

7. Rubinstein M.E. A comparative statics analysis of risk premiums // Journal of Business, 1973. Vol. 46. P. 605-615.

1.10. Імітаційне моделювання логістичної системи малого підприємства

Постановка проблеми. Важливим напрямком у теоретичному дослідженні поточної діяльності і 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 та моделям імітаційного моделювання присвячені чисельні роботи [1 – 7]. Однак моделей де була би відображена цілісна логістична система малого підприємства на сьогодні не створено.

Метою роботи 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 методологістичному підході до моделювання процесів розвитку структури і 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 і 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. Один із аспектів цього підходу є розгалуження і поєднання всього комплексу динамічних моделей в єдиній моделі управління МП (рис. 1).

Дамо без коментарів систему рівнянь імітаційної моделі:

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

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.

Рівняння, що описує рівень запасів у збутовій фірмі, є:

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

де q_k^2 – фактичний запас у збутовій фірмі (одиниці); w_k^1 – поставки одержувані збутовий фірмою (одиниці в тиждень).

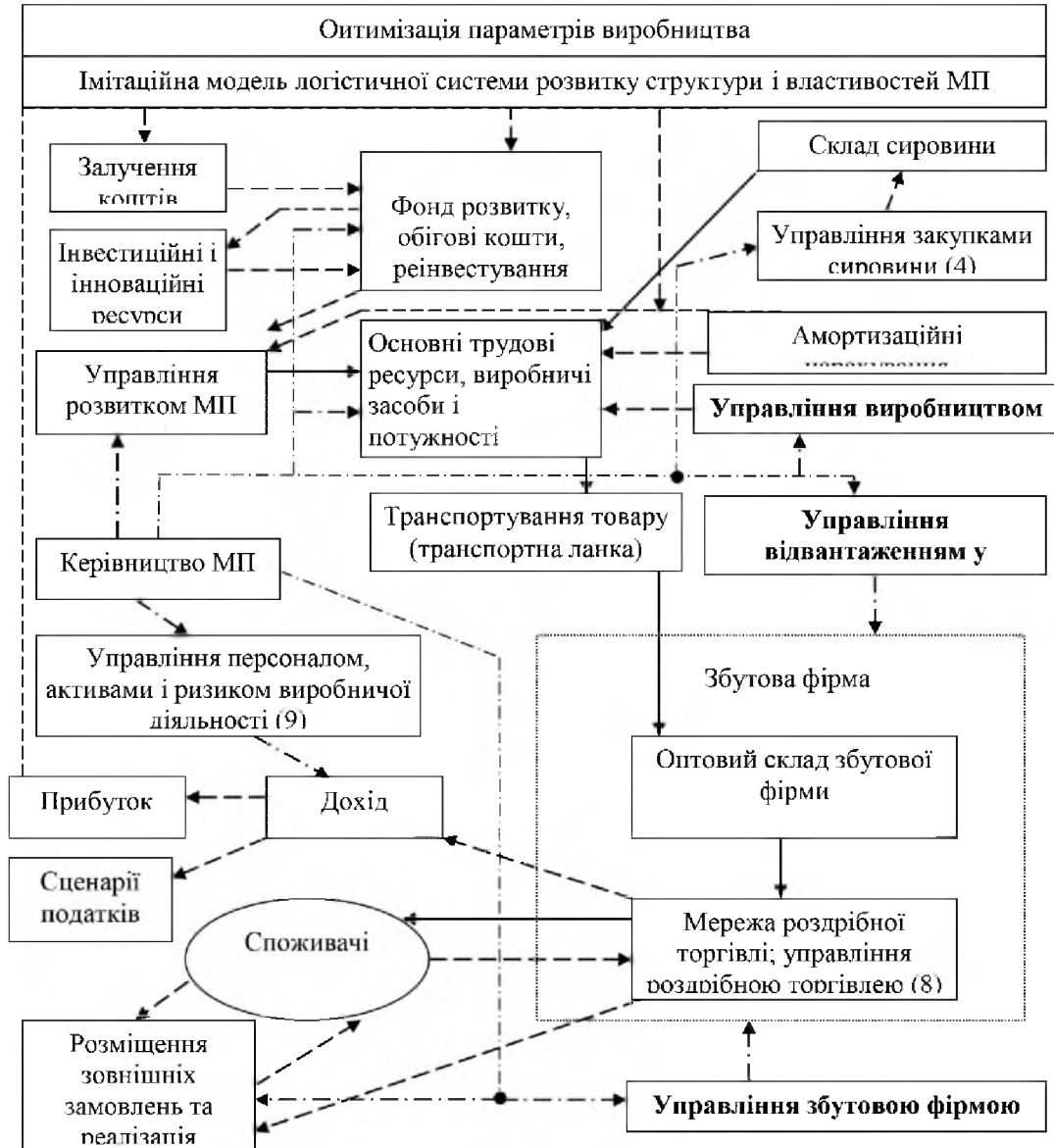


Рис. 1. Методологістичний підхід до побудови моделі логістики малого підприємства: суцільні лінії - матеріальні потоки; пунктирні лінії - грошові потоки; штрих-пунктирні лінії - інформаційні потоки й потоки управлінських рішень (зворотній зв'язок)

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

де w_k^3 – запізнювання виконання замовлень збутовою фірмою (тижні),

w_k^2 – темп відвантаження збутовою фірмою (одиниці в тиждень), що буде перевіряється, цю величину треба зіставити із граничним темпом відвантаження

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

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

Реалізоване значення темпу поставки визначається вираженням

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

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.

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 (одиниці в тиждень).

Можна використовувати найпростіший метод усереднення:

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

Таким чином, побудована математична модель (1) – (8), що зв'язує потік замовлень від покупців (або від мережі роздрібної торгівлі) із виконанням цих замовлень, для якої може бути побудована модель (рис. 3), яка є складовою частиною загальної моделі (рис. 1).

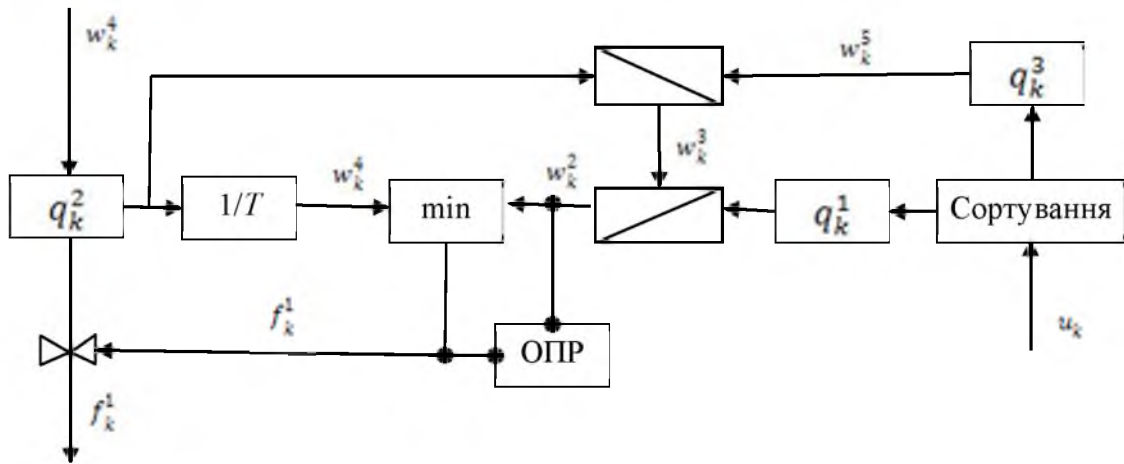


Рис. 3. Модель управління відвантаженням у збутовій фірмі

Наступне рівняння визначає установлюваний темп закупівель збутовою фірмою

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

де w_{k+1}^6 – установлюваний темп закупівель збутовою фірмою (одиниці в 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 (одиниці); w_k^8 – фактичний рівень виданих збутовою фірмою замовлень, що перебувають у каналах (одиниці); w_k^9 – нормальне для збутової фірми число невиконаних замовлень (одиниці); xw_k – змінна, що визначає наявність, або відсутність закупівель в k -ому періоді – визначається ОПР.

Для величин у правій частині рівняння (9) мають місце співвідношення:

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

де $\hat{v}_k^3$ – 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 збутову фірму (тижні).

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

де q_k^4 – замовлення в збутовій фірмі на стадії оформлення (одиниці); q_k^5 – видані збутовою фірмою замовлення на закупівлі, що перебувають в

інформаційному каналі (одиниці); q_k^6 – товари в дорозі до збутової фірми (одиниці); y_k^1 – замовлення невиконані виробництвом (одиниці).

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

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

$$w_k^{10} = \frac{q_k^4}{T_6} * FO(xz_k), \quad (14)$$

де w_k^{10} – видані збутовий фірмою замовлення на закупівлю товарів (одиниці в тиждень); xz_k – змінна, що визначає наявність, або відсутність замовлення на закупівлю товарів в k -ому періоді.

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

$$w_k^{11} = \frac{q_k^5}{T_7} * FO(xz_k), \quad (16)$$

де w_k^{11} – вимоги, одержувані виробництвом (одиниці в тиждень).

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

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

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

де f_k^3 – поставки, здійснювані із запасів виробництва (одиниці в тиждень); T_8 – запізнювання транспортування товарів у збутовій фірмі (тижні).

Як підсумок сформульованих рівнянь, на рис. 4 наведена модель управління збутовою фірмою (див. рис. 1)

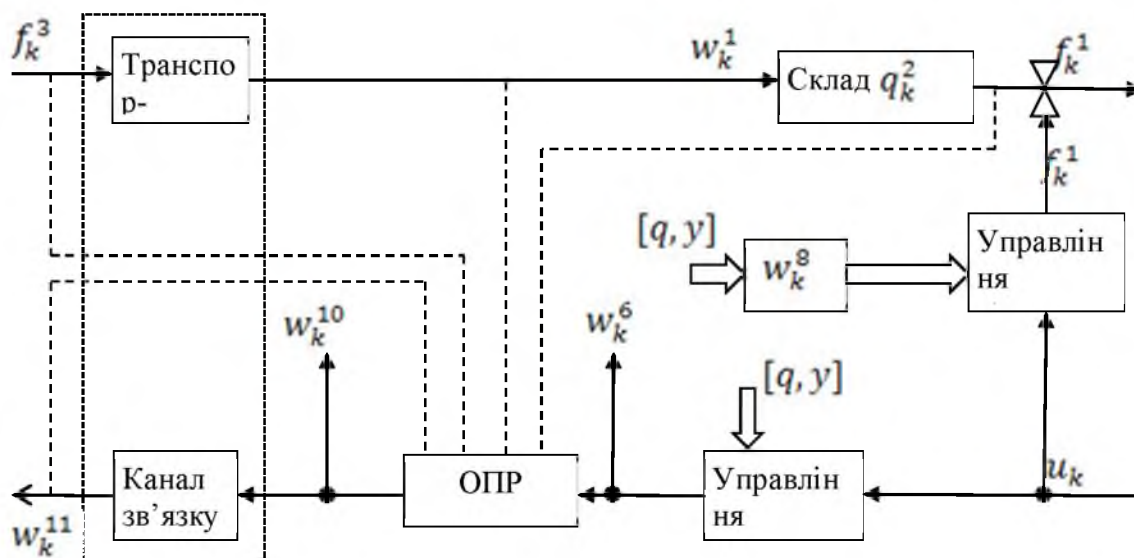


Рис. 4. Модель управління збутовою фірмою

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

Тепер розглянемо математичну модель виробництва. Рівняння для невиконаних замовлень і наявних запасів є:

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

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

де $\hat{y}_k^1$ – замовлення, невиконані виробництвом (одиниці в тиждень); $\hat{y}_k^2$ – фактичний запас на виробничому складі (одиниці в тиждень); w_k^{11} – замовлення, одержувані виробництвом (одиниці в тиждень); f_k^3 – поставки з виробничого складу (одиниці в тиждень); $\hat{v}_k^1$ – поставки товарів на склад, випуск готової продукції (одиниці в тиждень).

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

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

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

де $\hat{v}_k^2$ – темп виробничого відвантаження, що перевіряється (одиницю в тиждень); $\hat{v}_k^3$ – запізнювання виконання замовлень виробничою ланкою (тижні); $\hat{v}_k^4$ – граничний темп виробничого відвантаження (одиниці в тиждень).

Тепер запишемо вираз для темпу поставок

$$f_{k+1}^1 = \min\{\hat{v}_k^2, \hat{v}_k^4\} * FO(xt_k). \quad (23)$$

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

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

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

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

$$\hat{y}_{k+1}^3 = \left(1 - \frac{T}{t_4}\right) + \frac{T}{t_4} w11_k. \quad (26)$$

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; $\hat{v}_k^5$ – бажаний запас у виробничій ланці; k_2 – коефіцієнт пропорційності; $\hat{y}_k^3$ – усереднені вимоги до виробничий ланці.

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

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

де $\hat{v}_k^6$ – бажаний темп випуску продукції; t_5 – запізнювання регулювання запасів (і заповнення каналів) у виробничій ланці; $\hat{y}_k^2$ – бажаний рівень переданих по каналах замовлень, обумовлений потребами виробництва (одиниці); $\hat{v}_k^8$ – фактичний рівень виданих виробничою ланкою замовлень, що перебувають у каналах (одиниці); $\hat{v}_k^9$ – нормальне для виробничої ланки число невиконаних замовлень (одиниці).

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

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

де $\hat{v}_k^1$ – темп виробництва товару, що визначається у результаті рішення (одиниці в тиждень); β – константа, що характеризує граничну виробничу потужність (одиниці в тиждень); xv_k – змінна, що визначає наміри ОПР щодо виробництва товарів в k -ому періоді.

Рівняння заповнення виробничих каналів і нормального рівня невиконаних замовлень будуть мати вигляд

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

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

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

де t_6 – запізнювання оформлення замовлень у виробництві; t_7 – запізнювання, пов'язане з витратою часу на виробництво продукції; $\hat{y}_k^4$ – замовлення у виробничій ланці на стадії оформлення (одиниці).

Для перетворення інформації в розв'язок про вибір певного темпу виробництва необхідно якийсь час. Воно може бути відображене, як і в рівняннях (2.13), (2.14)

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

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

де $\tilde{v}_k^{10}$ — виробничі замовлення виробництву (одиниці в тиждень).

Далі розглянемо безпосередньо виробничий процес, одержимо

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

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

де $\tilde{y}_k^5$ — замовлення в виробництві (одиниці).

Складанням системи рівнянь для виробництва завершений формальний математичний опис логістичної системи.

Для того аби 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 східчаста зміна попиту на товар підприємства:

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

де u_i – вихідний темп попиту на товари підприємства.

Розглядаємо 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 зображена зміна часових параметрів логістичної системи протягом року (тобто $52*20=1040$ періодів) в разі, якщо на початку року попит стрибком зріс на 10% у відповідності з виразом (36).

Розрахунки на рис. 5 виконані при таких значеннях параметрів:

$$T = 0,05, T_2 = 1, t_2 = 1, \quad T_3 = 0,4, t_3 = 1, \quad T_4 = 8, t_4 = 8, \\ T_5 = 4, t_5 = 4, T_6 = 3, t_6 = 1, T_7 = 0,5, t_7 = 6, T_8 = 1, k_1 = 8, k_2 = 4.$$

В цілому характер динаміки часових параметрів на рис. 5 є той самий, як і для ВП (див. [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 в [8] це наближення має коливний характер. Ця відмінність також пов'язана з тією самою причиною.

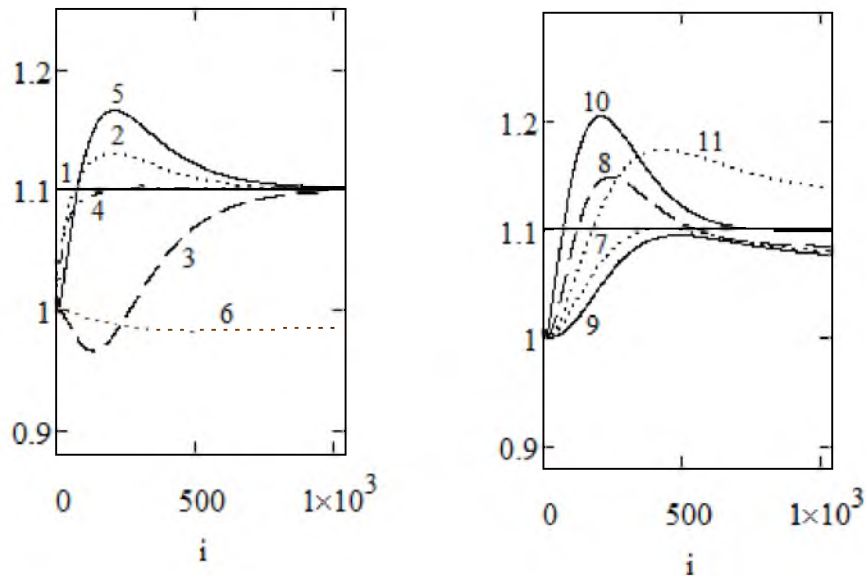


Рис. 5. Динаміка часових параметрів при східчастій зміні попиту: 1 — попит на продукцію, 2 — невиконані замовлення збутової фірми, 3 — темп відвантаження товарів збутовою фірмою, 4 — запаси продукції в збутовій фірмі, 5 — потік замовлень товарів у виробничу ланку, 6 — запізнювання поставок виробництвом, 7 — виробничі замовлення, 8 — невиконані замовлення проведення, 9- число виробів у виробництві, 10 — темп випуску продукції, 11 — запас товарів на складі

З рис. 5 видно, що темп виробництва досягає максимального значення, що на 20% перевершує початкове. Таке не завжди можливо. Розглянемо ситуацію коли у МП є резервні виробничі потужності лише у розмірі 15%. Це означає, що в рівнянні (28) константа $\beta = 1,15$. На рис. 6 показана динаміка 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 наступним:

$$M_i = (1 - kp)[(1 - kad) \cdot f1_i \cdot p \cdot T - vc1_i \cdot c \cdot p \cdot T - kS \cdot q2_i] \quad (37)$$

де kp — податок на прибуток, kad — податок на додану вартість, c — частка собівартості в вартості продукції, kS — плата за зберігання одиниці товару на збутовій фірмі протягом часу T .

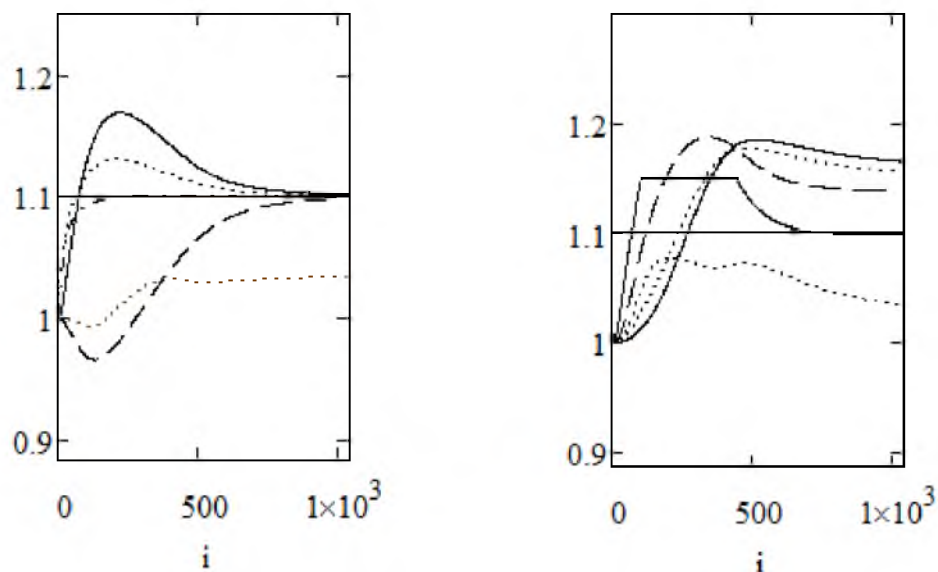


Рис. 6. Динаміка часових параметрів при східчастій зміні попиту для випадку обмеженої виробничої потужності підприємства

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

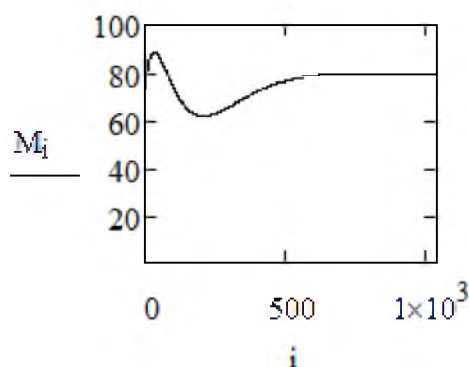


Рис. 7. Динаміка чистого прибутку протягом року

Розрахунки показують, що в разі якщо попит залишається незмінним, тоді сумарний річний чистий прибуток буде

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

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

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

З порівняння цих результатів видно, що підприємство має постійно виконувати моніторинг ринку й приймати заходи для підвищення попиту на власну продукцію.

Висновки. Імітаційна модель логістичної системи МП містить в собі методи самоорганізації діяльності МП, побудовані на економічних

параметрах: від попиту на товар та послуги до визначення темпів поставки їх споживачам, враховуючи існуючі зв'язки між динамікою цих параметрів, описані відповідними динамічними моделями, які на підставі сценарного моделювання дають можливість порівнювати економічну ефективність різних варіантів розвитку МП, прогнозувати їх розвиток і змінювати функціональну структуру управління за рахунок оновлення його елементів.

Детальне обґрунтування елементів модельного забезпечення моделей логістичної системи малого підприємства: модель управління відвантаженням у збутовій фірмі; модель управління збутовою фірмою; модель управління виробництвом, направлене на забезпечення збільшення сумарного річного чистого прибутку за рахунок пошуку оптимального зростання попиту на продукцію на початку року.

Список літератури:

1. Віннікова О. С. Прогнозування результатів застосування податкових пільг на основі методу імітаційного моделювання/ О. С. Віннікова, Г. В. Назаренко // Бізнес інформ. – 2014. – №10. – С. 153 – 159.
2. Глотов Є. О., Реалізація методів імітаційного моделювання ризиків інвестиційних проектів засобами MS Excel/ Є. О. Глотов, В. А. Череватенко // Бізнес інформ. – 2014. – №9. – С. 119 – 124.
3. Жихаревич В. В. Клітинно-автоматне моделювання динаміки обсягів продажів торговельного підприємства/ В. В. Жихаревич, Н. О. Мацюк // Бізнес інформ. – 2013. – №2. – С. 75 – 79.
4. Зеленков А. В. Використання організаційного та імітаційного моделювання для організації роботи підприємств громадського харчування/ А. В. Зеленков, О. Ю. Братова // 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 збалансованої системи показників// Бізнес інформ. – 2012. – №4. – С. 172 – 175.
8. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика): Пер. с англ. / Под ред. Д.М. Гвишиани.–М.: Прогресс, 1971. – 340 с.