

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАНЬ ТА УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ

Загурський О.М., д.е.н., професор (НУБіП України)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5407-8466>



У статті досліджено функціональні і організаційні особливості багатоканальних ланцюгів постачань, розглянуто проблему підвищення ефективності функціонування багатоканальних ланцюгів постачань шляхом побудови економіко-математичної моделі мінімізації логістичних витрат з урахуванням надійності мережевої структури постачань. Запропонована модель враховує мультиканальність ланцюгів постачань, імовірності відмов окремих ланок системи постачання, що дозволяє підвищити загальну надійність мережі без суттєвого зростання витрат. Результати дослідження можуть бути використані для прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності та зниження логістичних витрат.

Ключові слова: багатоканальні мережі, канали постачань, ланцюг постачань, логістичні витрати, надійність, оптимізаційні моделі.

PECULIARITIES OF THE FUNCTIONING OF MULTI-CHANNEL SUPPLY CHAINS AND THE CONDITIONS FOR ENSURING THEIR RELIABILITY

Zagurskiy O., D.Sc.(Economics), Professor, (NULES Ukraine)

The article explores the functional and organizational features of multi-channel supply chains and presents a comparative analysis of multi-channel and single-channel supply networks. The analysis reveals that multi-channel supply chains exhibit greater market stability, higher innovation levels, technological complexity, and an integrated role of logistics within the business model. The paper addresses the challenge of enhancing the efficiency of multi-channel supply chains by developing an economic-mathematical model for minimizing logistics costs, considering the reliability of the supply network structure. The relevance of the research is driven by the increasing complexity of modern logistics systems, high risks of supply disruptions, and the need for flexible management of goods flows in an unstable environment.

The research formalizes the problem as a linear programming task with additional constraints on the operation of backup channels in case of failures. An analytical relationship between logistics costs and network reliability indicators is presented, allowing the identification of critical nodes and risk zones. An economic-mathematical model is proposed, accounting for the multi-channel nature of the supply chain, failure probabilities of individual system links, and alternative supply routes. This model helps improve the overall reliability of the network without significantly increasing costs. Computational experiments were conducted for various failure probability scenarios and flow intensities, confirming the effectiveness of the model in identifying optimal flow distribution strategies and channel

reservation. The results of the research can be used to make informed managerial decisions under uncertainty, reduce logistics costs, and enhance the resilience of supply networks.

Keywords: multi-channel networks, supply channels, supply chain, logistics costs, reliability, optimization models.

Постановка проблеми. Становлення багатоканальної моделі постачань формує принципово нову роль логістики, яка не тільки забезпечує можливість диференціації продуктово-сервісної пропозиції, але і створює додатковий бар'єр входу на ринок, підвищуючи монетизацію рітейлу в цифрових каналах збуту. Багатоканальні мережеві ланцюги постачань функціонально і організаційно більш досконалі, максимально відповідають вимогам сучасного ринку та дозволяють сформувати адекватну товарну пропозицію в мережі релевантних каналів постачань та збуту. Проте чим складнішою стає структура ланцюга постачань, чим вищим стає ступінь його внутрішньої пов'язаності та взаємозалежності, тим більше він схильний до впливу некерованих подій і відповідно відмов або збоїв, що закономірно підіймає проблему надійності (безвідмовності) таких ланцюгів постачань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростання кількості публікацій присвячених проектуванню багатоканальних ланцюгів постачань та їх надійності є свідченням виняткової актуальності цієї проблеми. Зокрема проблеми проектування стійкої багатоканальної мережі постачань

досліджують А. Вафаї, С. Ягубі, Дж. Таджік [1]; Т. Ніранджан, П. Партібан, П. Гоель [2]. Різні аспекти щодо управління надійністю ланцюгів постачань розглядають Х. Го, В. Шэньюй, З. Юй [3], Л.Ф. Лопес-Кастро, Э.Л. Солано-Чарріс [4], М. Неррі, Е. Каньо, К. Коліккіа, Д. Саркіса [5], Д. С. Ра [6], Д. Кумар, Г. Соні, Ю. Казанчоглу, А. Ратор [7], О. Загурський, Л. Савченко, І. Махмудов та В. Мацюк [8]. Наявність різноманіття суджень і підходів щодо рівня надійності багатоканальних ланцюгів постачання та відсутність комплексної моделі його оцінки зумовлює актуальність нашого дослідження.

Метою статті є дослідження функціональних і організаційних особливостей багатоканальних ланцюгів постачань та розробка економіко-математичних моделей забезпечення їх надійності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Поєднання логістики та сервісу в онлайн-рітейлі стає основним каталізатором розвитку сучасного товарного ринку в якому відбувається зміна транспортно-логістичної та складської інфраструктури, яка тепер має структурно перебудуватися й обслуговувати багатоканальну логістику товаропостачання.

Таблиця 1

Порівняльні особливості моноканальних та багатоканальних ланцюгів постачань у системі товаропостачання споживчого ринку

Параметр порівняння	Моноканальні ланцюги	Багатоканальні ланцюги
1	2	3
Ринкова стійкість	Низька. Маржа нерівномірно розподілена. Під час криз додана вартість скорочується, частина ланок виходить із складу ланцюга, викликаючи його руйнування	Висока. Ланцюг постачань короткий (система прямого продажу). Додана вартість оптимальна. Під час кризи ланцюги зростають ще швидше за рахунок цінових переваг та оптимального рівня витрат

Продовження табл 1

1	2	3
Логістика як частина бізнес-моделі продажів	Логістика виконує допоміжну функцію та не є частиною бізнес-моделі. Зростання доданої вартості відбувається в численних ланках ланцюга.	Логістика – релевантна частина бізнес-моделі збуту. Вона забезпечує скорочення витрат, що є необхідною умовою існування онлайн-ритейла.
Критерій ефективності функціонування	Мінімум витрат	Максимум економічного ефекту, ціннісної пропозиції
Рівень цін	Високий.	Низький. Забезпечують нижчий рівень цін на виході із ланцюга.
Рівень доданої вартості	Високий	Низький
Інновації та технології, їх роль	Низький рівень інновацій	Високий рівень інновацій
Інституціональна структура торгово-логістичних ланок	Домінування торгових мереж. Магістральна логістика та товаропостачання торгових точок.	Інституціональна структура торгово-логістичних ланок різноманітна: від інтернет-магазинів до маркетплейсів. Багатоланкова логістика: перша миля, фулфілмент, обробка замовлень; широкосмугова остання миля.
Організаційно-технологічна складність ланцюга постачань	Низька	Висока. Ланцюг складніший, різноманітна логістика останньої милі. Операційно-технологічна стикування платформ магістральної логістики – фулфілмента – останньої милі.
Роль та значення логістики.	Середня	Висока. Логістика як драйвер та релевантна частина продуктово-сервісної пропозиції
Взаємодія логістики та маркетингу в ланцюгу	Значення маркетингу зростає	Збереження паритету логістики та маркетингу у системі омніканальних ланцюгів постачань Розширення функціоналу маркетингу у механізмах формування купівельної лояльності
Модель купівельної поведінки	Високий рівень купівельної лояльності в оф-лайн.	Низький рівень лояльності ритейлеру. Покупець використовує від 3 до 7 каналів для пошуку та придбання товару
Паритет ринкової влади у ланцюгах постачань.	Низький	Високий. Торгівля стає домінуючою в ланцюзі постачання
Економічні особливості ринкового циклу розвитку	Зростання ринку та кінцевого попиту, збільшення доданої вартості в ланцюгу та асиметричне зміщення центру її накопичення у торгівлю. Зростання валютних та ринкових ризиків у роздрібній торгівлі, їх трансляція в кінцеву ціну товару.	Більш жорстка конкуренція, ціновий тиск. Криза, скорочення попиту, необхідність формування висококонкурентної пропозиції та прогресивного клієнтського досвіду.

Джерело: [9,10]

Результати порівняння показують, що багатоканальні ланцюги є функціонально і організаційно більш досконалим видом ланцюгів постачань, які максимально відповідають вимогам сучасного ринку та дозволяють сформувати адекватну товарну пропозицію в мережі релевантних каналів збуту. З погляду логістики, маркетингу, конфігурації ланцюга, рівня операційного управління товарними та інформаційними потоками, наскрізного управління

ланцюгом поставок та запасами в каналах збуту, взаємодії з товаровиробниками, багатоканальний збут, по суті, є новим еволюційним шаблоном у розвитку системи товаропостачання споживчого ринку. Структура системи багатоканального ланцюга постачання визначається складом його ланок – підприємств, підприємств, організацій та їх підрозділів; – рівнем їх знаходження у системі – та зв'язками між ними. Для зручності опису відобразимо його у вигляді графа (рис. 1).

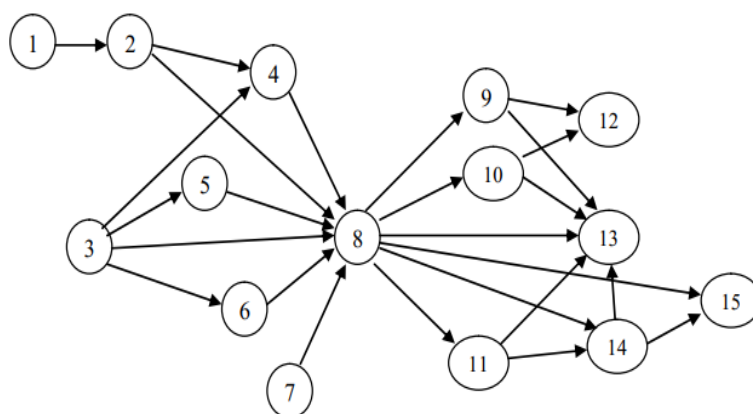


Рис. 1 Мережева модель ланцюга постачань

У наведеному на рис. 1 ланцюгу постачань фокусна компанія (ланка 8) отримує матеріальні ресурси від трьох постачальників (ланки 1, 3, 7). Причому постачальник №1 працює через посередників, постачальник №3 працює через посередників та безпосередньо, постачальник №7 здійснює прямі постачання. Підприємство №8 здійснює збут товарів з використанням як прямого каналу, так і непрямих каналів. Збутовими посередниками виступають ланки 9, 10, 11, 14. Споживачі позначені номерами 12, 13, 15.

На відміну від класичної моделі, управлінню даної моделі властиві деякі особливості, а саме:

- основними елементами ланцюга постачань є ланки та матеріальні потоки;
- цілі мереж різняться;
- у мережевій моделі ланцюгів постачань виділяються центральна ланка та підмережі;

– динамічна модель управління розробляється для окремого проєкту, а мережева модель ланцюгів постачання відносно стабільна;

– відсутнє поняття «критичний шлях»;

– постачання однієї підмережі відносно незалежне від постачання іншої підмережі.

За таких умов основне завдання фокусної компанії полягає в пошуку таких рішень, за яких центральна ланка або досягає цілей за мінімальних логістичних витрат, або максимізує прибуток від запланованого обсягу товарів з урахуванням ринкових потреб.

Формуючи математичну модель задачі мінімізації зовнішніх логістичних витрат для багатопродуктових ланцюгів постачань введемо деякі умовності, а саме:

– окремо розглянемо планові показники закупівель, продажів, витрат

для лівої та правої підмережі ланцюга постачань;

– величину виробничої програми прирівняємо до плану продажу товарів;

– припустимо, що матеріальні ресурси закупаються, а реалізовані товари продаються за однаковими цінами.

Тоді планова потреба підприємства у закупівлі основних матеріалів:

$$M_i = \sum_{l=1}^m R_{li} Q_i, \quad (1)$$

де: R_{li} – норма витрати l -го матеріалу на i -ю деталь;

m – кількість позицій деталей;

Q_i – кількість деталей, складальних одиниць, необхідних для виконання виробничої програми.

Планова кількість деталей, складальних одиниць, комплектуючих виробів визначається на основі плану виробництва (продажів) з урахуванням застосування деталей та вузлів у výroбах дорівнює.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n P_j k_{ij}, \quad (2)$$

де: P_j – план виробництва (продажів) j -го виробу;

k_{ij} – застосовність i -ї деталі у j -му виробі;

n – кількість номенклатурних позицій товарів.

Логістичні витрати, пов'язані із закупівлями матеріальних ресурсів (витрати лівої підмережі ланцюга постачань) складають:

$$Z_1 = \sum_{p=1}^u \sum_{l=1}^t Z_{lp}, \quad (3)$$

де: Z_{lp} – витрати доставки l -го матеріалу від p -го постачальника;

u – кількість постачальників;

t – номенклатура матеріалів.

План продажу визначається на основі маркетингових досліджень цільових ринкових сегментів за формулою.

$$P_j = \sum_{k=1}^s P_{jk}, \quad (4)$$

де: P_{jk} – план продажу j -го виробу k -му сегменту;

s – кількість сегментів.

Логістичні витрати, пов'язані з реалізацією товарів (витрати у правій підмережі) обчислюються згідно виразу:

$$Z_2 = \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n Z_{jk}, \quad (5)$$

де: Z_{jk} – витрати на постачання j -го товару до k -го сегменту.

Тоді цільова функція – мінімізація загальних логістичних витрат фокусної компанії, пов'язаних із закупівлями та збутом буде наступною:

$$Z = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

Рішенням цього завдання є вибір постачальників матеріальних ресурсів та обсягів цих постачань, а також вибір ланок збутової мережі й розподіл товарів між ними. А показниками ефективності:

– щільність мережі – визначається як кількість активних каналів, що не пошкоджені, поділена на загальну кількість потенційних каналів у ланцюзі постачань;

– розмір найбільшого зв'язуючого компонента – під час збою ланцюг постачань може розділитися на кілька ізольованих підмереж. Розмір найбільшого підключеного компонента служить критерієм кількісної оцінки ступеня фрагментації всередині мережі. Більший розмір зв'язуючого компонента свідчить про кращу функціональність та менший вплив збоїв на загальний ланцюг постачань;

– максимальний ступінь централізованості – показник продуктивності, що відображає ефективність ланцюга постачань під час збоїв. У процесі руйнування. Максимальний ступінь централізованості зменшується, оскільки зв'язок між об'єктами поступово зникає. Згодом під час відновлення він збільшується та досягає вихідного та стандартного рівня.

Проте слід зазначити, що багатоканальні (мережеві) ланцюги постачань «априорі» схильні до більшої кількості відмов і відповідно нижчої надійності.

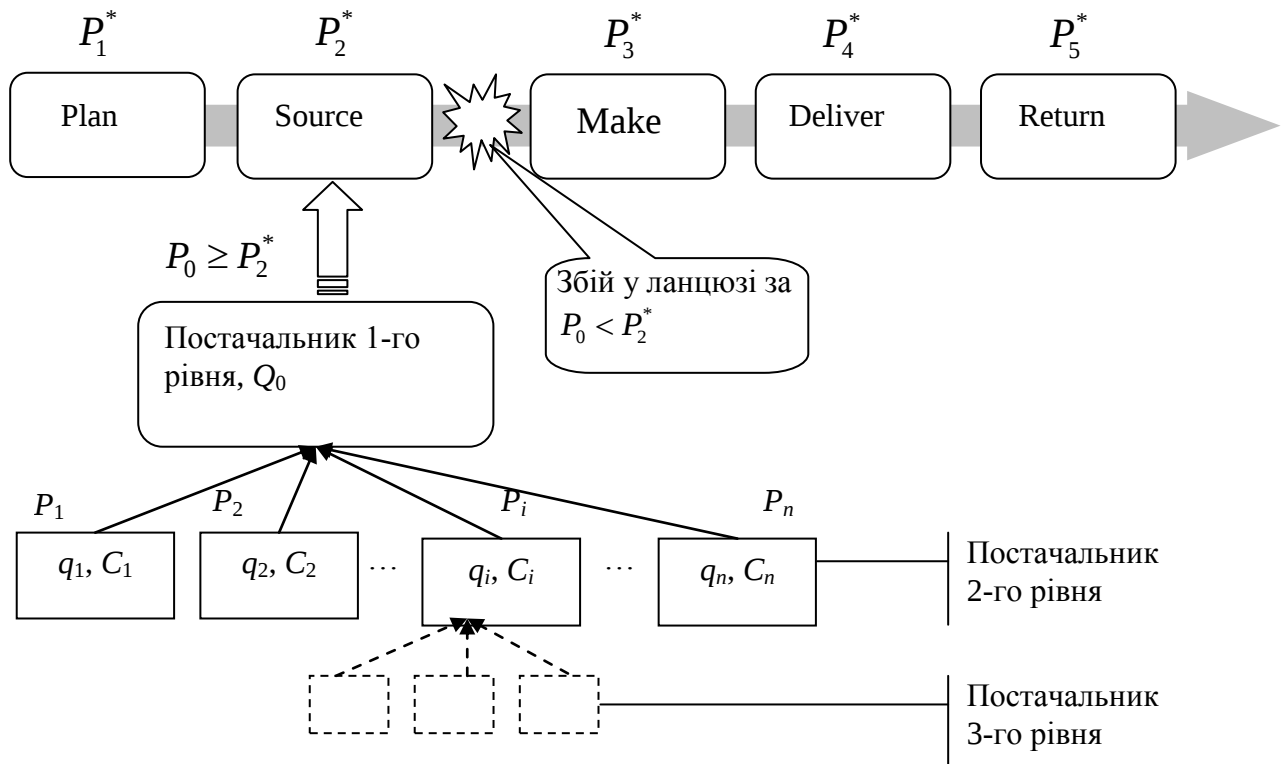
Розглянемо схему організації постачань багатоканального ланцюга

постачань на прикладі забезпечення процесу «Source» в класичній SCOR-моделі яку графічно відображено на рис. 2. Для якої у результаті вирішення завдання нормування постачань визначено вимогу до безвідмовності:

$$P_0(t_0) = \phi(P_1, P_2, \dots, P_n) \geq P_2^* \quad (7)$$

де: $\phi(P_1, P_2, \dots, P_n)$ – функція, що визначається схемою функціональної надійності (схемою резервування);

P_2^* – вимога кінцевого споживача до надійності постачань, яка обумовлюється відповідальним постачальником або оператором постачання (постачальником 1-го рівня).



Q_0 – необхідний обсяг постачання за плановий час t_0 ;

P_i, q_i, C_i – ймовірність безвідмовної роботи, потужність та собівартість постачань по i -му каналу відповідно

Рис. 2 Функціональна схема мережі постачань

У такій мережі за неможливості виконання контрактних умов самостійно постачальник 1-го рівня (див. рис. 2) на принципах аутсорсингу формує мережу постачальників 2-го рівня, які, своєю чергою, можуть формувати на тих самих принципах мережі 3-го, 4-го і далі рівнів. Під відмовами в мережі постачань розуміються незалежні події, які полягають у порушенні контрактних умов за одним або декількома функціональними параметрами. Наприклад, таким як час, послідовність, комплектність або обсяг постачання.

Стабільність, захищеність та стійкість стану ланцюга постачань у такому випадку залежать від злагодженої (ідеальної) роботи усіх елементів, що входять до його складу. Модель «ідеального порядку» надійності ланцюгів постачань зазвичай включає три критерії відмови: несвоєчасне виконання замовлення; кількість замовлень, виконаних не в повному обсязі; кількість неналежно оформлених документів [11]. Тому в такі моделі вводять резервні елементи «паралельно» елементам, надійність яких сумнівна. Проте,

враховуючи складність та стохастичність процесів і різноманіття цілей оптимізації за побудови моделі надійності для вирішення конкретних проблем планування можна дослідити лише частину загального ланцюга постачань і пов'язаних із нею витрат. А зважаючи на те, що кількість завдань оптимізації логістичних процесів в ланцюгах постачань з погляду підвищення його надійності надзвичайно велика і їх склад різноманітний, з метою економії ресурсів будь-який економічний суб'єкт має правильно вибудувати систему обмежень на ресурси, що використовуються та ключові фактори впливу на надійність на будь-якому рівні ланцюга постачань. Наприклад у М. Горбані та Р. Рамезанян [12] завдання про планування постачань з врахуванням функціональної надійності перевізників складається з наступних кроків:

1. Побудова функціональної схеми роботи ланцюга постачань із зазначенням усіх перевізників 2-го рівня та їх характеристик.

2. Визначення поняття відмови та встановлення значення критерію за

функціональними можливостями перевізників виходячи з вимог замовника.

3. Складання послідовно-паралельної схеми та моделі розрахунку структурної надійності виходячи з вимог до безвідмовності постачання та функціональних можливостей перевізників.

4. Визначення оптимального плану постачань, що забезпечує мінімум витрат за дотримання вимог до безвідмовності.

Натомість К. Лу, Ф. Мен, М. Го [13] наводять аутсорсингову модель планування, де для замовника завдання формування мережі постачань переходить у завдання вибору каналів з найменшими витратами за умови дотримання вимог до параметрів та безвідмовності. При цьому зазначається, що аутсорсинг третій стороні може працювати ефективно лише у разі, коли зовнішній координатор може забезпечити низьку вартість передачі знань в ланцюгу постачань. За таких умов безвідмовність можна визначити за формулою найпростішої паралельно-послідовної схеми:

$$1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n P_j) \geq P_0; \text{ if } X_{ij} \geq 0 \quad (8)$$

де: n – кількість каналів (постачальників);
 m – кількість ланцюгів постачань.

Тут надійність системи забезпечується резервними елементами, що включені до неї «паралельно» тим

елементам, надійність яких недостатня. Такі моделі, зазвичай, доповнюються умовами обмежень витрат для роботи системи. Відповідно математична модель такого завдання має наступний вигляд:

$$S(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \times Z_j \times C_j; \quad (9)$$

за обмежень:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \times Z_j = Q_0; \text{ вимог до об'ємів постачань}$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \times Z_j \leq q_j; \quad j = 1, n \text{ вимог до потужності каналів постачань}$$

$$1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n P_j) \geq P_0; \text{ if } X_{ij} \geq 0 \text{ вимог до безвідмовності постачань}$$

$$Z_j \geq d; \quad j = 1, n \text{ вимог до мінімального об'єму замовлення}$$

де: Z_j – оптимальний план j -го каналу постачань;

C_j – собівартість j -го каналу постачань;

Q_j – об'єм j -го каналу постачань;

q_j – можливий обсяг (потужність) постачань по j -го каналу.

У цій моделі цільова функція визначає найбільш вигідний ланцюг за мінімумом витрат в якому з n каналів формується мережа m ланцюгів постачань із послідовно-паралельною схемою структурної надійності.

$$S(X_0) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (1 - \prod_{j=1}^n P_{ij}) X_{ij} \times Z_j \times C_j \rightarrow \min; \quad (10)$$

За аналогічних обмежень, що і у попередній формулі.

Такий підхід дозволяє вирішити задачу не тільки забезпечення необхідної безвідмовності постачань з мінімальними витратами, а й вибрати ланцюг із каналів з найбільшою надійністю. А зважаючи на те, що мережа постачань може складатися з каналів з різними характеристиками, мережева модель структурної надійності, зазвичай, включатиме канали, що складаються з окремих постачальників і ланцюгів постачань або навіть цілі

Оптимальний план постачання знаходиться в результаті вирішення задачі математичного програмування, де в план оптимізації включена надійність каналу мережі, тоді цільова функція системи може бути записана в наступному вигляді:

підмережі з відносно складною (фрактальною) структурою.

З рис. 3 видно, що для забезпечення заданої ймовірності безвідмовної роботи ланцюга постачань P_0 необхідно створити мережу з n каналів шляхом аналізу постачальників на ринку та оцінки їх потенційних функціональних можливостей. Ці постачальники для забезпечення власної ймовірності безвідмовної роботи $p_1, p_2, \dots, p_n$, у свою чергу, на основі тих же принципів можуть будувати мережі рівня 3, 4 і більших рівнів.

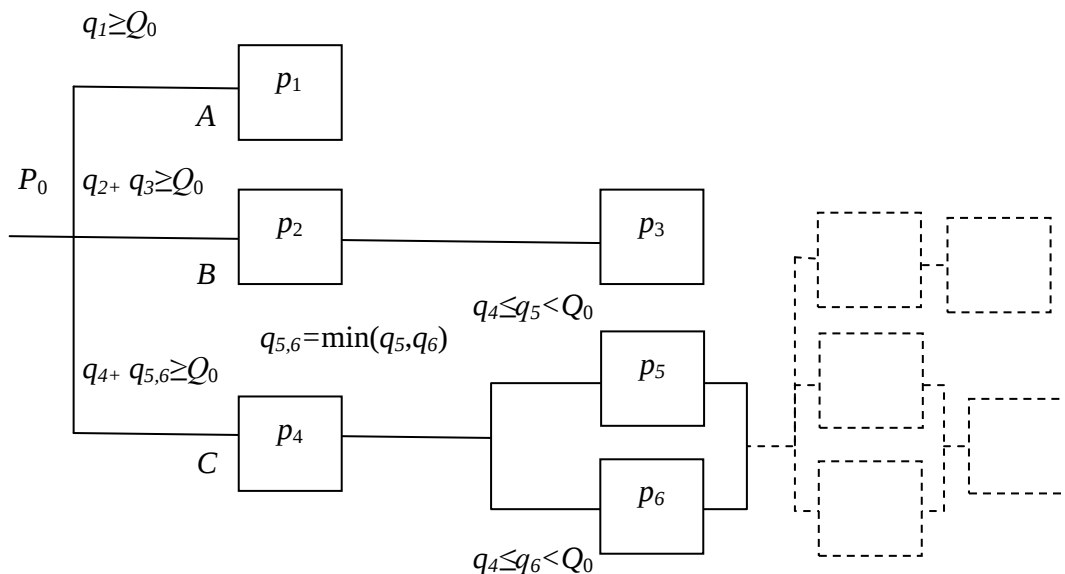


Рис. 3 Багаторівнева модель структурної надійності мережі постачань

Відповідно для замовника функціональних параметрів (таких як проблема побудови мережі постачань безвідмовна продуктивність, визначена за перетворюється на проблему вибору допомогою формули для послідовно-найбільш економічно надійного каналу, паралельної структури ланцюга який відповідає вимогам щодо постачань):

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n p_j)_i, m \leq n, \text{ if } x_{ij} \text{ not } 0, \quad (11)$$

де: n – кількість постачальників,
 m – кількість ланцюгів постачання (каналів),

x_{ij} – бінарна змінна (змінна вибору), що приймає значення 1, якщо потужність j -постачальника включеного в i -й канал

постачання дозволяє задовольнити попит $\sum_{j=1}^n q_j x_{ij} \geq Q_0$, 0 якщо не дозволяє $\sum_{j=1}^n q_j x_{ij} \leq Q_0$. Бінарна змінна служить для формування m ланцюгів з n каналів.

Розглядаючи модель надійності складної мережі, у даному випадку

послідовно-паралельної структурної мережі постачання (рис 4), можемо зазначити, що в такому випадку за $n = m$ модель структурної надійності мережі постачань складається з n паралельно з'єднаних каналів потужністю $q_j \geq Q_0$.

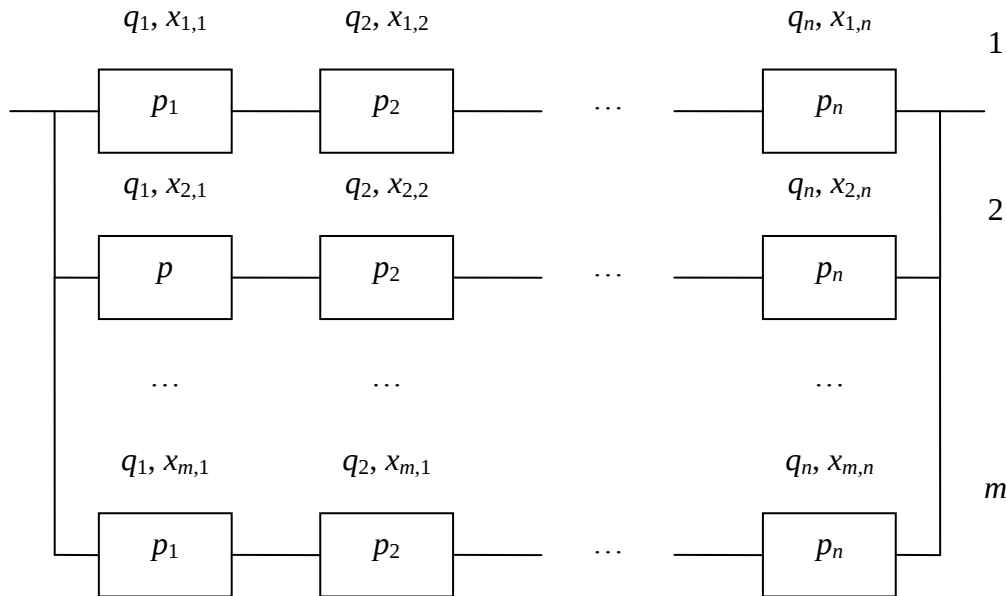


Рис. 4 Послідовно-паралельна модель структурної надійності мережі постачання

Що дає змогу використовувати логіко-імовірнісний метод аналізу для формування багаторівневих складно-структурованих моделей мережі постачання. Для цього введемо змінні, що представляють величину постачань товару

від j -ого постачальника, включеного в i -й канал постачань. Тоді оптимальний план постачань визначається в результаті вирішення задачі математичного програмування з цільовою функцією:

$$S_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_j z_{i,j} x_{i,j} + \sum_{j=1}^n R_j x_{i,j} \rightarrow \min, \quad (12)$$

за обмежень:

$$1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n p_j)_i \geq P_0 \text{ if } x_{i,j} \text{ not } \varnothing 0;$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{i,j} x_{i,j} = Q_0;$$

$$\sum_{i=1}^m z_{i,j} x_{i,j} \leq q_j, \varnothing j = 1, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^m z_{i,j} \geq d, j = 1, \dots, n;$$

$$\sum_{j=1}^n q_j x_{i,j} \geq Q_0 \text{ if } x_{i,j} \text{ not } \varnothing 0 \varnothing, i = 1, \dots, m;$$

$$z_{i,j} \geq 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n;$$

$$z_{i,j} \in R, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n;$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n.$$

Цільова функція (12) є сумою змінних і постійних витрат у даній системі управління постачаннями. У системі обмежень, перше обмеження – вимога до безвідмовності ланцюга постачань, що складається з послідовно-паралельних елементів. Умова $if x_{i,j} not 0$ означає: якщо $x_{i,j}$ не 0, то у добутку використовується значення p_j . Інакше p_j не включається у добуток, тобто перемножуються лише ймовірності каналів, що входять у ланцюг. Друге обмеження – вимога до обсягу постачання: стандартне обмеження на загальний обсяг постачання Q_0 за усіма каналами мережі. Третє обмеження – умова включення постачальника в один канал (один ланцюг) означає, що постачальник може входити лише в один канал або не входити в жоден з них (зайвий канал). Четверте обмеження – обмеження на пропозицію постачальників q_j . П'яте обмеження – обмеження мінімального замовлення d , яке враховує витрати, пов'язані з укладанням договору постачання, тобто є економічною умовою договору. Шосте обмеження – умова формування каналу постачання: кожен канал має забезпечувати поставку обсягом щонайменше Q_0 , причому підсумовуються лише обсяги по постачальникам, які входять у канал, тобто, якщо $x_{i,j}$ не 0. Нарешті, останні сьоме і восьме обмеження вказують, що змінні $Z_{i,j}$ є невід'ємними дійсними числами, а $x_{i,j}$ є булевими змінними.

Така модель забезпечує гнучкість ланцюга постачань із заданою безвідмовністю за рахунок можливості регулювання обсягів постачань каналами. Разом з тим при вирішенні такого завдання виникає низка проблем. По-перше, це складність розрахунку ймовірності безвідмовної роботи мережі постачання P_0 , що вимагає застосування логіко-ймовірнісного методу, тобто описи всіх працездатних та непрацездатних

станів мережі постачання за допомогою функцій алгебри логіки (ФАЛ), а по-друге, складність полягає у великій кількості можливих функціональних станів системи, особливо у багаторівневих мережах постачання.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведене дослідження функціональних і організаційних особливостей багатоканальних ланцюгів постачань, та порівняльний аналіз багатоканальних і моноканальних мереж постачань показали, що перші мають вищу ринкову стійкість, більший рівень інноваційності, технологічну складність та інтегровану роль логістики у бізнес-моделі.

Застосування багаторівневих ланцюгів постачань дозволяє забезпечити високу надійність через резервування каналів, що включають елементи з недостатньою надійністю. Це дає змогу покращити функціональність ланцюгів постачань, знижуючи ймовірність відмови на кожному рівні.

Запропонована економіко-математична модель мінімізації логістичних витрат у таких мережах дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо вибору постачальників, збутових каналів та обсягів матеріальних і товарних потоків, орієнтуючись на мінімізацію витрат за умови забезпечення ринкових потреб.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vafaei A., Yaghoubi S., Tajik J., Barzinpour F. Designing a sustainable multi-channel supply chain distribution network: A case study. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 251. 2020. 119628.
2. Niranjana T., Parthiban P., Goel P., Designing an integrated multichannel multiproduct closed loop sustainable supply chain network meeting customer requirements. *International Journal of Enterprise Network Management*, Inderscience Enterprises Ltd. 2021. Vol. 12(2). P. 113-130.

3. Guo H., Wang S., Zhang Y. Supply Interruption Supply Chain Network Model with Uncertain Demand: An Application of Chance-Constrained Programming with Fuzzy Parameters Discrete Dynamics in Nature and Society. 2021. № 2. P. 1-8.
4. López-Castro L.F., Solano-Charris E.L. Integrating Resilience and Sustainability Criteria in the Supply Chain Network Design. *A Systematic Literature Review. Sustainability*. 2021. № 13. 10925.
5. Negri M., Cagno E., Colicchia C., Sarkis J. Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda *Business Strategy and the Environment*. 2021. Vol. 30. Issue7. P. 2858-2886.
6. Rha J. S. Trends of Research on Supply Chain Resilience: A Systematic Review Using Network Analysis, *Sustainability*. MDPI. 2020. Vol. 12(11). P. 1-27.
7. Kumar D., Soni G., Kazancoglu Y., Rathore A. On the nature of supply chain reliability: models, solution approaches and agenda for future research. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2024. Vol. 41. No 9. P. 2400-2420.
8. Zagurskiy O., Savchenko L., Makhmudov I., Matsiuk V. Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. *Proceedings of 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development* 25-27.05.2022 Jelgava, LATVIA. P. 543-550.
9. Timoumi A., Gangwar M., Mantrala M.K. Cross-channel effects of omnichannel retail marketing strategies: A review of extant data-driven research, *Journal of Retailing*. 2022. Vol. 98. Issue 1. P. 133-151.
10. Shi S., Wang Y., Chen X., Zhang Q. Conceptualization of omnichannel customer experience and its impact on shopping intention: A mixed-method approach. *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 50. P. 325-336.
11. Zagurskiy, O., Duczmal, W., Savchenko, L., et al. Models of Formation of Reliability of Supply Chains for the Supply of Agricultural Products. *Research on World Agricultural Economy*. 2024. № 5(3). P. 14-23.
12. Ghorbani M., Ramezani R., Integration of carrier selection and supplier selection problem in humanitarian logistics. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 144. P. 106473
13. Lu Q., Meng F., Goh M. Choice of supply chain governance: Self-managing or outsourcing? *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 154. P. 32-38.

REFERENCES

1. Vafaei A., Yaghoubi S., Tajik J., Barzinpour F. (2020) Designing a sustainable multi-channel supply chain distribution network: A case study. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 251. P. 19628.
2. Niranjana T., Parthiban P., Goel P., (2021) Designing an integrated multichannel multiproduct closed loop sustainable supply chain network meeting customer requirements. *International Journal of Enterprise Network Management*, Inderscience Enterprises Ltd. Vol. 12(2). P. 113-130.
3. Guo H., Wang S., Zhang Y. (2021). Supply Interruption Supply Chain Network Model with Uncertain Demand: An Application of Chance-Constrained Programming with Fuzzy Parameters. *Discrete Dynamics in Nature and Society* № 2. P. 1-8.
4. López-Castro L.F., Solano-Charris E.L. (2021). Integrating Resilience and Sustainability Criteria in the Supply Chain Network Design. *A Systematic Literature Review. Sustainability*. № 13. P. 10925.
5. Negri M., Cagno E., Colicchia C., Sarkis J. (2021). Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda *Business Strategy and the Environment*. Vol. 30, Issue7. P. 2858-2886.
6. Rha J. S. (2020) Trends of Research on Supply Chain Resilience: A Systematic Review Using Network Analysis, *Sustainability*, MDPI. Vol. 12(11). P. 1-27.

7. Kumar D., Soni G., Kazancoglu Y., Rathore A.P.S. (2024), On the nature of supply chain reliability: models, solution approaches and agenda for future research, *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 41. No 9. P. 2400-2420.
8. Zagurskiy O., Savchenko L., Makhmudov I., Matsiuk V. (2022) Assessment of socio-ecological efficiency of transport and logistics activity. Proceedings of 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development 25-27.05.2022 Jelgava, LATVIA. P. 543-550.
9. Timoumi A., Gangwar M., Mantrala M.K. (2020) Cross-channel effects of omnichannel retail marketing strategies: A review of extant data-driven research, *Journal of Retailing*. Vol. 98. Issue 1. P. 133-151.
10. Shi S., Wang Y., Chen X., Zhang Q. (2020) Conceptualization of omnichannel customer experience and its impact on shopping intention: A mixed-method approach, *International Journal of Information Management*. Vol. 50. P. 325-336.
11. Zagurskiy, O., Duczmal, W., Savchenko, L., et al., (2024) Models of Formation of Reliability of Supply Chains for the Supply of Agricultural Products. *Research on World Agricultural Economy*. № 5(3). P. 14-23.
12. Ghorbani M., Ramezani R. (2020) Integration of carrier selection and supplier selection problem in humanitarian logistics, *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 144. P. 106473.
13. Lu Q., Meng F., Goh M. (2014) Choice of supply chain governance: Self-managing or outsourcing?, *International Journal of Production Economics*. Vol. 154. P. 32-38.