

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ МАЛОГО ПІДПРИЄМСТВА

© 2017 ШЕРСТЕННИКОВ Ю. В.

УДК 330.45:334.012.64

Шерстенников Ю. В.

Імітаційна модель логістичної системи малого підприємства

Важливим напрямком у теоретичному дослідженні поточної діяльності та стратегічних перспектив малих підприємств є розробка динамічних моделей їхнього функціонування в сучасних соціально-економічних умовах. Метою статті є розробка імітаційної моделі часових параметрів логістичної системи малого підприємства. В основу побудови імітаційної моделі логістичної системи (ЛС) малого підприємства (МП) покладений підхід Дж. Форрестера розвинутий автором на основі розроблених методів, закладених в методологічному підході до моделювання процесів розвитку структури та властивостей малого підприємства шляхом відтворення динамічних моделей. Розроблено імітаційну модель логістичної системи малого підприємства. В цій роботі розроблені та детально обґрунтовані такі елементи логістичної системи малого підприємства: модель управління відвантаженням у збутовій фірмі; модель управління збутовою фірмою; схема управління виробництвом. Чисельними розрахунками показано, що сумарний річний чистий прибуток збільшується, якщо попит зростає на початку року.

Ключові слова: імітаційна модель, часові параметри, логістична система.

Рис.: 7. **Формул.:** 37. **Бібл.:** 8.

Шерстенников Юрій Всеволодович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара (пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна)

E-mail: hm001@ukr.net

УДК 330.45:334.012.64

UDC 330.45:334.012.64

Шерстенников Ю. В. Имитационная модель логистической системы малого предприятия

Sherstennykov Yu. V. A Simulation Model of the Logistics System of a Small Enterprise

Важным направлением в теоретическом исследовании текущей деятельности и стратегических перспектив малых предприятий является разработка динамических моделей их функционирования в современных социально-экономических условиях. Целью статьи является разработка имитационной модели временных параметров логистической системы малого предприятия. В основу построения имитационной модели логистической системы малого предприятия положен подход Дж. Форрестера развитый автором на основе разработанных методов, заложенных в методологическом подходе к моделированию процессов развития структуры и свойств малого предприятия путем разработки динамических моделей. В статье разработана имитационная модель логистической системы малого предприятия, и на ее основе разработаны и детально обоснованы такие элементы логистической системы малого предприятия: модель управления отгрузкой в сбытовой фирме; модель управления сбытовой фирмой; схема управления производством. Численными расчетами показано, что суммарная годовая чистая прибыль увеличивается, если спрос возрастает в начале года.

Ключевые слова: имитационная модель, часовые параметры, логистическая система.

Рис.: 7. **Формул.:** 37. **Библ.:** 8.

Шерстенников Юрій Всеволодович – кандидат фізико-математических наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики, Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара (пр. Гагаріна, 72, Днепр, 49010, Україна)

E-mail: hm001@ukr.net

An important trend in the theoretical study of the current activity and strategic prospects of small enterprises is the development of dynamic models of their functioning under the contemporary socio-economic conditions. The basis for building a simulation model of the logistic system of a small enterprise is the approach of J. Forrester developed by the author on the basis of the methods elaborated within the methodological approach to modeling the processes of development of the structure and properties of a small enterprise by building dynamic models. In the article a simulation model of the logistic system of a small enterprise has been elaborated, and on its basis there have been developed and substantiated the following elements of the logistics system of a small enterprise: a model of shipment management in a sales company; a model of management of a sales company; a production management scheme. The numerical calculations show that the total annual net profit increases if the demand increases at the beginning of the year.

Keywords: simulation model, hourly parameters, logistic system.

Fig.: 7. **Formulae:** 37. **Bibl.:** 8.

Sherstennykov Yuriy V. – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University (72 Haharina Ave., Dnipro, 49010, Ukraine)

E-mail: hm001@ukr.net

Постановка проблеми. Важливим напрямком у теоретичному дослідженні поточної діяльності та стратегічних перспектив малих підприємств є розробка динамічних моделей їхнього функціонування в сучасних соціально-

економічних умовах. Ця розробка, на нашу думку, має спиратись на імітаційні моделі, які максимально повно відбивають його логістичну систему. Методам і моделям імітаційного моделювання присвячені чисельні роботи [1–7].

Однак моделей, де було би відображено цілісну логістичну систему малого підприємства, на сьогодні не створено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мета статті [1] полягала у дослідженні можливостей імітаційного моделювання результатів застосування податкових пільг. Узагальнюючи здобутки класичних наукових праць із імітаційного моделювання, було обґрунтовано доцільність застосування цього економіко-математичного методу для прогнозування наслідків впровадження податкових пільг. У роботі [2] розглядалось інвестиційне проектування, було розроблено технологію для проведення імітаційного експерименту. У статті [3] обґрунтовано доцільність використання багатоагентного імітаційного моделювання у дослідженні динаміки складних економічних систем. Продемонстровано принципову можливість використання клітинних автоматів у побудові імітаційних економічних моделей, зокрема, моделей поведінки споживачів. У статті [4] розглянуто питання використання імітаційного й організаційного моделювання для вдосконалення роботи підприємств громадського харчування. Моделювання може застосовуватися в проектах із реінжинірингу діяльності підприємств, коли необхідно заздалегідь спрогнозувати результати, і дозволяє будувати ефективний бізнес, не експериментуючи над компанією та співробітниками. У статті [5] розглянуто методичний підхід до формування оптимальної структури компонент ресурсного потенціалу підприємства на основі методів стохастичного й імітаційного моделювання, який орієнтований не лише на здобуття максимального валового доходу та прибутку в короткостроковому періоді, але й на стійке економічне зростання в довгостроковій перспективі. У роботі [6] описаний синергетичний ефект логістичних систем: міжособистісної взаємодії; управлінський; інвестиційний; фінансовий; операційний; торговий; маркетинговий; взаємодії людини та сучасних інформаційно-комунікаційних засобів і технологій; інформаційний. Окреслено, що синергетичний ефект логістичних систем може проявлятися таким чином: мінімізація загальних витрат по логістичній системі; зростання бажаного результату функціонування логістичної системи; підвищення конкурентних переваг у межах логістичної системи. У роботі досліджено низку напрямів щодо розробки економіко-математичних моделей оцінювання та прогнозування синергетичного ефекту, зокрема, за допомогою кореляційно-регресійного аналізу, інструментарію математичного програмування тощо. Стаття [7] присвячена питанням підвищення конкурентоспроможності підприємства за допомогою збалансованої системи показників і використання методів системно-динамічного імітаційного моделювання для ефективного управління підприємством, ґрунтуючись на місії та цілях компанії.

Метою публікації є розробка імітаційної моделі часових параметрів логістичної системи малого підприємства.

Виклад основного матеріалу. В основу побудови імітаційної моделі логістичної системи (ЛС) малого підприємства (МП) покладений підхід Дж. Форрестера [8] і розвинутий автором на основі розроблених методів, закладених в методологічному підході до моделювання процесів розвитку структури та властивостей малого підприємства шляхом відтворення динамічних моделей (рис. 1).

В подальшому розроблена модель (1)–(35) відображає основні риси логістичної системи малого виробничого підприємства (рис. 1). Зображена модель охоплює всі властивості МП і тих підприємств, які є лише посередниками та не мають власного виробництва. На базі цієї моделі здійснюється моделювання часових параметрів розвитку логістичної системи малого підприємства; оцінюється економічна ефективність виробництва МП, і виконується моделювання адаптаційних механізмів управління розвитком малого підприємства. Одним із аспектів цього підходу є розгалуження і поєднання всього комплексу динамічних моделей у єдиній моделі управління МП (рис. 1).

1. Розглядаючи цю модель, будемо приділяти увагу характерним особливостям роботи та структурним властивостям МП. Однією з найважливіших особливостей МП є те, що керівництво МП (яке будемо називати ОПР – особа, що приймає рішення) більш активно втручається в поточну роботу всіх підрозділів, ніж це буває у великих підприємствах. Необхідність урахування впливу ОПР на роботу МП потребує введення додаткової функції $F_0(x_0)$, де x – логічна змінна, що приймає значення на множині $\{Так, Ні\}$, F_0 – булева функція: $F_0(Так) = 1$, $F_0(Ні) = 0$.

Побудову математичної моделі ЛС МП почнемо з рівнянь для рівня невиконаних замовлень і запасів продукції. Величина невиконаних замовлень може бути визначена за допомогою звичайного рівняння рівня, який залежить від темпів одного вхідного й одного вихідного потоків:

$$q_{k+1}^1 = q_k^1 + T(u_k - f_k^1), \quad (1)$$

де q_k^1 – замовлення, не виконані збутовою фірмою (одиниці товару);

u_k – вимоги (попит), одержувані збутовою фірмою (одиниці в тиждень);

f_k^1 – темп поставки (одиниці в тиждень);

T – інтервал часу між рішеннями рівнянь.

Індекс k при змінній означає, що береться значення змінної в k -й момент часу.

Вимоги u_k , що одержує фірма, мають бути розсортовані на предмет можливості виконання.

Для забезпечення виконання замовлень на складі збутової фірми повинен бути запас. Рівняння, що описує рівень запасів у збутовій фірмі, має такий вигляд:

$$q_{k+1}^2 = q_k^2 + T(w_k^1 - f_k^1) \quad (2)$$

де q_k^2 – фактичний запас у збутовій фірмі (од.);

w_k^1 – поставки, одержувані збутовою фірмою (од. на тиждень).

Темп виконання замовлень визначається обсягом невиконаних замовлень і запізнюванням виконання замовлень, яке є змінною величиною. У свою чергу, запізнювання виконання замовлень є функцією наявних запасів. Тоді темп поставок, якщо він визначається в «автоматичному»

режимі, є [8]: $f_{k+1}^1 = \frac{q_k^1}{w_k^3}$, де w_k^3 – запізнювання виконання замовлень збутовою фірмою (тижні). Однак враховуючи те, що остаточне рішення про поставки приймає ОПР, рівняння для темпу поставок треба записати у вигляді:

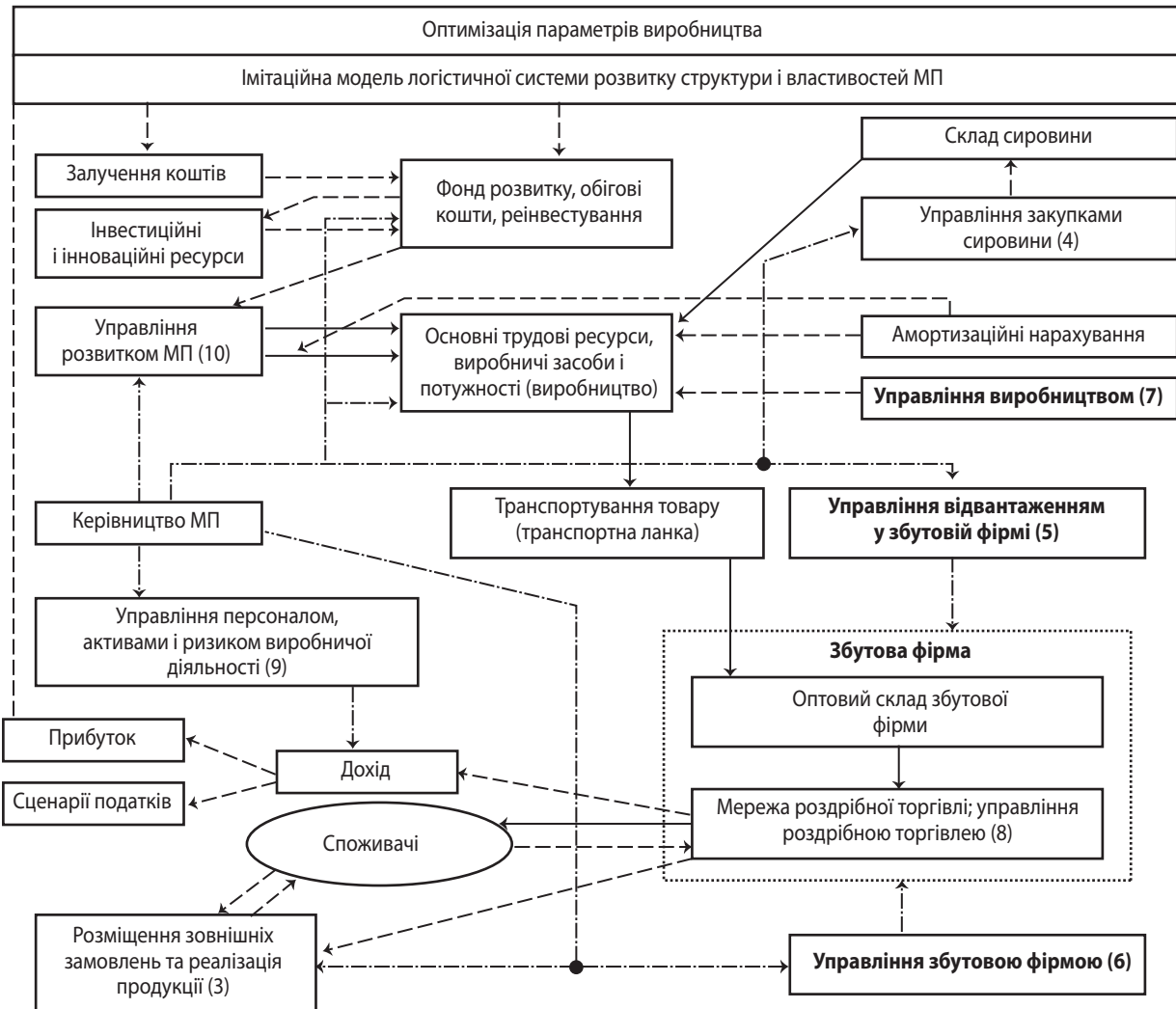


Рис. 1. Методологічний підхід до побудови моделі логістики малого підприємства:
суцільні лінії – матеріальні потоки; пунктирні лінії – грошові потоки; штрих-пунктирні лінії – інформаційні потоки та потоки управлінських рішень (зворотній зв'язок)

$$f_{k+1}^1 = \frac{q_k^1}{w_k^3} * FO(xp_k)$$

де xp_k – змінна, що визначає наявність, або відсутність поставок в k -му періоді.

Визначимо дві допоміжні змінні. Попереднє рівняння переписемо, використовуючи замість темпу поставок f_k^1 допоміжну змінну

$$w_k^2 = \frac{q_k^1}{w_k^3} * FO(xp_k) \quad (3)$$

де w_k^2 – темп відвантаження збутовою фірмою (од. на тиждень), що буде перевірятися.

Перш ніж вважати, що передбачуваний темп поставок w_k^2 є реалізованим значенням темпу поставки f_{k+1}^1 , зіставимо значення w_k^2 із граничним темпом відвантаження

$$w_k^4 = \frac{q_k^2}{T} \quad (4)$$

де w_k^4 – граничний темп відвантаження збутовою фірмою (од. на тиждень), за якого за час між розв'язаннями рівнянь використовується весь наявний обсяг товарних запасів.

Реалізоване значення темпу поставки визначається вираженням

$$f_{k+1}^1 = \min\{w_k^2, w_k^4\} \quad (5)$$

що буде визначати темп відвантаження протягом майбутнього інтервалу часу. У звичайних обставинах, коли запаси не знижуються до нуля, темп поставок визначається з (3).

Перш ніж перейти до рівняння взаємозв'язку між запасами й змінним запізнюванням, використовуваним при обчисленні темпу відвантаження товарів, більш докладно розглянемо наявні запаси. Якщо розглядати один вид товару на одному складі, то ясно, що замовлення можуть виконуватися доти, поки не виснажаться всі наявні запаси. Зовсім інше положення складається, коли один вид товару є у наявності на декількох складах або множина різних товарів перебуває на одному складі (або навіть множина

різних товарів на багатьох складах). У кожному із цих випадків запаси одних товарів можуть бути вичерпані раніше інших на деяких складах, і сумарна можливість виконувати замовлення буде поступово знижуватися в міру того, як знизиться загальний обсяг запасів усіх видів товарів. Будемо розглядати виробництво різних видів продукції і її реалізацію. Величина запізнювання в цьому разі визначається рівнянням виду:

$$\text{Запізнювання} = \text{мінімальне запізнювання} + \frac{\text{константа}}{\text{запас}}$$

Для дуже великих запасів другий член правої частини рівняння близький до нуля, так що запізнювання рівне мінімально можливому. Коли запаси наближаються до нуля, цей вклад прямує до нескінченності, різко підвищуючи величину запізнювання. Як міру запасу будемо використовувати не фактичний запас, а його відношення до такого запасу, який був би «достатнім» або «відповідним». Для цього вводиться поняття «бажаного запасу», з яким треба порівнювати фактичний запас. Тоді рівняння для запізнювання виконання замовлень прийме вид

$$w_k^3 = T_2 + T_3 \frac{w_k^5}{q_k^2}, \quad (6)$$

де T_2 – мінімальне запізнювання виконання замовлення збутовою фірмою (тижні);

T_3 – середнє запізнювання виконання замовлень збутовою фірмою, пов'язане з відсутністю на складі деяких товарів, при загальному нормальному запасі товарів (тижні);

w_k^5 – бажаний запас у збутовій фірмі.

Поняття «бажаний запас», який автор роботи [8] розглядає як ідеальний або планований рівень запасу, буде використане у двох випадках. Як вказувалося вище, цей необхідний запас служить еталоном, з яким порівнюється фактичний запас із метою встановлення можливості виконання замовлень. «Бажаний рівень запасів» буде також одним із факторів, що впливають на формування рішення

про розміщення замовлень на поставку товарів для створення нових запасів. Використання поняття «ідеальний запас» у розрахунку заповнення запасів робить це поняття важливим при розгляді динамічної поведінки системи. Незалежно від стабільності системи загальноприйнята практика полягає у створенні або зменшенні запасів відповідно до збільшення або зниження рівня продажу товарів.

Оскільки взаємозв'язок між продажем товарів і загальним запасом приймає форму прямого пропорційного зв'язку, то одержимо:

$$w_k^5 = k_1 q_k^3, \quad (7)$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності (тижні);

q_k^3 – усереднені вимоги до збутової фірми (од. на тиждень).

Константа k_1 являє собою число тижнів, протягом яких середній темп продажу може бути забезпечений за рахунок бажаного запасу. У зв'язку з тим, що поточний темп продажів q_k^1 буде коливатися від одного дня до іншого й не буде відповідати усередненому потоку, необхідно усереднити фактичні дані про продаж товарів, щоб одержати цифри, на яких можна було б засновувати плани відносно обсягу запасів і замовлень. Чим більше «шумів» у даних про продаж, тем більшим має бути час усереднення. Фактичні дані вимагають усереднення, усереднення породжує запізнювання, а запізнювання впливає на поведінку та стабільність системи. Усереднення повинне бути однією з характеристик системи, навіть якщо вивчити реакцію системи на вільні від шумів сигнали.

Можна використовувати різні методи усереднення. У найпростішому випадку маємо рівняння виду

$$q_{k+1}^3 = q_k^3 * \left(1 - \frac{T}{T_4}\right) + \frac{T}{T_4} u_k. \quad (8)$$

Таким чином, побудовано математичну модель (1)–(8), що зв'язує потік замовлень від покупців (або від мережі роздрібної торгівлі) із виконанням цих замовлень, для якої може бути побудовано модель (рис. 2).

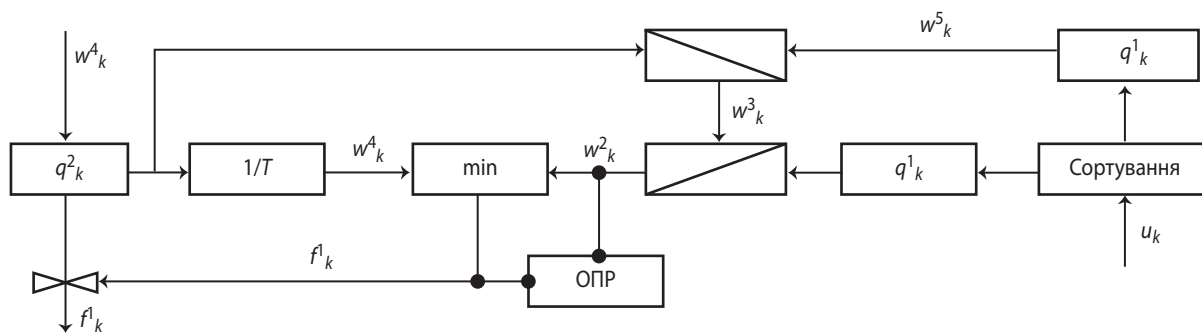


Рис. 2. Модель управління відвантаженням у збутовій фірмі

Для поповнення зменшуваних у процесі торгівлі запасів розглянемо можливу процедуру прийняття рішень про видачу замовлення оптовій ланці, а за її відсутності – виробничому складу. При прийнятті рішень про замовлення, які спрямовані на поповнення запасів, необхідно мати на увазі те, що для реалізації ухваленого рішення потрібний якийсь час. Тому будемо будувати рівняння для визна-

чення «майбутнього» рішення про вибір темпу закупівель, уводячи в нього запізнювання в потоці замовлень, яке по величині буде еквівалентно загальному запізнюванню обробки вихідних даних, ухвалення рішення про закупівлю товарів (керівництвом, тобто ОПР) і оформлення замовлення на поповнення запасу.

Виявимо основні джерела інформації, що виявляють вплив на темп закупівель. Перший з найбільш важливих факторів – це поновлення запасів товарів замість продажних. Крім того, необхідно передбачити розміщення замовлень для компенсації різниці між фактичним і бажаним запасами. Необхідно також установити неминуче збільшення обсягу замовлень і товарів, потрібних для заповнення каналів системи.

Якщо встановлений певний час передачі замовлень і товарів по каналах між збутовою фірмою і виробництвом, то необхідно, щоб загальна кількість замовлень і товарів у каналах була пропорційною рівню ділової активності. Якщо не вводити замовлення із цією метою в канали системи, то виникає недостача запасів. Враховуючи також, що остаточне рішення приймає ОПР, одержимо рівняння виду:

$$w_{k+1}^6 = \{u_k + \frac{1}{T_5} [(w_k^5 - x_k^2) + (w_k^7 - x_k^8) + (x_k^1 - w_k^9)]\} * FO(xw_k), \quad (9)$$

де w_{k+1}^6 – установлюваний темп закупівель збутовою фірмою (од. на тиждень);

T_5 – запізнювання регулювання запасів (і заповнення каналів) у збутовій фірмі (тижні);

w_k^7 – бажаний рівень переданих по каналах замовлень, обумовлений потребами збутової фірми (од.);

w_k^8 – фактичний рівень виданих збутовий фірмою замовлень, що перебувають у каналах (од.);

w_k^9 – нормальне для збутової фірми число невиконаних замовлень (од.);

xw_k – змінна, що визначає наявність або відсутність закупівель в k -му періоді, визначається ОПР.

Темп закупівель, обумовлений рівнянням (9), залежить від значень декількох змінних, які ще не визначені. Це, зокрема, бажаний (необхідний) рівень замовлень і товарів, що перебувають у русі по каналах, що зв'язують збуту та виробничу фірми. Необхідна кількість замовлень і товарів у цих каналах буде залежати від їхньої довжини (тобто від загального запізнювання) і від середнього рівня продажів у збутовій фірмі, який необхідно забезпечити. Цю залежність наведемо таким рівнянням

$$w_k^7 = (T_6 + T_7 + T_8 + \tilde{v}_k^3) q_k^3, \quad (10)$$

де \tilde{v}_k^3 – запізнювання виконання замовлень виробництвом (тижні);

T_6 – запізнювання оформлення замовлень у збутовій фірмі (тижні);

T_7 – запізнювання в каналах зв'язку (поштове) замовлень збутової фірми (тижні);

T_8 – запізнювання транспортування товарів у збуту фірму (тижні).

Середнє сумарне число замовлень і товарів, що має перебувати в русі по каналах, є результатом множення середнього темпу продажів у збутовій фірмі на загальний час, необхідний для здійснення замовленням повного кругообігу по каналах системи. Три складові цього запізнювання, пов'язані з оформленням замовлень, з доставкою замовлення поштою й із транспортуванням товарів, є величинами постійними. У цьому випадку передбачається, що вони не змінюються при зміні стану системи.

Запізнювання при виконанні замовлень виробничими складами залежить від наявності запасів на цих базах, за рахунок яких можуть бути виконані замовлення. Тому воно є змінним за величиною, як і аналогічне запізнювання в збутовій фірмі. Фактичний уміст каналів складається із суми замовлень і товарів у різних ділянках каналів:

$$w_k^8 = q_k^4 + q_k^5 + q_k^6 + \tilde{y}_k^1, \quad (11)$$

де q_k^4 – замовлення в збутовій фірмі на стадії оформлення (од.);

q_k^5 – видані збутовою фірмою замовлення на закупівлі, що перебувають в інформаційному каналі (од.);

q_k^6 – товари на шляху до збутової фірми (од.);

\tilde{y}_k^1 – замовлення, не виконані виробництвом (од.).

Реальна кількість, передана каналом, визначається в цьому випадку як допоміжна змінна, рівна сумі чотирьох рівнів замовлень і товарів, що є на чотирьох ділянках каналу. Член рівняння (9), який ще не визначений, – це нормальний рівень не виконаних збутовий фірмою замовлень. Він дорівнює середньому темпу продажів, помноженому на нормальне запізнювання виконання замовлень:

$$w_k^9 = (T_2 + T_3) q_k^3. \quad (12)$$

Нормальне запізнювання в збутовій фірмі складається із двох компонентів – один являє собою середній мінімальний час, необхідний для оформлення документів, інший породжений звичайними умовами відсутності запасів деяких видів товарів. Тепер розглянемо три окремі запізнювання: у розміщенні замовлень, у пересиланні замовлень поштою зі збутової фірми на виробництво й у доставці товарів від виробництва в збуту фірму. Будемо використовувати запізнювання першого порядку для опису процесу оформлення замовлень, їх передачі й доставки товарів. Запишемо два рівняння: одне з них буде визначати кількість, що перебуває в процесі транспортування; інше буде вказувати на спосіб обчислення темпу на вході. Два рівняння, що визначають запізнювання першого порядку при ухваленні рішення про закупівлю й розміщення замовлень збутової фірми на виробництві, мають вигляд

$$q_{k+1}^4 = q_k^4 + T(w_k^6 - w_k^{10}), \quad (13)$$

$$w_k^{10} = DEL_1(w_k^6, T_6) * FO(xz_k), \quad (14)$$

де w_k^{10} – видані збутовий фірмою замовлення на закупівлю товарів (од. на тиждень);

DEL_1 – функціональне позначення системи рівнянь, що описують запізнювання першого порядку;

xz_k – змінна, що визначає наявність або відсутність замовлення на закупівлю товарів в k -му періоді.

Функціональне визначення запізнювання першого порядку буде розглянуто в подальшому. Зауважимо, що, на відміну від роботи [8], будемо розглядати лише запізнювання першого порядку. Цей підхід пов'язаний з такими міркуваннями. Автор [8] прагне збільшити ступінь нелінійності системи рівнянь для того, аби отримати необхідні посилення і коливання величин, що описують динаміку економічних показників великого підприємства, тому він використовує запізнювання третього порядку. Для МП ми не передбачаємо таких ефектів, до того ж у подальшому

в систему рівнянь будуть внесені такі доповнення, які і без того зроблять систему рівнянь суттєво нелінійною.

Вихід запізнювання, пов'язаного із процесом оформлення замовлення, служить входом для запізнювання передачі замовлення. Операції по передачі замовлень будуть відображені запізнюванням першого порядку:

$$q_{k+1}^5 = q_k^5 + T(w_k^{10} - w_k^{11}), \quad (15)$$

$$w_k^{11} = DEL_1(w_k^{10}, T_7), \quad (16)$$

де w_k^{11} – вимоги, одержувані виробництвом (од. на тиждень).

Відобразимо транспортування товарів із виробництва в збутову фірму. Для цього запишемо два рівняння, що характеризують запізнювання при цьому транспортуванні:

$$q_{k+1}^6 = q_k^6 + T(f_k^3 - w_k^1), \quad (17)$$

$$w_k^1 = DEL_1(f_k^3, T_8), \quad (18)$$

де f_k^3 – поставки, здійснювані із запасів виробництва (од. на тиждень);

T_8 – запізнювання транспортування товарів у збутовій фірмі (тижні).

Як підсумок сформульованих рівнянь на рис. 3 наведено модель управління збутовою фірмою.

Отримана сукупність системи рівнянь є математичною моделлю процесів, здійснюваних збутовою фірмою. Ця система рівнянь не є замкнутою, оскільки вона містить змінні $(f_k^3, \tilde{y}_k^1, \tilde{v}_k^3)$, що відносяться до виробничої ланки.

Тепер розглянемо математичну модель виробництва. Будемо вважати, що виробництво та склад перебува-

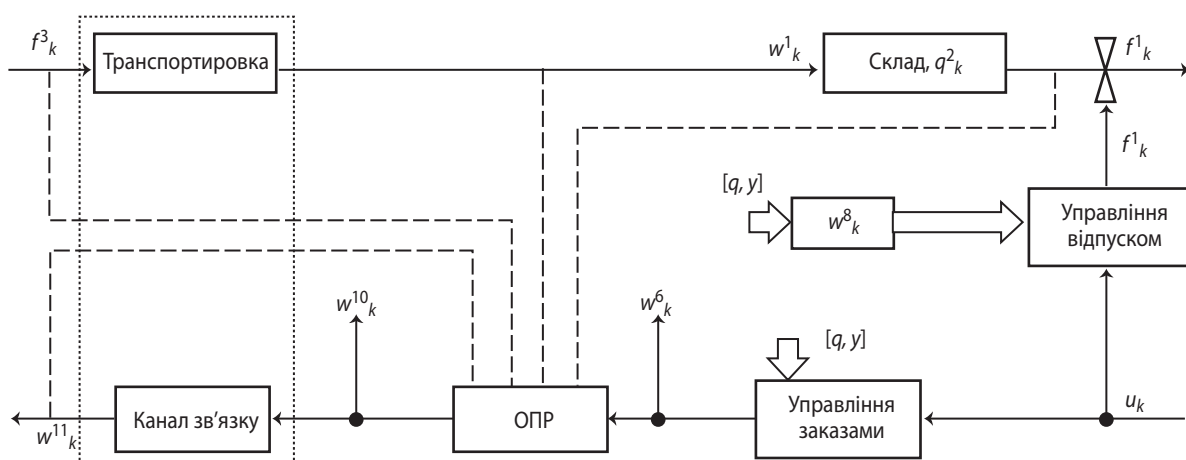


Рис. 3. Модель управління збутовою фірмою

ють у безпосередній близькості одне від одного. Тому не будемо вводити запізнювання, пов'язані з пересиланням замовлень або із транспортуванням товарів між складом і виробництвом. У той же час необхідно враховувати, що після ухвалення рішення про зміну темпу виробництва проходить певний час, перш ніж почне змінюватися темп випуску продукції.

Рівняння для невиконаних замовлень і наявних запасів мають такий вигляд:

$$\tilde{y}_{k+1}^1 = \tilde{y}_k^1 + T(w_k^{11} - f_k^3), \quad (19)$$

$$\tilde{y}_{k+1}^2 = \tilde{y}_k^2 + T(\tilde{v}_k^1 - f_k^3), \quad (20)$$

де \tilde{y}_k^1 – замовлення, не виконані виробництвом (од. на тиждень);

\tilde{y}_k^2 – фактичний запас на виробничому складі (од. на тиждень);

w_k^{11} – замовлення, одержувані виробництвом (од. на тиждень);

f_k^3 – поставки з виробничого складу (од. на тиждень);

\tilde{v}_k^1 – поставки товарів на склад, випуск готової продукції (од. на тиждень).

Допустимо, що склад здійснює зберігання й поставку різного роду товарів. При цьому, як і раніше, маємо на увазі, що запізнювання поставок товарів має властивість поступово збільшуватися при зменшенні рівня запасів. Від-

повідно, уявлення про темп поставок буде відображатися такими ж рівняннями, як і рівняння (3)–(5):

$$\tilde{v}_k^2 = \frac{\tilde{y}_k^1}{\tilde{v}_k^3}, \quad (21)$$

$$\tilde{v}_k^4 = \frac{\tilde{y}_k^2}{T}, \quad (22)$$

де \tilde{v}_k^2 – темп виробничого відвантаження, що перевіряється (од. на тиждень);

\tilde{v}_k^3 – запізнювання виконання замовлень виробничою ланкою (тижні);

\tilde{v}_k^4 – граничний темп виробничого відвантаження (од. на тиждень).

Тепер запишемо вираз для темпу поставок:

$$f_{k+1}^1 = \min\{\tilde{v}_k^3, \tilde{v}_k^4\} * F0(xt_k), \quad (23)$$

де xt_k – змінна, що визначає наявність або відсутність поставок товарів в k -му періоді, визначається ОПР.

Рівняння запізнювання виконання замовлень \tilde{v}_k^3 , величини бажаного запасу \tilde{v}_k^5 й усередненого темпу продажів \tilde{y}_k^3 за формою будуть такими ж, як і наведені вище рівняння (6)–(8)

$$\tilde{v}_k^3 = t_2 + t_3 \frac{\tilde{y}_k^5}{\tilde{y}_k^2}, \quad (24)$$

$$\tilde{v}_k^5 = k_2 \tilde{y}_k^3, \quad (25)$$

$$\tilde{y}_{k+1}^3 = \left(1 - \frac{T}{t_4}\right) + \frac{T}{t_4} w_k^{11}, \quad (26)$$

де t_2 – мінімальне запізнювання виконання замовлення виробничою ланкою (тижні);

t_3 – середнє запізнювання виконання замовлень виробничою ланкою, пов'язане з відсутністю на складі деяких товарів, при загальному нормальному запасі товарів;

\tilde{v}_k^5 – бажаний запас у виробничій ланці;

k_2 – коефіцієнт пропорційності;

\tilde{y}_k^3 – усереднені вимоги до виробничої ланки.

Розглянемо процедуру ухвалення рішення, що пов'язане з темпом виробництва. У реальній ситуації на нього можуть впливати різні міркування, обумовлені виробничими можливостями. Нехай більша частина обладнання може використовуватися в широкому діапазоні виробничих потужностей. Тоді припустимо, що темп виробництва може змінюватися неперервно від нуля до деякої максимальної величини. Бажання виробляти товари в темпі, що перевищує максимально можливий, не приведе до збільшення випуску готової продукції понад певну межу. Крім того, реальний виробничий план і потік замовлень виробництву на виготовлення продукції можуть перевершувати можливості підприємства. А раз так, то фактичний випуск буде регулюватися рішенням, яке визначає залежність випуску продукції виробництвом (його вихідну реакцію) від таких умов, як наявне завантаження, людські ресурси, доступні матеріали й обладнання. Щоб не довелось включати деталі внутрішніх умов підприємства, явне рішення про темп виробництва буде вважатися обмеженими виробничими можливостями.

Рівняння бажаного темпу виробництва буде мати ту ж форму, що й рівняння (9) для темпу розміщення замовлень збутовою фірмою:

$$\tilde{v}_{k+1}^6 = w_k^{11} + \frac{1}{t_5} [(\tilde{v}_k^5 - \tilde{y}_k^2) + (\tilde{v}_k^7 - \tilde{v}_k^8) + (\tilde{y}_k^1 - \tilde{v}_k^9)], \quad (27)$$

де \tilde{v}_k^6 – бажаний темп випуску продукції;

t_5 – запізнювання регулювання запасів (і заповнення каналів) у виробничій ланці;

\tilde{v}_k^7 – бажаний рівень переданих по каналах замовлень, обумовлений потребами виробництва (од.);

\tilde{v}_k^8 – фактичний рівень виданих виробничою ланкою замовлень, що перебувають у каналах (од.);

\tilde{v}_k^9 – нормальне для виробничої ланки число невиконаних замовлень (од.).

У цьому рівнянні враховується темп продажів, стан запасів, незавершеного виробництва та невиконаних замовлень. Рівняння (27) – це допоміжне рівняння, оскільки одержуваний результат повинен бути зіставлений з максимальною виробничою потужністю виробництва. Виробнича потужність не має різко окресленої границі. Вона залежить від величини робочого тижня, чисельності працюючих і продуктивності праці; однак, якби стали вносити в модель ці уточнення, то вона вийшла б за межі, якими ми себе обмежимо при моделюванні системи. Тому будемо характеризувати можливості виробництва величиною темпу, рівного потрібному, доти, поки останній буде менше

виробничої потужності. При цьому будемо вважати, що випуск продукції буде прямувати з певним запізнюванням за запуском виробів у виробництво.

Наступне рівняння визначає темп виробництва товарів як найменший із двох темпів – бажаного й обмеженого виробничою потужністю

$$\tilde{v}_{k+1}^1 = \min\{\tilde{v}_k^6, \beta\} * FO(xv_k), \quad (28)$$

де \tilde{v}_k^1 – темп виробництва товару, що визначається у результаті рішення (од. на тиждень);

β – константа, що характеризує граничну виробничу потужність (од. на тиждень);

xv_k – змінна, що визначає наміри ОПР щодо виробництва товарів в k -му періоді.

При описі процесів виробництва будемо виходити з таких двох припущень:

- 1) відсутні запізнювання доставки замовлень і транспортування товарів як усередині виробництва, так і при відправленні товарів;
- 2) виробнича потужність відома вже при первісному розміщенні замовлень, так що можливість виконання замовлень виробництвом не викликає сумніву, а тому заборгованість по не виконаних виробництвом замовленнях відсутня. Ці допущення рівносильні твердженню про те, що наявні трудові та матеріальні ресурси не будуть обмежувати виробництво, якщо не казати про обмеження, виражене у максимумі темпу виробництва. У цьому випадку рівняння заповнення виробничих каналів і нормального рівня невиконаних замовлень будуть мати вигляд

$$\tilde{v}_k^7 = (t_6 + t_7) \tilde{y}_k^3, \quad (29)$$

$$\tilde{v}_k^8 = \tilde{y}_k^4 + \tilde{y}_k^5, \quad (30)$$

$$\tilde{v}_k^9 = (t_2 + t_3) \tilde{y}_k^3, \quad (31)$$

де t_6 – запізнювання оформлення замовлень у виробництві;

t_7 – запізнювання, пов'язане з витратою часу на виробництво продукції;

\tilde{y}_k^4 – замовлення у виробничій ланці на стадії оформлення (од.).

Для перетворення інформації у розв'язок про вибір певного темпу виробництва необхідний якийсь час. Воно може бути відображене, як і в рівняннях (13), (14):

$$\tilde{y}_{k+1}^4 = \tilde{y}_k^4 + T * (\tilde{v}_k^6 - \tilde{v}_k^{10}), \quad (32)$$

$$\tilde{v}_k^{10} = \tilde{y}_k^4 / t_6, \quad (33)$$

де \tilde{v}_k^{10} – виробничі замовлення виробництву (од. на тиждень).

Далі розглянемо безпосередньо виробничий процес. Припустимо, що робоча сила та матеріали не накладають ніяких інших обмежень на випуск продукції. Отже, випуск готової продукції буде залежати від величини отриманих виробництвом замовлень і змінюватися слідом за зміною темпу надходження замовлень із деяким запізнюванням. Залежно від величини та характеру зміни темпу виробництва будемо вибирати ту або іншу з різних можливих функ-

цій запізнювання. Оскільки не будемо відображати кожний окремий виробничий процес, то скористаємося запізнюванням першого порядку. У результаті одержимо:

$$\tilde{y}_{k+1}^5 = \tilde{y}_k^5 + T * (\tilde{v}_k^{10} - f_k^3), \quad (34)$$

$$\tilde{y}_k^3 = \tilde{y}_k^5 / t_7, \quad (35)$$

де \tilde{y}_k^5 – замовлення у виробництві (од.).

Випуск готової продукції буде залежати від величини отриманих виробництвом замовлень і змінюватися слідом за зміною темпу надходження замовлень із деяким запізнюванням. Це запізнювання також будемо відображати запізнюванням першого порядку.

Як підсумок системи рівнянь (19)–(35), на рис. 4 наведено схему управління виробництвом, що побудовано аналогічно схемам для збутової фірми.

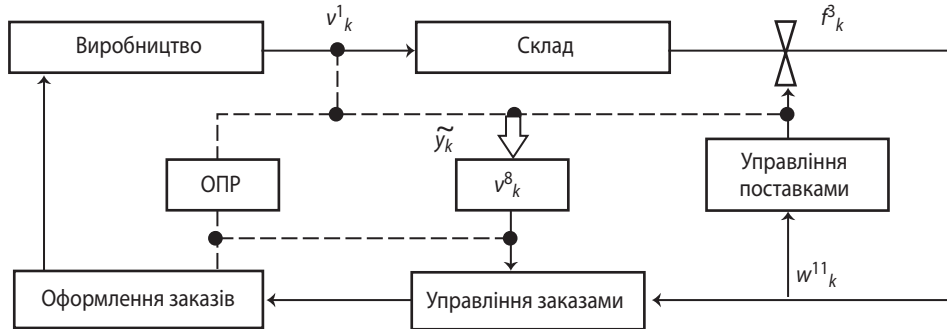


Рис. 4. Схема управління виробництвом

Складанням системи рівнянь для виробництва завершений формальний математичний опис логістичної системи. Основні відмінності моделі (1)–(35) від моделі з роботи [8] такі:

1) в роботі [8] для всіх видів запізнювань: у розміщенні замовлень, у пересиланні замовлень поштою зі збутової фірми на виробництво й у доставці товарів від виробництва в збутову фірму використовується математична модель запізнювань третього порядку. Як пояснюється в [8], для великого підприємства (ВП) така модель (третього порядку) є природною і найбільше відповідає роботі ВП. Для МП ми обрали математичну модель запізнювань першого порядку (визначення моделей запізнювань першого та третього порядків [8]). Відомо, що використання математичної моделі запізнювань третього порядку підвищує ступінь нелінійності системи рівнянь, які описують роботу ВП. Саме цього і прагне домогтись автор [8];

2) модель із роботи [8] не передбачає втручання керівництва у функціонування підприємства. Тобто це фактично модель «автоматичного управління» логістикою підприємства. В нашій моделі (1)–(35) передбачається можливість прямих директивних впливів на найбільш суттєві процеси на всіх ланках від виробництва до збуту продукції.

Побудована модель (1)–(35) також, як і модель з роботи [8], не припускає відображення характеристик самого ринку збуту. При розрахунках за цією моделлю [8] задається різний темп попиту u_k (як екзогенна змінна), щоб визначити, яким чином виробнича та збутова системи будуть реагувати на різні умови продажу товарів.

Питання стосовно того, яким чином модель (1)–(35) може бути узагальнена для того, щоб містити характеристики ринку збуту, буде розглянуто в подальших роботах.

В цій роботі ми обмежимося лише розрахунками, які можуть бути виконані на підставі моделі (1)–(35). Цей етап досліджень є необхідним для того, аби переконатись, що розроблена модель виробничо-збутової фірми приводить до адекватних результатів.

Щоб порівняти результати з роботою [8], розглянемо ту саму ситуацію, що пропонується в роботі [8]. Перше завдання, яке вирішується в [8], – це з'ясувати наслідки того, який вплив має на всі часові параметри логістичної системи стрибкоподібна зміна попиту на товар підприємства:

$$u_k = \begin{cases} ui, & k = 0, \\ 1,1ui & k > 0, \end{cases} \quad (36)$$

де ui – вихідний темп попиту на товари підприємства.

Розглянемо той самий, як і в роботі [8], часовий період – 52 тижні (один рік). В роботі [8] було прийнято графічно зображати не абсолютні значення величин, а їх відношення до початкового значення, тобто замість величини A_i зображати величину A_i/A_0 (нормування до початкового значення). Наслідуючи роботу [8], на рис. 5 зображено зміну часових параметрів логістичної системи протягом року (тобто $52 \cdot 20 = 1040$ періодів) в разі, якщо на початку року попит стрибком зріс на 10 % відповідно до виразу (36).

Розрахунки на рис. 5 виконані при таких значеннях параметрів:

$$T = 0,05; T_2 = 1; t_2 = 1; T_3 = 0,4; t_5 = 1; T_4 = 8; t_4 = 8; T_5 = 4; t_5 = 4; T_6 = 3; t_6 = 1, T_7 = 0,5; t_7 = 6, T_8 = 1; k_1 = 8, k_2 = 4.$$

В цілому характер динаміки часових параметрів є той самий, як і для ВП [8], але є і відмінності. Ті параметри, які мають перейти до нових сталих значень (на 10 % більших за початкові), роблять цей перехід повільніше. Це є наслідком того, що ми використовували модель затримання першого порядку. Але є і позитивні аспекти. Привертає до себе увагу той факт, що часові параметри монотонно наближуються до нових сталих значень, тоді як у [8] це наближення має коливний характер. Ця відмінність також пов'язана з тією самою причиною.

З рис. 5 видно, що темп виробництва досягає максимального значення, що на 20 % перевершує початкове. Таке не завжди можливо. Розглянемо ситуацію, коли у МП

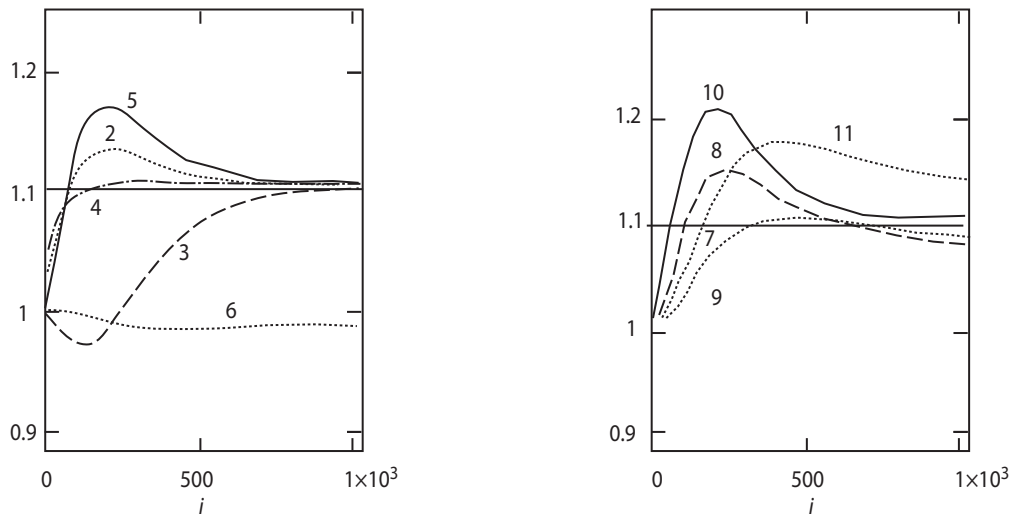


Рис. 5. Динаміка часових параметрів при стрибкоподібній зміні попиту:

1 – попиту на продукцію, 2 – невиконані замовлення збутової фірми, 3 – темп відвантаження товарів збутовою фірмою, 4 – запаси продукції у збутовій фірмі, 5 – потік замовлень товарів у виробничу ланку, 6 – запізнювання поставок виробництвом, 7 – виробничі замовлення, 8 – невиконані замовлення проведення, 9 – число виробів у виробництві, 10 – темп випуску продукції, 11 – запас товарів на складі

є резервні виробничі потужності лише у розмірі 15 %. Це означає, що в рівнянні (28) константа $\beta = 1,15$. На рис. 6 показано динаміку тих самих часових параметрів, що і на рис. 5.

Якщо в собівартість продукції закладені всі витрати, окрім плати за зберігання товару на збутовій фірмі, то вираз для чистого поточного прибутку буде таким:

$$M_i = (1 - kp)[(1 - kad) \cdot f_1 \cdot p \cdot T - vc_1 \cdot c \cdot p \cdot T - kS \cdot q_2] \quad (37)$$

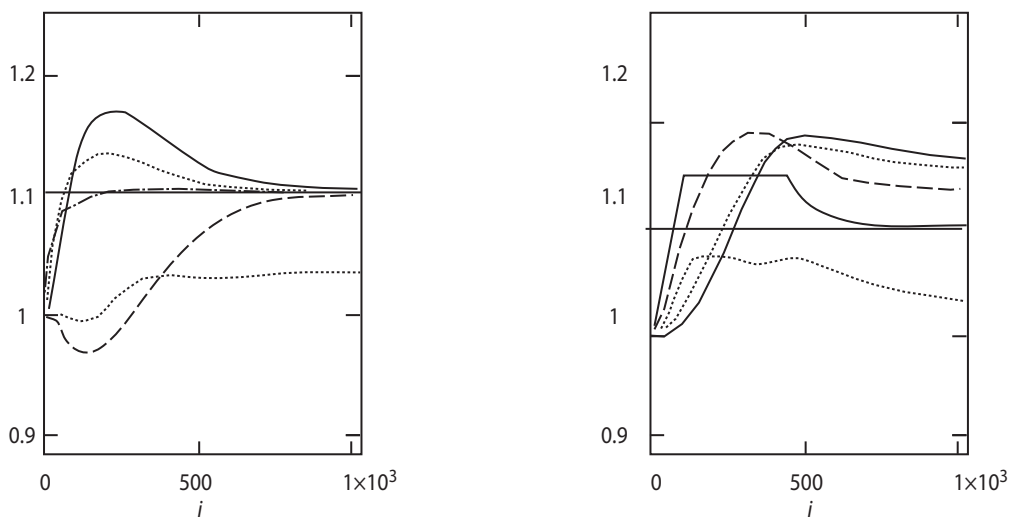


Рис. 6. Динаміка часових параметрів при стрибкоподібній зміні попиту для випадку обмеженої виробничої потужності підприємства

де kp – податок на прибуток;
 kad – податок на додану вартість;
 kS – плата за зберігання одиниці товару на збутовій фірмі протягом часу T .

Для залежностей, що показані на рис. 5, часова динаміка чистого прибутку(37) буде такою, що зображена на рис. 7.

Розрахунки показують: якщо попит залишається незмінним, тоді сумарний річний чистий прибуток буде:

$$\sum_{i=0}^{52 \times 20} M_i = 7,495 \cdot 10^4,$$

а якщо попит зростає на початку року на 10 %, тоді сумарний річний чистий прибуток буде:

$$\sum_{i=0}^{52 \times 20} M_i = 7,841 \cdot 10^4.$$

З порівняння цих результатів видно, що підприємство має постійно виконувати моніторинг ринку та вживати цих заходів для підвищення попиту на власну продукцію.

Висновки. Таким чином, у межах наведеного дослідження побудовано імітаційну модель логістичної системи малого підприємства, розроблено та детально обґрунтовано такі елементи його логістичної системи: модель управ-

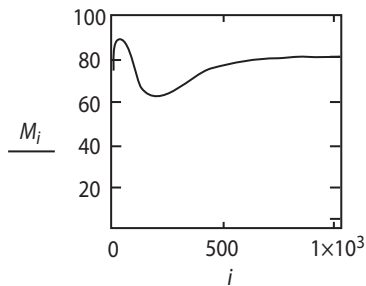


Рис. 7. Динаміка чистого прибутку протягом року

ліній відвантаженням у збутовій фірмі; модель управління збутовою фірмою; схема управління виробництвом. Розроблена модель дозволяє прогнозувати розмір сумарного річного прибутку підприємства, враховуючи попит на його продукцію. Отримані результати свідчать про необхідність постійного моніторингу ринку з боку підприємства та впровадження заходів для підвищення попиту на власну продукцію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Віннікова О. С., Назаренко Г. В. Прогнозування результатів застосування податкових пільг на основі методу імітаційного моделювання. *Бізнес Інформ*. 2014. № 10. С. 153–159.
2. Глотов Є. О., Череватенко В. А. Реалізація методів імітаційного моделювання ризиків інвестиційних проектів засобами MS Excel. *Бізнес Інформ*. 2014. № 9. С. 119–124.
3. Жихаревич В. В., Мацюк Н. О. Клітинно-автоматне моделювання динаміки обсягів продажів торгівельного підприємства. *Бізнес Інформ*. 2013. № 2. С. 75–79.
4. Зеленков А. В., Братова О. Ю. Використання організаційного та імітаційного моделювання для організації роботи підприємств громадського харчування. *Бізнес Інформ*. 2011. № 12. С. 100–104.
5. Салун М. М. Моделювання оптимальних параметрів ресурсного потенціалу промислового підприємства. *Бізнес Інформ*. 2012. № 5. С. 178–181.
6. Скіцько В. І. Аналіз та моделювання синергічного ефекту логістичних систем мікроекономічного рівня. *Проблеми економіки*. 2015. № 1. С. 242–248.
7. Тарасова О. О. Інформатизація завдань підвищення конкурентоспроможності підприємства за допомогою збалан-

сованої системи показників. *Бізнес Інформ*. 2012. № 4. С. 172–175.

8. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика)/под ред. Д. М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1971. 340 с.

REFERENCES

- Forrester, Dzh. *Osnovy kibernetiki predpriyatiya (Industrialnaya dinamika)* [Fundamentals of Cybernetics of the enterprise (Industrial dynamics)]. Moscow: Progress, 1971.
- Hlotov, Ye. O., and Cherevatenko, V. A. "Realizatsiia metodiv imitatsiynoho modeliuвання ryzykiv investytsiynkh proektiv zasobamy MS Excel" [Implementation of methods of simulation modeling of investment project risks by means of MS Excel]. *Biznes Inform*, no. 9 (2014): 119-124.
- Salun, M. M. "Modeliuвання optymalnykh parametriv resursnoho potentsialu promyslovoho pidpriemstva" [Modeling of optimal parameters of resource potential of industrial enterprise]. *Biznes Inform*, no. 5 (2012): 178-181.
- Skitsko, V. I. "Analiz ta modeliuвання synerhichnoho efektu lohystychnykh system mikroekonomichnoho rivnia" [Analysis and modeling of synergistic effect of logistic system of microeconomic level]. *Problemy ekonomiky*, no. 1 (2015): 242-248.
- Tarasova, O. O. "Informatyzatsiia zavdan pidvyshchennia konkurentospromozhnosti pidpriemstva za dopomohoiu zbalansovanoi systemy pokaznykiv" [Informatization problems of increase of competitiveness of the enterprise using the balanced scorecard]. *Biznes Inform*, no. 4 (2012): 172-175.
- Vinnikova, O. S., and Nazarenko, H. V. "Prohnozuvannya rezultativ zastosuvannya podatkovykh pilh na osnovi metodu imitatsiynoho modeliuвання" [The forecasting results of tax exemptions on the basis of the simulation method]. *Biznes Inform*, no. 10 (2014): 153-159.
- Zhykharevych, V. V., and Matsiuk, N. O. "Klitynno-avtomatne modeliuвання dynamiky obsiahiv prodazhiv torhivelnoho pidpriemstva" [Cell-automate modeling of the dynamics of sales of trade enterprise]. *Biznes Inform*, no. 2 (2013): 75-79.
- Zelenkov, A. V., and Bratova, O. Yu. "Vykorystannia orhanizatsiynoho ta imitatsiynoho modeliuвання dlia orhanizatsii roboty pidpriemstv hromadskoho kharchuvannya" [The use of organizational and imitation modelling for the organization of work of public catering enterprises]. *Biznes Inform*, no. 12 (2011): 100-104.