

УДК 004.383.1

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.217079

## РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ ДИНАМІКИ

Солодовник Г. В., Коваленко К. А.

Об'єктом дослідження є процес визначення основних показників функціонування виробничого підприємства з використанням системної динаміки. Будь-яке підприємство з виробництва та реалізації продукції є складною соціально-економічною системою, яка тісно пов'язана з зовнішнім середовищем через вхідні та вихідні канали. Зовнішнє середовище визначає умови функціонування підприємства та може бути описано сукупністю великої кількості різних параметрів, значення яких динамічно змінюються та є принципово індетермінованими.

Окремою проблемою найчастіше стає координація та контроль за матеріальними та фінансовими потоками на виробничому підприємстві. Взаємодія фінансових коштів та матеріальних потоків, які обрані підприємством у якості основних за ринковими вимогами та специфікою діяльності, повинна бути скоординована належним чином для досягнення більш ефективної роботи підприємства. Тому задачею представленого дослідження є розробка моделі матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства з подальшою її програмною реалізацією. Призначення програмної реалізації полягає в проведенні експериментів з моделлю для визначення основних показників роботи виробничого підприємства залежно від зміни параметрів функціонування, обумовлених зовнішнім середовищем.

Все різноманіття способів моделювання, розглянутого теорією моделювання, можна умовно розділити на дві групи: аналітичне та імітаційне. Для рішення задачі даного дослідження застосовано імітаційне моделювання, яке передбачає побудову моделі з характеристиками, адекватними оригіналу, на основі певного інформаційного принципу.

В ході дослідження було побудовано модель матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства. Математичну модель потоків було розроблено за допомогою методу системної динаміки Дж. Форрестера. Також було розроблено автоматизовану систему, що є програмною реалізацією запропонованої моделі.

Розроблена в дослідженні автоматизована система промислової динаміки виробничого підприємства дозволить суттєво підвищити ефективність та наукову обґрунтованість рішень стосовно управління матеріальними та фінансовими ресурсами.

**Ключові слова:** промислова динаміка, матеріальні потоки, фінансові потоки, автоматизована система, діаграма діяльності.

## **1. Вступ**

Насьогодні світова практика прийняття складних управлінських рішень в соціально-економічних, політичних, технічних та інших системах набула принципово нової методологічної та інструментальної підтримки. Перш ніж бути реалізованими на практиці варіанти рішень повинні бути попередньо апробованими на аналогах реальних систем, тобто на моделях. Одночасно з цією тенденцією відбувається стрімкий розвиток галузі інформаційних технологій та розширення ролі цієї галузі в управлінні суспільними процесами. Це робить процеси автоматизації функцій управління каталізатором управлінського прогресу. У зв'язку з цим впровадження результатів прийняття рішень або новацій вимагає попередніх оцінок фінішних результатів за допомогою системного аналізу та імітаційного моделювання.

Підприємство з виробництва та реалізації продукції є складною системою. З позиції системного аналізу така система може бути відображена певною структурою (елементами та зв'язками між ними) та динамікою (змінами станів системи у часі). Системна динаміка – це такий підхід імітаційного моделювання, який завдяки своїм методам та інструментам дозволяє зрозуміти структуру та динаміку складних систем. За допомогою цього підходу можна отримати адекватні комп'ютерні моделі складних систем, які надалі використовуються для проектування більш ефективної організації процесу управління системою [1, 2].

Викладені факти обумовлюють актуальність розробки моделі матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства у нотації методології системної динаміки Дж. Форрестера. Актуальною також є задача автоматизації цієї моделі для проведення експериментів та визначення найкращих стратегії управління матеріальними та фінансовими ресурсами підприємства.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єктом дослідження* є процес визначення основних показників функціонування виробничого підприємства з використанням системної динаміки. Предметом дослідження є об'єктно-орієнтовані методи розробки автоматизованих систем.

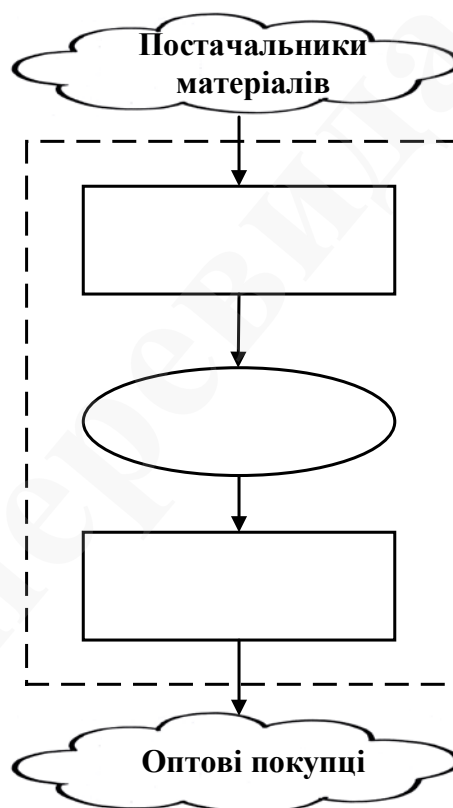
Головними характеристиками ефективного управління підприємством є надзвичайно висока ступінь складності, динамізму та невизначеності. Підприємства повинні постійно здійснювати моніторинг змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі та ефективно на них реагувати відповідним корегуванням внутрішньої організаційно-економічної структури управління підприємством [3].

Представлене дослідження базується на моделюванні динаміки підприємства, тому необхідно з'ясувати внутрішні та зовнішні фактори, які впливають на діяльність організації.

Будь-яке підприємство є відкритою системою, тому результати його функціонування напряму залежать від зовнішнього середовища, а саме від своєчасних поставок ресурсів, енергії, кадрів, а також кількості споживачів. Фактори зовнішнього середовища можна розглядати як можливості або як

загрози для підприємства, залежно від ефективності та адаптивності управління. Фактори зовнішнього середовища найчастіше класифікують за наступними групами: економічні, соціально-демографічні, технологічні, конкурентні, географічні, політичні. В даній роботі під час побудови моделей здебільшого враховані фактори перших трьох груп.

Внутрішнє середовище організації визначають внутрішні фактори – ситуаційні рушійні сили всередині організації. Основними факторами в будь-якій організації є цілі, структура, завдання, технологія, працівники та ресурси. Моделювання виробничої динаміки передбачає відображення зміни основних показників кількості ресурсів, готової продукції та фінансових засобів підприємства. Рух ресурсів на виробничому підприємстві можна подати у вигляді спрощеної концептуальної схеми (рис. 1).



**Рис. 1.** Спрощена концептуальна схема матеріальних потоків

Для формалізації опису елементів складної системи необхідно мати математичну схему відображення процесів, що враховує також дію випадкових факторів. Процес розробки формалізованої схеми досліджуваного об'єкта включає кілька етапів:

- структуризація об'єкта на окремі модулі;
- представлення кожного модуля у вигляді кінцевої множини елементів (елементарних процесів);
- відображення схеми зв'язків елементів у модулі;
- вибір математичного інструментарію для формалізованого опису роботи кожного елемента та модуля в цілому;
- формування вхідних та вихідних даних для кожного елемента та модуля;

– вибір методів математичного розрахунку елементарних процесів.

Імітаційне моделювання – це метод дослідження, за якого система, що вивчається, замінюється моделлю, що з достатньою точністю описує реальну систему формалізованими методами (наприклад, аналітичними у вигляді математичних формул). Модель розробляється з метою отримання інформації про систему. Така інформація може бути отримана лише в процесі експериментування з моделлю, яку називають імітацією. Тому для практичного застосування моделей в процесі управління недостатньо математичного опису моделі, необхідна її програмна реалізація з інтерфейсом, що враховує конкретного користувача – менеджера.

Таким чином, виникає проблема автоматизації процесу визначення основних показників функціонування виробничого підприємства залежно від зміни значень вхідних параметрів зовнішніх чинників його функціонування.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – розробка автоматизованої системи для розрахунків та візуалізації основних показників матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства з використанням системної динаміки.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Побудувати математичну модель руху матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства.
2. Визначити цілі розробки автоматизованої системи руху матеріальних та фінансових потоків відносно користувача.
3. Розробка автоматизованої системи промислової динаміки.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

В результаті аналізу існуючих рішень проблеми, що висвітлено у джерелах світової наукової періодики було виокремлено роботи [4, 5], які досліджують питання підвищення ефективності процесу управління соціально-економічними системами, але висвітлені в них рішення мають загальний характер.

Роботи [6, 7] присвячені питанням застосування моделей в процесі управління складними системами. Однак ці роботи не торкаються питань моделювання динаміки процесів виробництва.

Моделювання виробничої динаміки є предметом досліджень в [1, 8]. Автори робіт ставили за мету ознайомлення спільноти з науковими принципами методу системної динаміки, не враховуючи конкретних прикладів її застосування для імітації конкретних виробничих підприємств.

Деякі з проаналізованих робіт досліджують питання моделювання динаміки матеріальних або фінансових потоків підприємств, але сфера їх застосування надто вузька або специфічна. У [9] розроблено динамічну модель матеріального потоку з метою узгодження цього потоку з процесами виробництва. Дослідження висвітлюють питання управління інформацією про матеріальний потік для нафтохімічної промисловості, що значно звужує сферу їх застосування. Ще одним з напрямів дослідження моделей фінансових потоків є дослідження кредитних засобів та портфелів цінних паперів стосовно різних

соціально-економічних систем [10]. Існує низка робіт, що присвячені моделюванню фінансових потоків на рівні галузі або країни. Так, в [11] досліджена макроекономічна модель впливу міжнародних рушійних факторів на розвиток країн. В [12] розглянуто модель фінансових потоків, що аналізує вплив руху фінансових засобів на економічне зростання країни. Проте ці моделі не можуть бути застосовані для дослідження функціонування підприємства. В роботі [13] наведено класифікацію логістичних фінансових потоків, а також аналіз їх сутності, проте результати досліджень мають суто наукове спрямування, що ускладнює їх практичне застосування для вирішення конкретних задач управління.

З точки зору практичного застосування в процесі управління виробничим підприємством цікавими є роботи [14–16]. Дослідження у роботі [14] торкаються питань автоматизації моделювання матеріальних потоків шляхом програмної реалізації динамічної моделі, що базується на концепції мереж Петрі. Результати досліджень мають великий науковий та практичний інтерес, проте не можуть бути застосовані керівниками підприємств, що не є фахівцями в області графів. Дослідження [15] присвячені питанням імітаційного моделювання динаміки складних систем і всебічно аналізують кола задач, що можуть бути вирішені за допомогою цього методу моделювання. Робота [16] висвітлює можливості використання автоматизації імітаційних моделей в процесі управління соціально-економічними системами. Проте в згаданих дослідженнях відсутні приклади побудови моделей конкретних виробничих систем.

Висновком з аналізу літературних джерел є необхідність розробки автоматизованої системи для визначення основних показників матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства з використанням системної динаміки.

## **5. Методи дослідження**

Математична модель руху матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства була побудована за допомогою системної динаміки Дж. Форрестера. Системна динаміка – це моделювання та імітація складних динамічних соціально-економічних систем, що характеризуються розгалуженими, в загальному випадку, нелінійними структурами – контурами регулювання [1, 17].

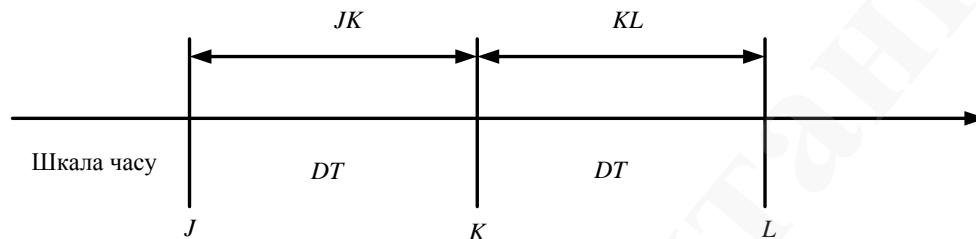
Методологія побудови моделей за Форрестером базується на загальних структурних елементах, які є придатними для моделювання практично будь-яких соціально-економічних систем:

- темпи – параметри потоків, що виходять з одних інтегруючих ланок (рівнів) і надходять в інші, викликаючи в обох групах відповідні зміни;
- рівні – регульовані об'єкти, які формально відображають змінні, що є основними показниками функціонування системи, параметри яких отримуються інтегруванням відповідних характеристик потоків;
- функції рішень – співвідношення, які відображають функціональні залежності, що існують в системі, та визначають інтенсивність вхідних і вихідних потоків (є регуляторами багатоконтурної системи управління);

– допоміжні величини – беруть активну участь у визначенні загальних характеристик;

– параметри – константи моделі.

Математичні моделі формалізуються за допомогою системи різницевих рівнянь, визначених у термінах дискретних моментів часу однакової довжини  $DT$ . Під час побудови рівнянь розглядаються три моменти часу:  $J$  – попередній,  $K$  – поточний,  $L$  – майбутній (рис. 2).



**Рис. 2.** Принцип організації системного часу в моделях Форрестера

Однією з особливостей системної динаміки Форрестера є можливість графічного опису математичних моделей за допомогою відповідних символів структурних схем.

Інструментальними засобами створення автоматизованої системи промислової динаміки є об'єктно-орієнтовані методи розробки програмних продуктів [18, 19]. Перш ніж розробляти програмну реалізацію моделі слід провести огляд існуючих аналогів.

На сьогодні існує велика кількість програмних засобів для побудови імітаційних моделей бізнес-процесів. Симулятор бізнес-процесів – це новітній веб-сервіс для імітаційного моделювання бізнес-процесів, а також розрахунку їхньої вартості й аналізу ефективності. Перевагами сервісу є наявність бази даних та безкоштовність доступу. Недоліками є відсутність адміністрування та недостатньо дружній інтерфейс. Іншим аналогом автоматизованої системи, що розробляється є система управління бізнес-процесами ELMA. Перевагами цього аналога є наявність бази даних, яка дозволяє робити запити за багатьма параметрами процесів. Недоліками є платність доступу до застосунку та недосконалість інтерфейсу. Ще одним програмним продуктом для моделювання бізнес-архітектури є застосунок Business Studio, перевагою якого є наявність бази даних. Серед недоліків Business Studio можна відмітити його платність, недостатньо інтуїтивний інтерфейс та відсутність адміністрування.

Головним недоліком наведених аналогів є відсутність візуалізації результатів розрахунків зміни основних показників матеріальних та фінансових потоків виробничого підприємства.

## **6. Результати досліджень**

Розробка математичної моделі матеріальних та фінансових потоків підприємства ґрунтується на наступних гіпотезах:

– підприємство виробляє один вид продукції, для виготовлення якої необхідно три види ресурсів;

- продукція реалізується оптовими партіями зі складу виробництва;
- прибуток підприємства складає дохід від реалізації продукції після відрахування виплат за ресурси на виготовлення продукції та основних видів податків та обов'язкових платежів.

Вихідними даними моделі є: кількість товару на складі готової продукції, оптимальна величина замовлення кожного виду ресурсів, кількість ресурсів кожного виду на складі підприємства, розмір прибутку.

Основними вхідними даними моделі є значення наведених вище змінних в початковий момент часу, а також ціна за одиницю продукції, вартість одиниці ресурсу кожного виду, розмір обов'язкових відрахувань та податків.

Період аналізу моделі, тобто перерахунку її формул, слід обирати, виходячи з інтенсивності виробництва та особливостей продукції.

Схема моделі матеріальних потоків у нотації методології системної динаміки наведена на рис. 3.

Графічним елементом у вигляді хмаринки позначаються елементи метасистеми, що є зовнішніми стосовно об'єкта управління.

Наведемо пояснення основних змінних та параметрів моделі, яким відповідають умовні позначення на схемі матеріальних потоків:

- $I_j$  – параметр, що визначає розмір витрат на зберігання одиниці ресурсів кожного виду  $j=1 \dots 3$ ;

- $Y_j$  – параметр, що визначає розмір витрат на постачання одиниці ресурсів кожного виду;

- $M_j^{norm}$  – допоміжна змінна, що визначає оптимальний розмір замовлення ресурсів кожного виду;

- $m_j^{скл}$  – темп надходження ресурсу кожного виду на склад виробника зі складу постачальника (після оплати ресурсу);

- $M_j^{скл}$  – змінна рівня, що визначає кількість ресурсу кожного виду на складі підприємства;

- $m_j^{вир}$  – темп надходження ресурсу кожного виду у виробництво (згідно з потребами виробничого процесу);

- $\varepsilon_j$  – параметр, що визначає обсяг ресурсу кожного виду, необхідний для виробництва однієї одиниці продукції;

- $\rho_{max}^{об}$  – параметр, що визначає максимальну продуктивність обладнання за поточної кількості одиниць устаткування на підприємстві;

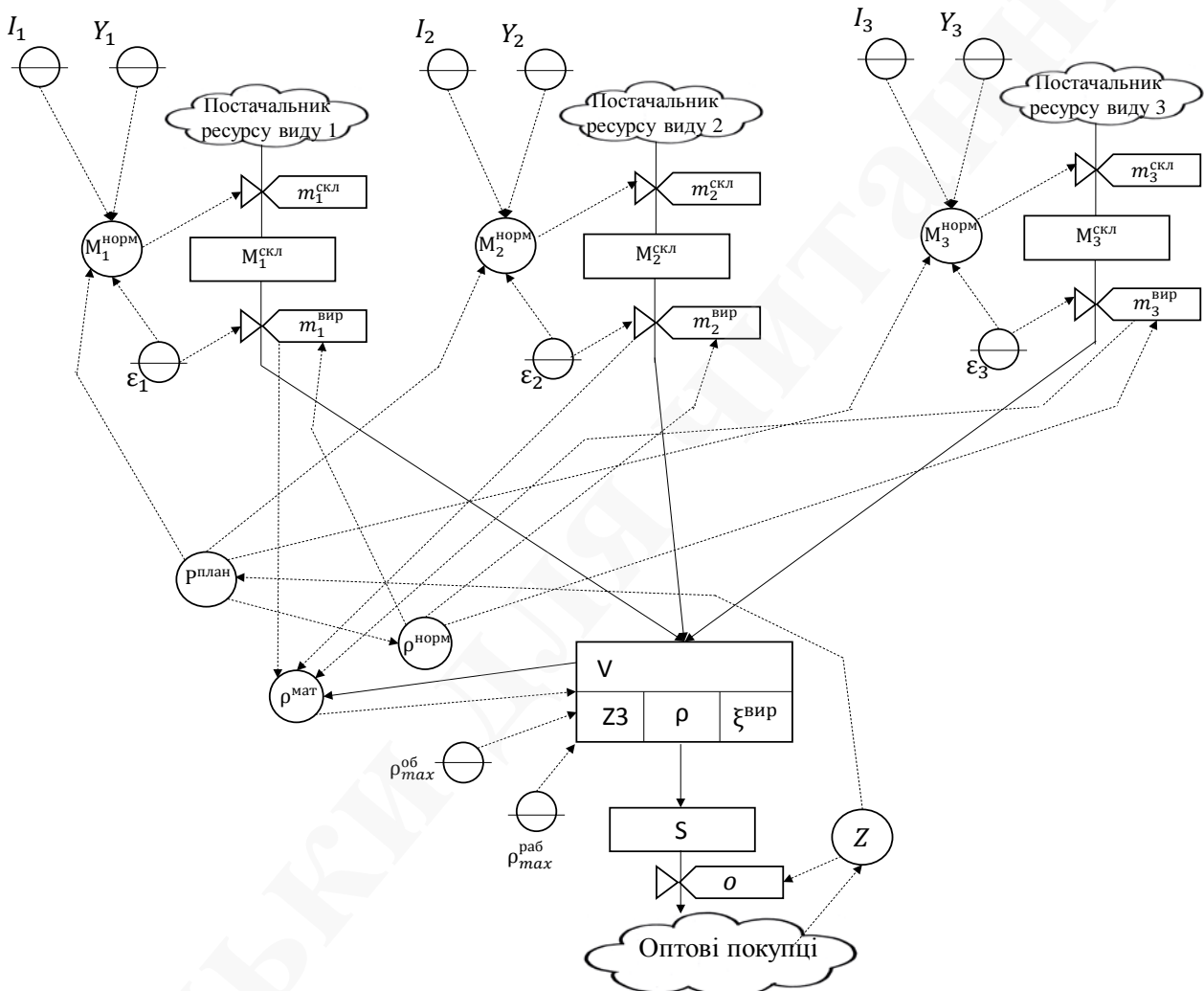
- $\rho_{max}^{раб}$  – параметр, що визначає максимальну продуктивність робітників за кількістю робітників, зайнятих на підприємстві на даний момент;

- $R^{план}$  – допоміжна змінна, що визначає загальну кількість товару, який планується реалізувати на наступному етапі планування;

- $V$  – змінна рівня, що визначає кількість продукції, яка знаходиться у виробництві;

- $Z$  – допоміжна змінна, що визначає кількість товару, що замовили оптові покупці;

- $O$  – темп відвантаження товару оптовим покупцям;
- $\rho^{mat}$  – допоміжна змінна, що визначає рівень надходження матеріалів на виробництво;
- $\rho^{norm}$  – допоміжна змінна, що визначає нормальний темп виробництва;
- $S$  – кількість товару, що знаходиться на складі підприємства.



**Рис. 3.** Схема моделі матеріальних потоків

Зауважимо, що рівень кількості продукції, яка знаходиться у виробництві  $V$  є змінною, яка визначається за допомогою рівнянь запізнювання третього порядку ( $Z3$ ). Запізнювання характеризує процес перетворення, в результаті якого на основі заданого темпу вхідного потоку ( $\rho$ ) встановлюється темп потоку на виході. Запізнювання є специфічним рівнем, вихідний потік якого залежить від вмісту рівня та деякої константи ( $\xi^{вир}$ ), яка визначає тривалість запізнювання. Математичний запис запізнювання третього порядку є системою з шести рівнянь, три з яких є рівняннями рівнів, а три – темпів.

Темп надходження товару оптовим покупцям визначається формулою:



$$O = \frac{Z}{\tau}, \quad (1)$$

де  $\tau$  – параметр  $t$ -класу, який визначає період між розв'язаннями рівнянь математичної моделі матеріальних та фінансових потоків.

Нормальний темп виробництва:

$$\rho^{норм}(t) = \frac{P^{план}(t - \tau) - S(t)}{\tau}, \quad (2)$$

де  $S(t)$  – кількість товару, що знаходиться на складі підприємства в поточний період часу;  $P^{план}(t - \tau)$  – загальна кількість товару, який планується реалізувати на наступному етапі планування.

Оптимальний розмір замовлення за критерієм мінімізації сукупних витрат на зберігання і повторення замовлення розраховується за формулою Вільсона [20]. Оптимальний розмір замовлення ресурсів кожного виду на поточному етапі функціонування підприємства:

$$M_j^{норм}(t) = \sqrt{\frac{2Y_j \rho^{норм}(t) \varepsilon_j(t)}{I_j}}. \quad (3)$$

Формула кількості товару на складі готової продукції на поточному етапі визначається формулою:

$$S(t) = S(t - \tau) + \tau(\rho(t) - o^{ном}(t)), \quad (4)$$

де  $S(t - \tau)$  – кількість товару на складі готової продукції в попередньому періоді.

Формула рівня, що визначає кількість ресурсу кожного виду на складі підприємства, має вигляд:

$$M_j^{скл}(t) = M_j^{скл}(t - \tau) + \tau \cdot (m_j^{скл}(t) - m_j^{вир}(t)), \quad (5)$$

де  $M_j^{скл}(t - \tau)$  – рівень кількості ресурсу кожного виду на складі підприємства в попередньому періоді.

Темп надходження матеріалу на склад виробника зі складу постачальника:

$$m_j^{скл} = \begin{cases} \frac{M_j^{норм}}{\tau}, & \text{якщо } M_j^{заб}(t) \geq M_j^{норм}, \\ \frac{M_j^{об}(t)}{\tau}, & \text{якщо } M_j^{заб}(t) < M_j^{норм}, \end{cases} \quad (6)$$

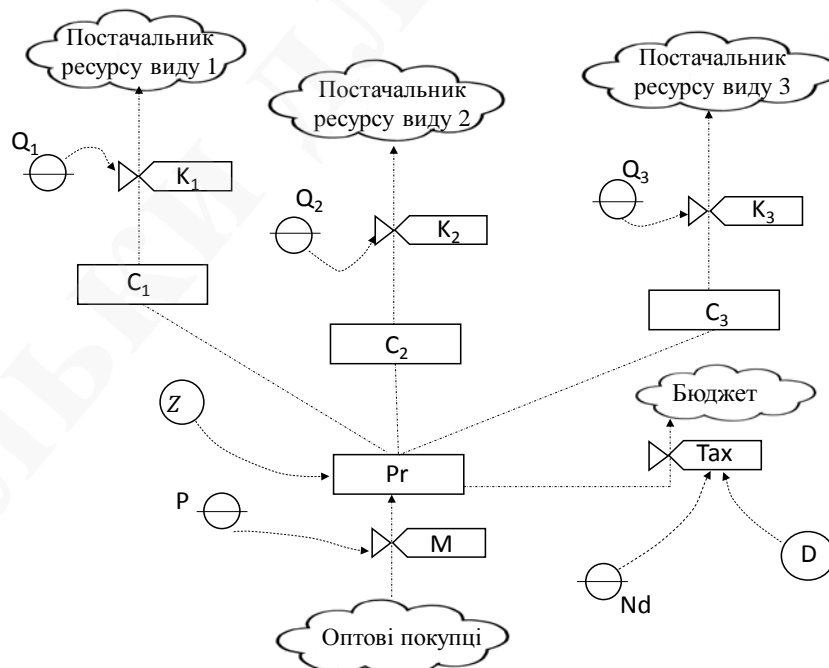
де  $M_j^{зab}$  – кількість ресурсу кожного виду, що забезпечена коштами (визначається під час експерименту з моделлю фінансових потоків).

Метою моделювання фінансових потоків є визначення розміру прибутку, тобто тієї кількості коштів, яку підприємство може на свій розсуд розподіляти між своїми потребами, наприклад, на придбання нового обладнання, підвищення кваліфікації робітників або інші заходи підвищення конкурентоспроможності.

Під час аналізу господарської діяльності підприємства чистий прибуток визначається як валовий прибуток після виплати податку на прибуток. У свою чергу валовий прибуток дорівнює різниці між сумою, отриманою від реалізації товару, і сумою, яка визначає собівартість реалізованої партії товару. Витрати, які включаються до собівартості товару, можуть бути представлені наступним переліком:

- оплата за сировину та матеріали;
- оплата праці основних робітників;
- оплата праці адміністративно-управлінського персоналу та інженерно-технічних працівників;
- оплата амортизаційних витрат;
- оплата оренди будівель, виробничих і торговельних площ, устаткування;
- оплата комерційних витрат [20].

Схема моделі фінансових потоків наведена рис. 4.



**Рис. 4.** Схема моделі фінансових потоків

Надамо пояснення основних змінних та параметрів моделі, яким відповідають умовні позначення на схемі фінансових потоків:

- $Q_j$  – параметр, що визначає питому вартість ресурсів кожного виду  $j=1 \dots 3$  на одиницю товару;
- $K_j$  – темп надходження коштів постачальникам ресурсів;

- $C_j$  – змінна рівня, що визначає загальну кількість фінансових засобів, сплачених за ресурс кожного виду;
- $Pr$  – змінна рівня, що визначає прибуток підприємства;
- $M$  – темп надходження коштів від оптових покупців;
- $Nd$  – параметр, що визначає розмір податку на дохід підприємства;
- $D$  – допоміжна змінна, що визначає дохід підприємства від реалізації продукції (визначається на підставі експериментів з моделлю матеріальних потоків);
- $P$  – параметр, що визначає ціну одиниці продукції;
- $Tax$  – темп обов'язкових відрахувань до бюджету.

Для побудови моделі слід використати наступні формули.

1. Формула прибутку:

$$Pr(t) = Pr(t - \tau) + D \cdot (1 - Nd) - Z_p - \sum_{i=1}^n C_j - Z(t) \cdot \sum_{i=1}^n I_j \cdot \varepsilon_j, \quad (7)$$

де  $Pr(t - \tau)$  – рівень прибутку підприємства у попередньому періоді;  $Pr(t)$  – рівень прибутку підприємства у поточному періоді;  $Z_p$  – параметр моделі, що визначає розмір заробітної плати працівників;  $n$  – кількість постачальників ресурсів ( $n=3$ ).

2. Формула темпу надходження коштів від оптових покупців:

$$M(t) = \frac{Z(t) \cdot P}{\tau}. \quad (8)$$

3. Темп надходження коштів постачальникам продукції визначається за формулою:

$$K_j(t) = \frac{M_j^{норм} \cdot Q_j}{\tau}, \quad (9)$$

тоді змінна рівня, що визначає загальну кількість фінансових засобів, сплачених за ресурс кожного виду визначатиметься формулою:

$$C_j(t) = C_j(t - \tau) + K_j(t). \quad (10)$$

Під час експериментів з моделлю крім основних вхідних даних, що описують вплив зовнішнього середовища на роботу підприємств, користувач може варіювати інші параметри, наприклад, ціну на продукцію або продуктивність робітників.

Автоматизація роботи наведеної моделі дозволить користувачеві оцінювати функціонування матеріальної та фінансової складових підприємства за різних сценаріїв змін зовнішніх та внутрішніх чинників. Цілі розробки автоматизованої системи відносно користувачів наступні:

- можливість створювати та вирішувати задачі знаходження значень основних показників функціонування виробничого підприємства;
- можливість отримання візуалізації розрахунків у вигляді графіків та схем матеріальних та фінансових потоків;
- можливість зберігати задачі для подальшого редагування;
- можливість адміністрування користувачів.

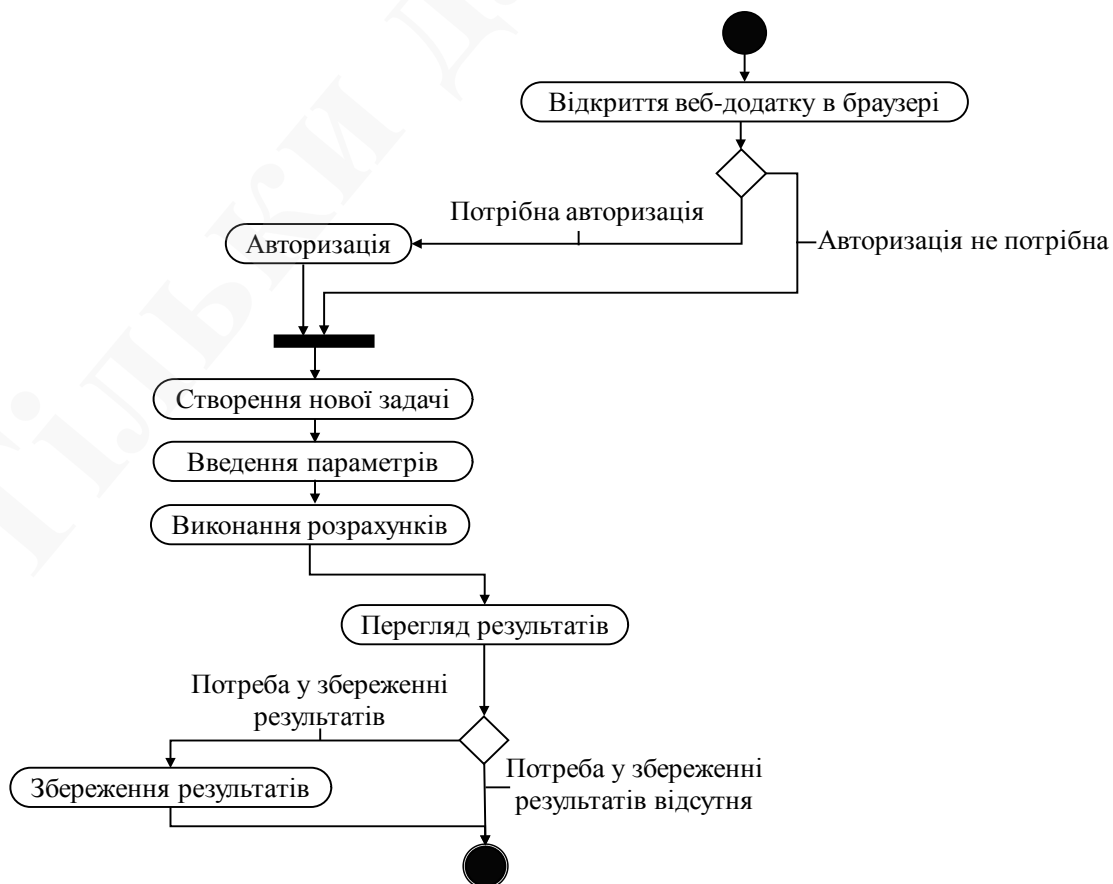
У автоматизованій системі можуть бути наступні класи людей (організацій або інших систем програмних пристроїв), що взаємодіють з системою, яка розробляється:

а) гість, який має можливості: вирішувати задачі розрахунку основних показників функціонування виробничого підприємства за допомогою автоматизованої системи з використанням моделі матеріальних потоків, зареєструватися та авторизуватися;

б) авторизований користувач, який може: вирішувати задачі розрахунку основних показників функціонування виробничого підприємства за допомогою автоматизованої системи з використанням моделі матеріальних та фінансових потоків, зберігати створенні задачі для подальшого використання або редагування, переглядати статистику за задачами;

в) адміністратор, який може: управляти даними задач, управляти користувачами.

Для кожного класу побудовано діаграму діяльності. На рис. 5, для прикладу, наведемо діаграму діяльності авторизованого користувача.



**Рис. 5.** Діаграма діяльності авторизованого користувача

База даних автоматизованої системи складається з п'яти таблиць:

- 1) таблиці вхідних даних матеріальної моделі (initial\_m);
- 2) таблиці вхідних даних фінансової моделі (initial\_f);
- 3) таблиці вихідних даних матеріальної моделі (output\_m);
- 4) таблиці вихідних даних фінансової моделі (output\_f);
- 5) таблиці облікових записів користувачів (user).

Під час розробки автоматизованої системи були використані наступні основні класи:

- class SiteController (клас для роботи з головною сторінкою сайту та сторінкою контактів);
- abstract class AdminBase (містить загальну логіку для контролерів, які використовуються в панелі адміністратора);
- class User (клас для роботи з користувачами);
- class AdminUserController (керування користувачами в панелі адміністратора);
- class UserController (контролер для роботи з користувачами);
- class CabinetController (контролер для роботи з кабінетом користувача);
- class Materials (клас для роботи з матеріальними потоками);
- class MaterialsController (контролер для роботи з матеріальними потоками, що містить розрахунки моделі);
- class Result\_materialsController (контролер для роботи зі сторінкою результатів моделі матеріальних потоків);
- class Finance (клас для роботи з фінансовими потоками);
- class FinanceController (контролер для роботи з фінансовими потоками, що містить розрахунки моделі);
- class Result\_financeController (контролер для роботи зі сторінкою результатів моделі фінансових потоків).

Робота з автоматизованою системою починається з головної форми (рис. 6).

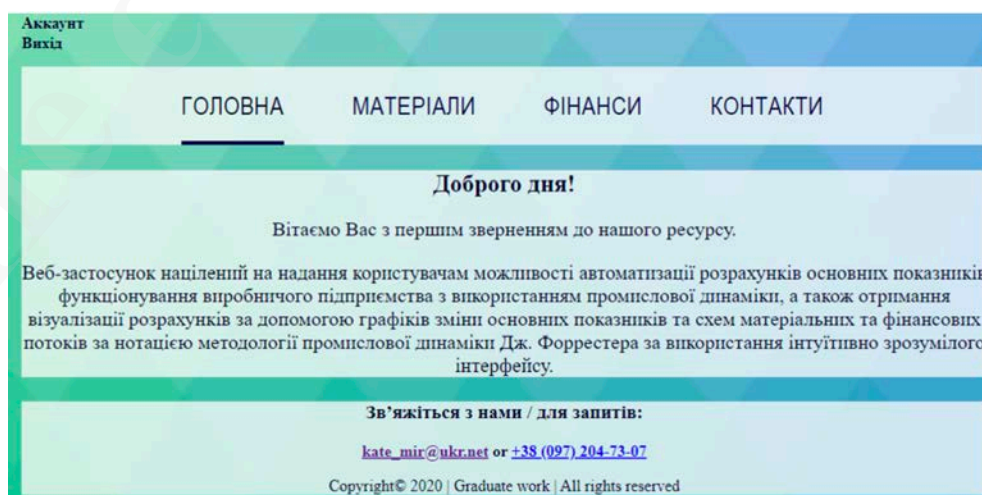


Рис. 6. Екранна форма головної сторінки

Кнопка *Акаунт/Вхід* дозволяє користувачеві авторизуватися. Пункт меню *Матеріали* виводить на екран сторінки з запитом вхідних даних та

результатами роботи системи після проведення розрахунків за моделлю матеріальних потоків. Аналогічно працює пункт меню *Фінанси* стосовно моделі фінансових потоків. Пункт меню *Контакти* надає користувачеві інформацію про розробників системи. Посилання внизу екрана дозволяє відправити запит до адміністратора системи.

В результаті проведення імітаційного експерименту користувачеві надається сторінка, що містить:

- графічну інтерпретацію моделі матеріальних або фінансових потоків, представлену на рис. 3 та рис. 4;

- кількісні значення показників функціонування підприємства на кінець періоду планування стосовно руху матеріальних потоків (оптимальний розмір замовлення, нормальний темп виробництва та ін.) або фінансових потоків (темپ надходження коштів від покупців та ін.);

- таблиці, що містять зміну значень основних показників протягом всього періоду планування по тижнях для моделі матеріальних потоків (темپ відвантаження товару покупцям, кількість готової продукції на складі) або для моделі матеріальних потоків (дохід, прибуток);

- графіки значень основних показників функціонування по тижнях за весь період планування.

В ході подальшого удосконалення автоматизованої системи планується додати пункт меню *Довідка*, який буде містити інструкції керівництва користувача з основних принципів роботи з системою.

## **7. SWOT-аналіз результатів дослідження**

*Strengths.* Розроблена автоматизована система має наступні переваги:

- надає користувачеві можливість розрахунку основних показників руху матеріальних та фінансових потоків за різних сценаріїв зміни попиту та інших чинників зовнішнього середовища;

- надає графічне та табличне представлення результатів, а також графічне представлення моделі;

- надає можливості збереження та редагування отриманих рішень.

*Weaknesses.* Слабкими сторонами автоматизованої системи є:

- обмеженість кількості ресурсів, задіяних у виробництві товару;

- відсутність реалізації моделювання роздрібної ланки торгівлі;

- укрупнене урахування джерел обов'язкових відрахувань.

*Opportunities.* Застосування розробленої автоматизованої системи на практиці дозволить скоротити час на прийняття управлінських рішень стосовно виробничої діяльності підприємства та підвищить їх наукову обґрунтованість. Автоматизована система надає користувачеві можливості наочного перегляду результатів роботи підприємства залежно від змін основних зовнішніх та деяких внутрішніх чинників функціонування.

*Threats.* Загрози роботі системи можуть проявлятися через втручання вірусів, відмову апаратних засобів, необізнаність користувачів стосовно предметної галузі роботи системи, несумлінне виконання обов'язків адміністратором. Подальше вдосконалення автоматизованої системи промислової динаміки передбачає додання

можливостей, що здатні зменшити загрози необізнаності користувачів та недосконалості роботи адміністратора системи.

## **8. Висновки**

1. В результаті досліджень було визначено основні параметри функціонування виробничого підприємства. Побудовано модель руху матеріальних та фінансових потоків, яка відбиває зміну значень цих параметрів за можливих змін чинників зовнішнього середовища. Модель побудовано на підставі методу системної динаміки Дж. Форрестера. Розроблена модель дозволяє за допомогою лінійних рівнянь описувати динаміку матеріальних та фінансових потоків підприємства, що значно спрощує її подальшу програмну реалізацію. Також за допомогою розробленої моделі користувач отримує можливість графічного відображення побудованої математичної моделі, що значно підвищує його довіру до розрахунків та підвищує обізнаність у процесах руху матеріальних та фінансових ресурсів.

2. На підставі огляду програмних продуктів, що вирішують аналогічні завдання підтримки управлінських рішень, було сформульовано цілі розробки автоматизованої системи руху матеріальних та фінансових потоків відносно користувача. Такими цілями є надання наступних можливостей:

- створення та розв'язання задач знаходження значень основних показників функціонування виробничого підприємства;
- отримання візуалізації розрахунків у вигляді графіків та схем матеріальних та фінансових потоків;
- зберігання задач з наступним їх редагуванням;
- адміністрування користувачів.

Реалізація наведених цілей в розробленій автоматизованій системі є її перевагами відносно розглянутих аналогів.

3. На останньому етапі досліджень було розроблено автоматизовану систему промислової динаміки. За допомогою методів об'єктно-орієнтованого програмування було побудовано діаграми діяльності для кожного з класів користувачів. Виокремлено клас неавторизованих користувачів, яким надано можливість здійснювати розрахунки лише за моделлю матеріальних потоків. Виокремлено також клас авторизованих користувачів, до можливостей яких додано розрахунки за моделлю фінансових потоків, збереження та редагування результатів розрахунків. Окремим класом користувачів є адміністратор, який має доступ до перегляду та редагування облікових записів користувачів системи. Побудовані діаграми діяльності забезпечили подальшу коректну розробку функціоналу автоматизованої системи та написання програмного коду.

В ході досліджень було розроблено базу даних для збереження облікових записів користувачів та результатів розрахунків за їх задачами, а також класи та контролери для реалізації роботи моделі та інтерфейсу системи. Автоматизація процесу розрахунків за створеною імітаційною моделлю реалізована у середовищі розробки Visual Studio, мовою програмування PHP за використання мови розмітки гіпертексту HTML та мови стилю сторінок CSS.

Впровадження автоматизованої системи промислової динаміки у систему управління підприємством підвищить його конкурентоспроможність за рахунок ефективності та наукової обґрунтованості рішень.

### Література

1. Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 982.
2. Rassokha, I. M. (2011). *Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen*. Kharkiv: KhNAMH, 76.
3. Miziuk, B. M. (2009). *Osnovy stratehichnoho upravlinnia*. Lviv: Mahnoliia, 544.
4. Negulescu, O., Doval, E. (2014). The Quality of Decision Making Process Related to Organizations' Effectiveness. *Procedia Economics and Finance*, 15, 858–863. doi: [http://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00548-6](http://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00548-6)
5. Tohidi, H., Jabbari, M. M. (2012). Decision role in management to increase effectiveness of an organization. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 31, 825–828. doi: <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.149>
6. Akdere, M. (2011). An analysis of decision-making process in organizations: Implications for quality management and systematic practice. *Total Quality Management & Business Excellence*, 22 (12), 1317–1330. doi: <http://doi.org/10.1080/14783363.2011.625180>
7. Bolle-Reddat, B., Dumora, R. (2016). The Role of Models in Management Decision. *Modelling in Life Insurance – A Management Perspective*, 7, 130–141. doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-319-29776-7\\_11](http://doi.org/10.1007/978-3-319-29776-7_11)
8. Winter, S. G., Kaniovski, Y. M., Dosi, G. (2000). Modeling industrial dynamics with innovative entrants. *Structural Change and Economic Dynamics*, 11 (3), 255–293. doi: [http://doi.org/10.1016/s0954-349x\(99\)00010-7](http://doi.org/10.1016/s0954-349x(99)00010-7)
9. Li, D., Liu, L., Zhu, W., Rong, G. (2008). Material-flow Modeling Technology and Its Application in Manufacturing Execution Systems of Petrochemical Industry. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16 (1), 71–78. doi: [http://doi.org/10.1016/s1004-9541\(08\)60040-3](http://doi.org/10.1016/s1004-9541(08)60040-3)
10. Lim, G. C. (1991). Estimating portfolio models from financial flow data: An analysis of the demand for liabilities, real assets and financial assets by the household sector. *Economic Modelling*, 8, 219–224. doi: [http://doi.org/10.1016/0264-9993\(91\)90016-h](http://doi.org/10.1016/0264-9993(91)90016-h)
11. Mody, A., Taylor, M. P., Kim, J. Y. (2001). Modelling fundamentals for forecasting capital flows to emerging markets. *International Journal of Finance & Economics*, 6 (3), 201–216. doi: <http://doi.org/10.1002/ijfe.159>
12. Combes, J.-L., Kinda, T., Ouedraogo, R., Plane, P. (2019). Financial flows and economic growth in developing countries. *Economic Modelling*, 83, 195–209. doi: <http://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.02.010>
13. Sumets, O. M., Kyzym, M. O., Syromyatnikov, P. S., Kozureva, O. V., Tsvirko, O. O. (2019). Financial flows in logistics systems of production enterprises. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 3 (30), 165–175. doi: <http://doi.org/10.18371/fcaptp.v3i30.179529>



14. Ladiges, J., Fulber, A., Arroyo, E., Fay, A., Haubeck, C., Lamersdorf, W. (2015). Learning material flow models for manufacturing plants from data traces. *2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. doi: <http://doi.org/10.1109/indin.2015.7281750>
15. Suprunenko, O. A. (2013). Paradigms of simulation modeling in studying complex parallel systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (65)), 63–67. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18353>
16. Sheshasaayee, A., Bhargavi, K. (2017). A study of automated decision making systems. *Research Inventy: International Journal of Engineering And Science*, 7, 28–31.
17. Solodovnyk, H. V. (2016). *Instrumentalni zasoby modeliuвання sotsialno-ekonomichnykh system*. Kharkiv: Rozhko S. H., 122.
18. Booch, G., Maksimchuk, R. A., Engle, M. W., Young, B. J., Conallen, J., Houston, K. A. (2007). *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*. Addison-Wesley Professional, 720.
19. Rosenberg, D., Scott, K. (2007). *Use Case Driven Object Modeling with UML: A Practical Approach*. Addison-Wesley Professional, 188. doi: <http://doi.org/10.1007/978-1-4302-0369-8>
20. Ivanilov, O. S. (2009). *Ekonomika pidpriemstva*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 728.