

УДК 658.7.01:519.86

Григорій ГЛАДІЙ

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАННЯ У СТРАТЕГІЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

Резюме. Представлено методологію системної динаміки як інструмент моделювання й аналізу, щоб вирішити стратегічні проблеми планування потужностей у харчовій галузі.

Ключові слова: ланцюг постачання, системна динаміка, моделювання, потужності.

Hryhoriy HLADIY

FORMING OF SUPPLY CHAIN MODELS IN STRATEGIC MANAGEMENT

Summary. Current trends in the practice of supply chain management are formed under the impact of many factors that motivate professionals to pay more attention to the development of appropriate tools of decision-making support in supply chain management, i.e. the coordination and regulation of its elements. Effect of different factors on the promotion effectiveness in the chain results in certain problems of contractors interactions. There is a change of building relationships between contractors resulting in displaced traditional management techniques. In modeling the supply chain functioning at any level of management processes as dynamic systems with feedback, the system dynamics is a useful tool which is based on the assumption that behavior is mainly determined by its info-logical structure. The design of system-dynamic model takes place in two phases: 1) a formalization of the research object and the construction of a causal diagram; 2) a transformation of formalized model in the mathematical analogue system of equations. A methodological approach based on system dynamics modeling and analysis of multi-echelon supply chains is presented in the paper. This methodology makes it possible to develop models of the supply chain by combining single-echelon models in accordance with a modular approach. The model can be used to identify effective strategies and optimal parameters for various problems of strategic decision-making. The methodology was tested for the transportation capacity planning of food supply chain. In addition, the model can be used to analyze different scenarios of supply chains functioning using the overall profitability of the supply chain as a performance criterion. The model may also be useful for top-managers who are responsible for decision-making in the context of strategic supply chain management issues.

Key words: supply chain, system dynamics, simulation, capacity.

Постановка проблеми. Управління ланцюгом постачання (УЛП) упродовж останнього десятиліття є об'єктом підвищеної уваги з боку як учених, так і практиків. Проте, незважаючи на істотний прогрес у стратегічному менеджменті та інформаційних технологіях, цей важливий напрямок нездатний поки що вирішити низку практичних проблем логістики. Однією з ключових причин цієї невідповідності є взаємозалежність між різними операціями й автономними партнерами у ланцюгу, що робить усі традиційні моделі непрацездатними [1, 2]. Особам, що ухвалюють стратегічні рішення, потрібні адекватніші та гнучкіші моделі, які слугуватимуть орієнтиром у процесі ухвалення рішень, щоб у кінцевому рахунку збільшити загальну прибутковість ланцюга.

Критичний недолік більшості з існуючих стратегічних моделей нездатність враховувати вплив різноманітних регуляторів в умовах сучасного мінливого довкілля. Це особливо важливо для ланцюгів постачання у мережі фаст-фудів із-за їхніх унікальних характеристик, пов'язаних зі зберіганням продуктів і особливостями транспортування. Наприклад, псування продуктів є фактором невпевненості для покупця відносно якості продукту, безпеки і надійності поставок. Це створює проблеми для торговців, адже продукція, яка швидко псується, має бути доставлена негайно на ринок, щоб уникнути псування, оскільки торговці не в змозі довго зберігати продукцію, доки настануть сприятливі ринкові умови. Це призводить до потреби частіших поставок, а також спеціальних режимів перевезення (наприклад, використання рефрижераторів). Окрім того, харчова продукція зазвичай демонструє сезонність як для сировини, так і кінцевої продукції, а тому потрібні відповідні ефективні складські споруди для гарантії їхньої якості. Проблеми харчової безпеки також суттєво впливають на проектування ланцюга постачання. Усі ці особливості разом в умовах мінливого соціально-економічного середовища перешкоджають ефективному управлінню ланцюгами постачання у харчовій галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дж. Форрестер [3] на початку 1960-х рр. представив СД як методологію моделювання для аналізу й ухвалення довготермінових рішень для проблем управління індустріальною динамікою. З того часу СД застосовується до різноманітних проблем бізнес-політики і стратегічного менеджменту [4]. Д. Товілл [5] використав системну динаміку для перепроєктування ланцюга постачання, щоб отримати додаткове знання про його поведінку СД, особливо про основні причинно-наслідкові зв'язки. У статті [6] СД використана для кращого розуміння складної логістичної поведінки інтегрованої харчової галузі. Автори отримали практичні результати моделювання стосовно продуктів птахівництва. Дж. Стерман [4] представив моделі, де застосована методологія СД для дослідження зворотних логістичних проблем. Він пояснив, що джерела коливань, розширення і фазових затримок також спостерігаються в ланцюгах постачання. У роботі [7] на основі методології СД оцінено накопичення і потоки у реверсному ланцюзі постачання та наведено конкретні механізми з фіксованою зміною потужності переробки. Інші автори [8] описали аналіз і моделювання двошарового галузевого ланцюга постачання в сфері будівництва, використавши інтегровану структуру СД. Їхню ідею ми використали для проєктування багатогошарових ланцюгів постачання.

Більшість стандартних методологій аналізу ланцюгів постачання передбачає стійкий стан системи. Це припущення дійсне в таких ланцюгах постачання, де попит на продукцію не зазнає різких коливань, тобто має низький коефіцієнт варіації. Проте існують важливі види продукції з коротким життєвим циклом і широкою варіацією попиту, для яких використання традиційних методологій може спричинити помилкові результати. Тому у дослідженні використано методологію системної динаміки (СД), перевірену в процесі стратегічного ухвалення рішень, як головний інструмент моделювання й аналізу.

Мета статті. На основі вивчення поведінки ланцюгів постачання полегшити процес ухвалення рішень для планування потужностей в багатогошарових ланцюгах постачання та запропонувати методологічну структуру для моделювання широкого спектра стратегічних проблем, пов'язаних із УЛП.

Виклад основного матеріалу. В дослідженні розроблено базовану на СД цілісну модель повного ланцюга постачання, який може бути використаний як допоміжний інструмент ухвалення рішень, переважно стратегічного характеру. Спочатку проєктуються одношарові системи запасів, які поєднують усі змінні стану (накопичення наявні та в замовленнях) і політику як управління запасами, так і планування потужностей. Використовуючи цю одношарову модель як базовий модуль, продемонструємо, як може бути сконструйована модель багатогошарового ланцюга постачання.

Стратегічне управління ланцюгом постачання пов'язане з широким спектром проблем і охоплює кілька видів проблем ухвалення рішень, які впливають на тривалий розвиток і діяльність фірми: визначення кількості, розташування й потужності складів і переробних заводів, а також матеріальних потоків через логістичну мережу; політика управління запасами; контракти постачання; стратегії дистрибуції; інтеграція ланцюгів постачання; стратегії аутсорсингу та закупівлі; дизайн продукції; система підтримки прийняття рішень та інформаційні технології.

Методологічний підхід, використаний у цій статті, може потенційно бути застосований до вирішення більшості зі згаданих стратегічних проблем УЛП. Хоча кожна з проблем має свої унікальні особливості, пропонуємо загальну схему для методології і подальшого поглибленого аналізу специфічних стратегічних проблем управління, таких як довготермінове планування потужностей; проблема динамічної ідентифікації, оптимальних рівнів пошуку постачальників, виробництва, складування, дистрибуції і транспортних потужностей.

Ланцюг постачання, що охоплює постачальників, виробників, дистриб'юторів і роздрібних продавців, з точки зору кібернетики характеризується структурою накопичень і потоків для придбання, зберігання і трансформування входів у виходи, а також правил ухвалення рішень, що керують цими потоками [3, 4]. Потоки часто створюють важливі зворотні зв'язки між партнерами розширеного ланцюга, таким чином, роблячи СД дієвим інструментом моделювання й аналізу для стратегічного управління ланцюгом постачання.

Структуру системи в методології СД демонструють діаграми причинно-наслідкових зв'язків (впливів), які охоплюють головні механізми зворотного зв'язку. Вони відіграють важливу роль у СД: по-перше, впродовж розроблення моделі вони служать попередніми ескізами причинних гіпотез; по-друге, допомагають спростити представлення моделі. На наступному етапі структуру моделі та взаємозв'язки між змінними представляють діаграми накопичень і потоків. Математична нотація діаграм накопичень і потоків здійснюється через систему диференціальних рівнянь, яка розв'язується за допомогою програм імітаційного моделювання (наприклад, iThink).

На рис. 1 представлена структура накопичень і потоків для одношелонної системи запасів у вигляді діаграми причинно-наслідкового зв'язку. Словесний опис змінних співпадає з їхніми назвами. Стрілки відображають стосунки між змінними. Напрямок ліній впливу показує напрямок ефекту («+» або «-»).

Структура внутрішнього середовища системи складається з накопичувальних змінних *канал постачання* і *запас*. *Канал постачання* відображає накопичення невиконаних замовлень, тобто прийнятих замовлень, але ще не виконаних, тоді як *запас* відображає накопичення продукції на складах. *Замовлення* збільшують величину *каналу постачання*. Темп виконання замовлень визначається *замовленнями* після часової затримки, що дорівнює *зволіканню*. *Виконання замовлень* скорочує накопичення продукції в *каналі постачання* і збільшує *запас*. *Змінна запас* вичерпується *продажами*. Цей процес триває протягом часу, що дорівнює *часові реагування на попит споживачів*.

Чітке визначення меж між досліджуваною системою та її зовнішнім середовищем – істотний момент у СД; тому модель і її аналіз можуть бути настільки можливо простішими, охопивши всі необхідні елементи для аналізу досліджуваної системи. У спрощеній моделі (рис. 1) виробники (спільний термін для продавців, постачальників або виробників) і споживачі представляють зовнішнє середовище системи (джерело і стік у термінології СД відповідно). Тому основне припущення СД полягає в тому, що виробники і клієнти не впливають на поведінку досліджуваної системи. Загалом, у різних моделях виробники і/або споживачі можуть потенційно увійти до меж системи, внаслідок чого може враховуватися вплив їхніх специфічних властивостей на накопичення й потоки.

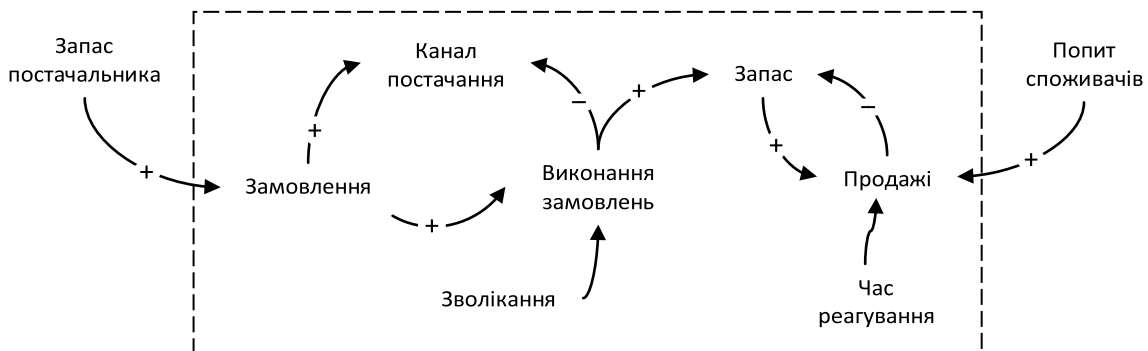


Рисунок 1. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків розімкненого циклу одношелонного ланцюга

Figure 1. Causal diagram of the open-loop single-echelon chain

Замовлення керуються за встановленими правилами, щоб регулювати накопичення у *каналі постачання* і *запасі* до бажаних величин. Цей процес вироблення рішень перетворює структуру із розімкнутим циклом (рис. 1) на структуру із замкненим циклом (рис. 2). Зокрема, *замовлення* визначається як сума *очікуваного попиту* і *корекції стану запасу*. Перший доданок – прогнозоване значення попиту, обчисленого шляхом експоненціального згладжування першого порядку минулих значень *попиту споживачів*. Другий доданок – періодичне коригування, пропорційне різниці між *бажаним станом запасу* (який є змінною рішення) і фактичним *станом запасу* (*стан запасу* виражає суму *каналу постачання* і *запасу* у часі). *Час*

корекції стану запасу показує, як швидко фірма намагається виправити розбіжність і наближає стан запасу до бажаного. Така політика для визначення замовлень є стандартною в літературі по СД [4], особливо при моделюванні системних запасів. Замовлення обмежені рівнем запасів виробників, оскільки в цій моделі вони є зовнішньою змінною.

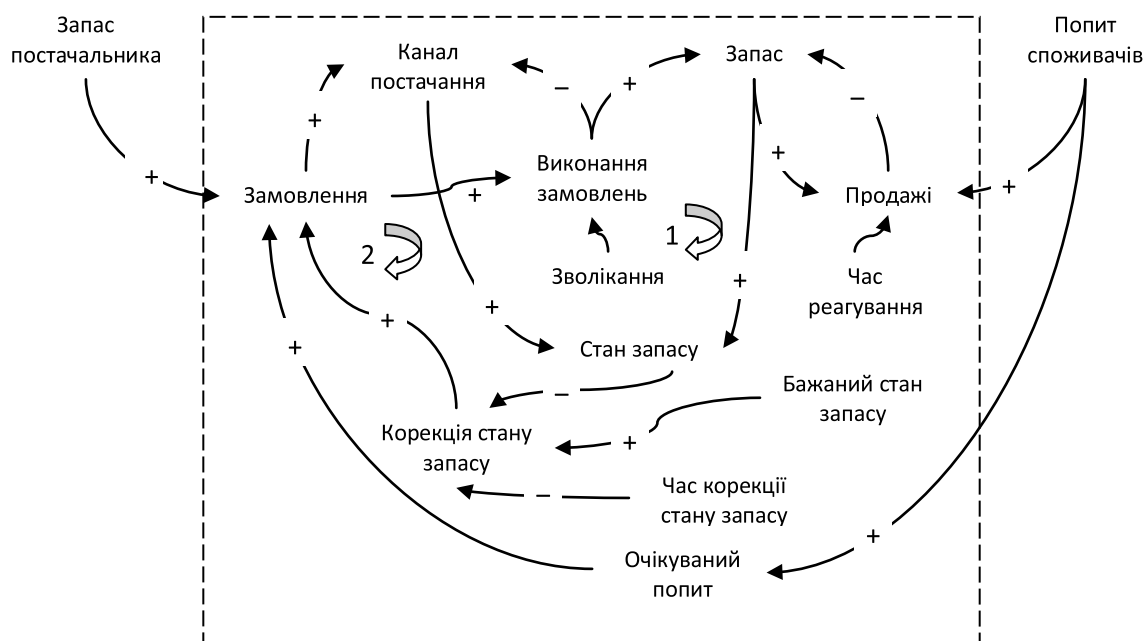


Рисунок 2. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків замкненого циклу одноешелонної системи запасів

Figure 2. Causal diagram of the closed-loop single-echelon chain

Структура замкненого циклу (рис. 2) обмежує нескінченне накопичення запасу (характерне для моделі на рис. 1), яким би рівень попиту не був. Це відбувається із-за двох від'ємних петель зворотного зв'язку, показаних на рис. 2.

Петля 1 визначається послідовністю змінних *замовлення* → *виконання замовлень* → *запас* → *стан запасу* → *корекція стану запасу*, тоді як Петлю 2 визначають змінні *замовлення* → *канал постачання* → *стан запасу* → *корекція стану запасу*. Щоб пояснити від'ємний механізм зворотного зв'язку, пройдемо за маршрутом Петлі 1. Зростання *замовлень* збільшить *виконання замовлень*, а тому *запас* і *стан запасу* також виростуть. Це спричинить *корекцію стану запасу* до зменшення, оскільки *бажаний стан запасу* змінюється повільно, то можна допустити, що він буде сталим для наступного інтервалу часу. Нарешті, зменшення *корекції стану запасу* обмежує *замовлення*. Таким чином, *замовлення* стабілізуються на кінцевому рівні й система досягне рівноважного (стійкого) стану.

Ланцюг постачання, що охоплює багатьох постачальників, виробників, дистриб'юторів і роздрібних продавців, розбивається на низку ешелонів. Кожен партнер ланцюга зазвичай керує своїм власним запасом (діючи як автономна ланка ланцюга), який поповнюється попереднім ешеленом. Тоді можна проектувати багатоешелонні ланцюги постачання, придатні для реальних випадків, об'єднуючи відповідну кількість моделей одноешелонних запасів. Наприклад, на рис. 3 зображено ланцюг постачання з трьома ешелонами, де діаграма причинно-наслідкових зв'язків кожного актора в кожному ешелоні еквівалентна діаграмам, показаних на рис. 2.

Користуючись підходом СД, можна розширити ці ланцюги багатоешелонного постачання, додаючи стратегічні проблеми управління ланцюгом постачання, наприклад, планування потужностей і трудових ресурсів.

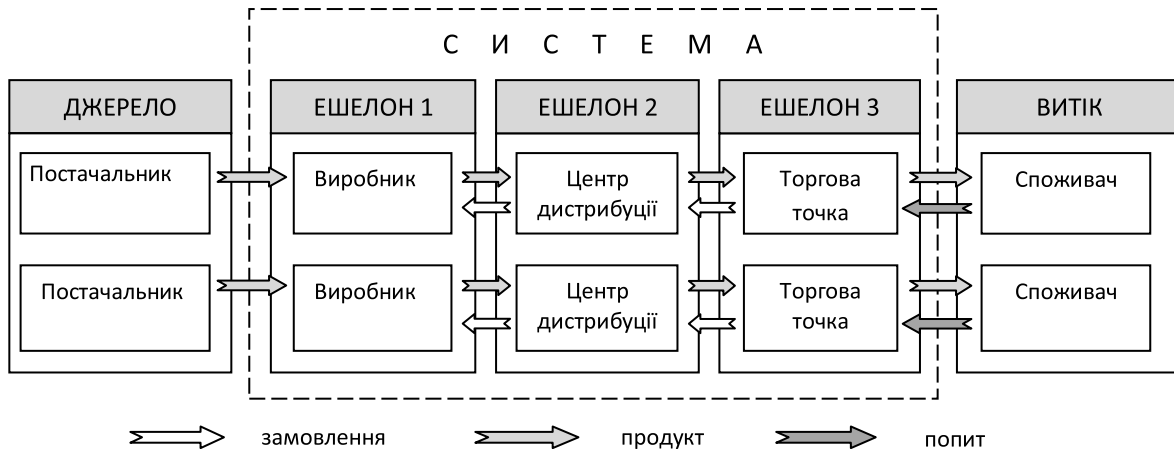


Рисунок 3. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків триешелонного ланцюга

Figure 3. Causal diagram of the 3-echelon chain

Потужності можуть стосуватися різних аспектів ланцюга постачання: трудових ресурсів, виробничих засобів, транспортних засобів тощо. Загалом, задача визначення потужностей дуже проста в стаціонарній ситуації. Проте в еволюційному середовищі важливо розглядати динамічну політику планування потужностей. Для створення системи підтримки прийняття рішень стосовно планування потужностей фірмі треба ретельно балансувати вибір з альтернативних варіантів між максимізацією обслуговування клієнтів і максимізацією використання виробничих потужностей. Це можуть бути як стратегії випереджаючих потужностей, де резерв виробничих потужностей використаний таким чином, що фірма може задовольняти раптові стрибки попиту, так і стратегії відстаючих потужностей, коли потужності відстають від попиту, тобто вони повністю завантажені. Третя форма планування потужностей – стратегія відповідних (адекватних) потужностей, яка намагається, щоб потужності відповідали попиту протягом усього часу. Три стратегії зображені на рис. 4. У всіх цих випадках фірма ухвалює рішення придбати нові потужності чи ні, з однаково поділеними проміжками часу з довжиною, яка дорівнює розглядуваному періоду.

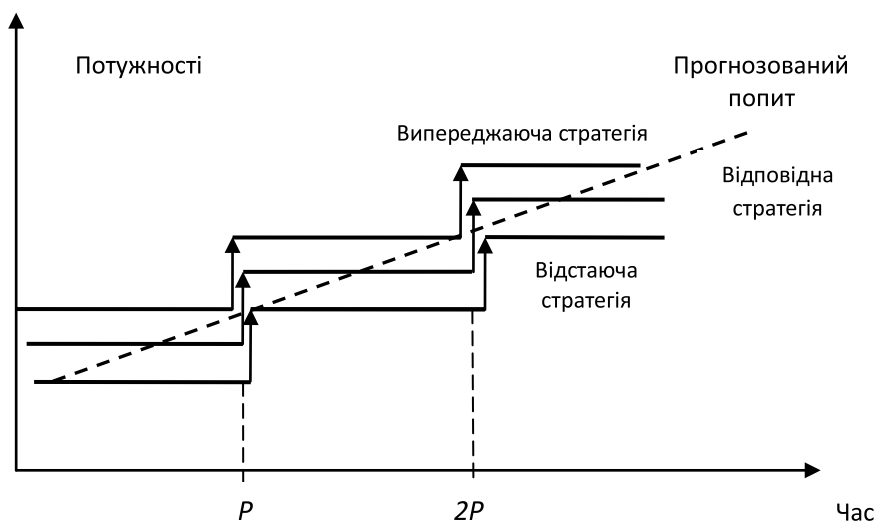


Рисунок 4. Стратегії нарощення потужностей

Figure 4. Capacity upgrading strategies

Очевидно, що особа, яка приймає рішення, може визначити потужності для всіх цих операцій один раз на початку горизонту планування, і це може бути зроблене із використанням стандартної техніки управління (в стаціонарних умовах). Проте це не підходить для випадку, коли потоки продукту можуть різко змінитися із-за кількох причин, наприклад, унаслідок промоутерської діяльності або застосування стратегії цінового коливання конкурентами. Хоча на такі зсуви попиту потрібен час для матеріалізації, їх доводиться враховувати при розробленні ефективної політики планування потужностей. Тому відповідна методологія моделювання має бути здатна врахувати швидкоплинні ефекти потоків у ланцюзі постачання, зокрема в харчовій галузі. Саме СД має цю можливість, а також легко описує ефекти дифузії, пов'язані з ринковою поведінкою.

Крім того, діяльність може забезпечуватися власними потужностями або додатково орендованими потужностями. Проблема визначення оптимального співвідношення власних і орендованих засобів є типовою для функціонування ланцюга постачання. Діаграма на рис. 5 ілюструє одношарову систему з динамічним циклом, який відображає механізм ухвалення рішень при плануванні потужностей. Зокрема, вважається, що діяльність може здійснюватися власними й орендованими (за потреби) засобами. Цей механізм управління моделюється як негативна петля зворотного зв'язку.

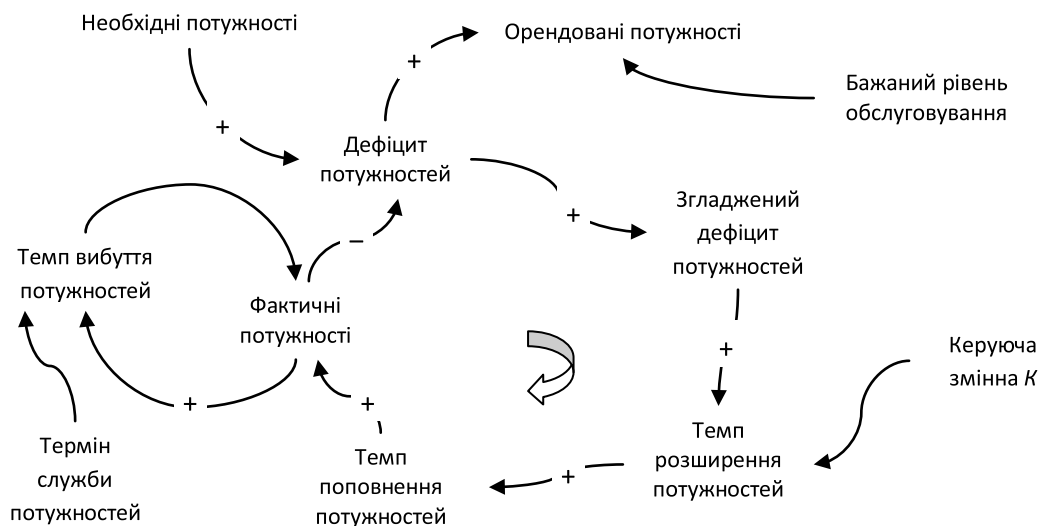


Рисунок 5. Діаграма ухвалення рішень у плануванні потужностей

Figure 5. Capacity planning decision-making diagram

Необхідні потужності визначає певна змінна моделі ланцюга постачання. Наприклад, якщо досліджуємо потужність транспортної системи, цією змінною може бути *замовлення*, якщо ж визначаємо необхідний складський простір, такою змінною можуть бути наявні *запаси*. *Необхідні потужності* порівнюються з *фактичними потужностями*. У випадку *дефіциту потужностей* використовується лізинг, щоб досягти *бажаного рівня обслуговування*.

Темп розширення потужностей визначає швидкість зміни потужностей до бажаного значення. Припускаємо, що потужності переглядаються періодично (через кожні одиниці часу P), а потім ухвалюється рішення, чи інвестувати в нарощення потужностей і яким чином. Така політика є типовою для більшості ланцюгів постачання в харчовій сфері. *Темп розширення потужностей* моделюється за допомогою імпульсних функцій, які мають бути додатними у моменти часу, кратні величині P . Величина імпульсу пропорційна *згладженому дефіциту потужностей* (отриманому з *дефіциту потужностей* за допомогою експоненціального згладжування, щоб уникнути непотрібних коливань), помноженому на керуючу змінну K .

Змінна K являє собою альтернативні стратегії розширення потужностей. При $K < 1$ маємо стратегії відстаючого розширення потужностей, при $K > 1$ – випереджаючі стратегії, і при $K \approx 1$ – відповідні стратегії. Природно, що серйозна затримка виникає між моментом ухвалення рішення про нарощення потужностей та його фактичною реалізацією. *Темп придбання потужностей* враховує цей час, а також і величину затримки *темпу розширення потужностей*. Окрім того, *фактичні потужності* мають корисний термін служби (*термін служби потужностей*), який регулює *темпи вибуття потужностей*.

Особа, що приймає рішення, може також використати розроблену модель для вивчення впливу різних політик, користуючись різними рівнями вказаних вище параметрів. Іншими словами, модель може бути використана для проведення аналізу різних ситуацій. Наприклад, можна оцінити вплив різних випереджаючих стратегій на задоволення нового або несподіваного попиту і можна обчислити необхідні потужності через заданий період P перегляду потужностей. З іншого боку, особа, що приймає рішення, може дослідити вплив різних величин періодів перегляду потужностей для певної політики розширення потужностей. Більш просунутий аналіз також може проводитися, щоб розробити довготривалу стратегію планування потужностей з оптимальними величинами P і K .

Висновки. У статті представлено методологічний підхід на основі СД для моделювання й аналізу багатошарових ланцюгів постачання, зокрема для харчової галузі. Методологія дає змогу формувати моделі ланцюга постачання шляхом об'єднання одношарових моделей за модульним принципом. Цілісна модель може бути використана для виявлення ефективної політики й оптимальних параметрів для різних проблем ухвалення стратегічних рішень. Методологія була перевірена для процесу планування транспортних потужностей ланцюга постачання ресторанів фаст-фуду. Крім того, розроблену модель можна застосувати для аналізу різних сценаріїв функціонування ланцюгів постачання, використовуючи як міру ефективності загальну прибутковість ланцюга постачання. Модель також може бути корисною для менеджерів, що відповідають за вироблення та ухвалення рішень у контексті стратегічних проблем управління ланцюгом постачання.

Conclusions. The paper presents a methodological approach based on system dynamics simulation and analysis of multi-echelon supply chains. This methodology makes it possible to develop models of the supply chain by combining single-echelon models in accordance with a modular approach. The model can be used to identify effective strategies and optimal parameters for various problems of strategic decision-making. The methodology was tested for the transportation capacity planning of food supply chain. In addition, the model can be used to analyze different scenarios of functioning of supply chains, using the overall profitability of the supply chain as a performance criterion. The model may also be useful for top-managers who are responsible for decision-making in the context of strategic supply chain management issues.

Використана література

1. Шапиро, Дж. Моделирование цепи поставок; пер. с англ. [Текст] / Джереми Шапиро. – СПб: Питер, 2006. – 720 с.
2. Бочкарев, А.А. Автоматизация планирования и моделирования цепи поставок [Текст] / А.А. Бочкарев. – СПб: СПбГИЭУ, 2008. 291 с.
3. Форрестер, Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика); пер. с англ. [Текст] / Джей Форрестер. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
4. Sterman, J. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World / John Sterman. NY: Irwin/McGraw Hill, 2000. 982 p.
5. Towill, D. Industrial Dynamics Modeling of Supply Chains / D. Towill // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 1995. – Vol. 26(2). – P. 23 – 42.
6. Minegishi, S. System Dynamics Modeling and Simulation of a Particular Food Supply Chain / S. Minegishi, D. Thiel // Simulation Practice and Theory. – 2000. – Vol. 8. – P. 321 – 339.
7. Georgiadis, P. The Effect of Environmental Awareness on Product Recovery Networks Design / P. Georgiadis, D. Vlachos // European Journal of Operational Research. – 2004. – Vol. 157. – P. 449 – 464.
8. Haetz, K. System Design of a Two-Echelon Steel Industry Supply Chain / Haetz K., Griths M., Griths J., Nairn J. // International Journal of Production Economics. – 1996. – Vol. 45. – P. 121 – 130.