практика реалізації	м. Одеса, 4 травня 2018 р.	очна
2	Міжнародна науково-практична конференція	Пріоритетні напрями розвитку економіки: нові реалії та можливості в умовах євроінтеграції	м. Запоріжжя, 12 травня 2018 р.	заочна
3	III Міжнародна науково-практична конференція	Економічне зростання: стратегія, напрями, пріоритети	м. Запоріжжя, 12 травня 2018 р.	заочна
4	Міжнародна науково-практична конференція	Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами (ММП-2017)	Харків-Київ, 12-15 вересня 2017 р.	заочна
5	I Національна науково-методична конференція	Економіко-математичне моделювання	м. Київ, 30 вересня-1 жовтня 2016 р.	заочна
6	I Міжнародна науково-практична конференція	Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2016)	м. Одеса, 20-22 вересня 2016 р.	очна
7	II Міжнародна науково-практична конференція	Механізми, стратегії, моделі та технології управління економічними системами за умов інтеграційних процесів: теорія, методологія, практика	Хмельницький-Яремче, 8-10 жовтня 2015 р.	заочна

8	II Міжнародна науково-методична конференція	Проблеми економічної кібернетики 2014	м. Полтава, 2-3 жовтня 2014 р.	очна
9	I Міжнародна науково-методична конференція молодих учених і студентів	Транспорт як фактор глобального розвитку : матеріали I міжнар. наук.-практ. конф.	Одеса-Щецін, 29-30 квітня 2014 р.	заочна
10	X Міжнародна науково-практична конференція	Проблеми подготовки профессиональных кадров по логистике в условиях глобальной конкурентной среды	м. Київ, 25-26 жовтня 2013 р.	заочна
11	V Міжнародна науково-практична конференція	Проблеми розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2013	Одеса-Галац (Румунія)- Варна (Болгарія) Аспровальта (Греція), 21-29 вересня 2013 р.	заочна
12	IX Міжнародна науково-практична конференція	Маркетинг та логістика в системі менеджменту	м. Львів, 8-10 листопада 2012 р.	заочна
13	IV Міжнародна науково-практична конференція	Сучасні порти – проблеми та рішення	Одеса-Польща-Німеччина, 26 квітня-3 травня 2012 р.	заочна
14	III Міжнародна науково-практична конференція	Проблеми розвитку транспортної логістики Інтер-Транслог'2011	Одеса-Несебр (Болгарія), 25-30 вересня 2011 р.	заочна