

**Державний торговельно-економічний університет**

**Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем**

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**«Розробка імітаційної моделі промислового підприємства»**

Студента 4 курсу, 8 групи,  
спеціальності  
122 «Комп'ютерні науки»

Кашук Іларіон  
Олександрович

*підпис студента*

Науковий керівник  
старший викладач кафедри

Селіванова Анна  
Віталіївна

*підпис керівника*

Гарант освітньої програми  
кандидат технічних наук, доцент

Демідов Павло  
Георгійович

*підпис керівника*

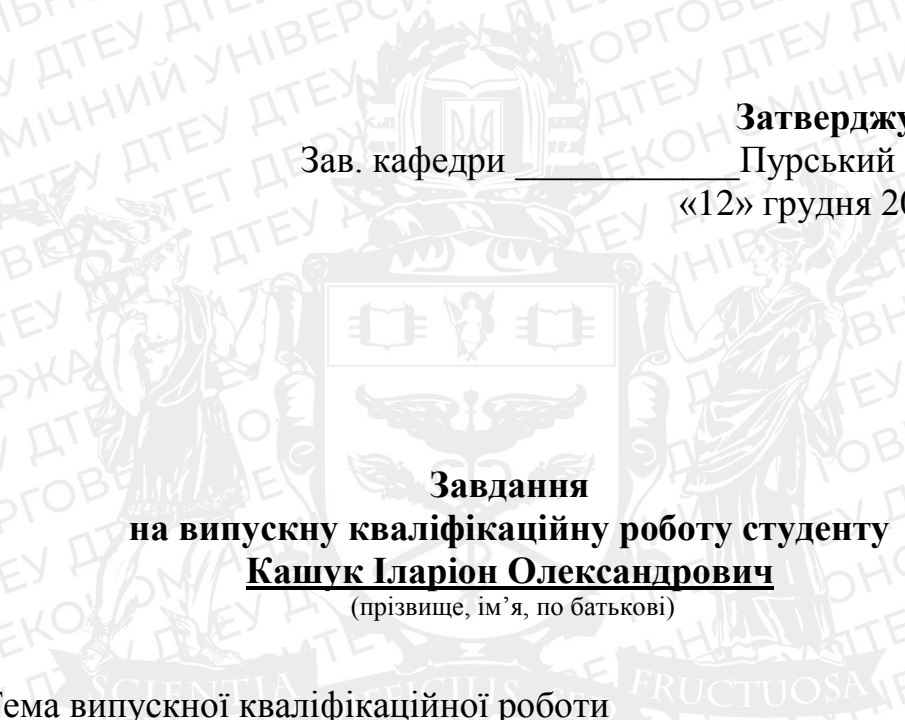
**Київ 2023**

**Державний торговельно-економічний університет**

Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем  
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

**Затверджую**  
Пурський О.І.  
«12» грудня 2022 р.



**Завдання**  
**на випускню кваліфікаційну роботу студенту**  
**Кашук Іларіон Олександрович**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи  
«Розробка імітаційної моделі промислового підприємства»

Затверджена наказом ректора від 9 грудня 2022 р. №3332

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 30 травня 2023 р.

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи

*Мета роботи:* Розробка імітаційної моделі промислового підприємства

*Об'єкт дослідження:* процеси функціонування промислового підприємства

*Предмет дослідження:* інформаційні технології імітаційного моделювання

4. Перелік графічного матеріалу рисунки, таблиці

---

---

---

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів, за якими здійснюється консультування:

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали)	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Селіванова А.В.	15.12.2022	15.12.2022
2	Селіванова А.В.	15.12.2022	15.12.2022
3	Селіванова А.В.	15.12.2022	15.12.2022

6. Зміст випускної кваліфікаційної роботи (перелік питань за кожним розділом)

### ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика функціонування промислових підприємств

#### 1.1. Сучасний стан функціонування промислових підприємств

#### 1.2. Аналіз особливостей діяльності промислових підприємств

#### 1.3. Інформаційні технології імітаційного моделювання

### РОЗДІЛ 2. Розробка моделі промислового підприємства

#### 2.1. Специфіка функціонування промислових підприємств

#### 2.2. Розробка діаграм взаємодій

#### 2.3. Розробка діаграм прецедентів

### РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі промислового підприємства

#### 3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей

#### 3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

#### 3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

### ВИСНОВКИ

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## 7. Календарний план виконання роботи

№ Пор.	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	
		За планом	фактично
1	2	3	4
1	<i>Вибір теми випускної кваліфікаційної роботи</i>	04.10.2022	04.10.2022
2	<i>Розробка та затвердження завдання на випускну кваліфікаційну роботу</i>	15.12.2022	15.12.2022
3	<i>Вступ</i>	03.02.2023	03.02.2023
4	<i>РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика функціонування промислових підприємств</i>	28.02.2023	28.02.2023
5	<i>РОЗДІЛ 2. Розробка моделі промислового підприємства</i>	06.04.2023	06.04.2023
6	<i>РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі промислового підприємства</i>	12.05.2023	12.05.2023
7	<i>Висновки</i>	15.05.2023	15.05.2023
8	<i>Здача випускної кваліфікаційної роботи на кафедрі науковому керівнику</i>	30.05.2023	30.05.2023
9	<i>Попередній захист випускної кваліфікаційної роботи</i>	31.05.2023 - 01.06.2023	31.05.2023 - 01.06.2023
11	<i>Виправлення зауважень, зовнішнє рецензування випускної кваліфікаційної роботи</i>	02.06.2023	02.06.2023
12	<i>Представлення готової зшитої випускної кваліфікаційної роботи на кафедрі</i>	05.06.2023	05.06.2023
13	<i>Публічний захист випускної кваліфікаційної роботи</i>	За розкладом роботи ЕК	

8. Дата видачі завдання «15» грудня 2022 року

9. Керівник випускної кваліфікаційної роботи Селіванова А.В.  
(прізвище, ініціали, підпис)

10. Гарант освітньої програми Демідов П.Г.  
(прізвище, ініціали, підпис)

11. Завдання прийняв до виконання студент-дипломник Кашук І.О.  
(прізвище, ініціали, підпис)

## 12. Відгук керівника випускної кваліфікаційної роботи

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

*(підпис, дата)*

## 13. Висновок про випускню кваліфікаційну роботу

Випускна кваліфікаційна робота студента Кашук І.О.

*(прізвище, ініціали)*

може бути допущена до захисту в екзаменаційній комісії.

Гарант освітньої програми \_\_\_\_\_

Демідов П.Г.

*(підпис, прізвище, ініціали)*

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Пурський О.І.

*(підпис, прізвище, ініціали)*

« \_\_\_\_\_ » 2023 р.

## **Анотація**

У випускній кваліфікаційній роботі розроблено та реалізовано імітаційну модель промислового підприємства. Проаналізовано сучасний стан промислових підприємств та особливості їх функціонування. Визначено переваги та недоліки інформаційних технологій імітаційного моделювання, та специфіку їх застосування для різних досліджень. Реалізована модель промислового підприємства розроблена за допомогою інструментів системної динаміки, та відображає показники використання трудових ресурсів, виробництва, зберігання товарів. Імітаційна модель та оптимізаційний експеримент реалізовані в програмному середовищі AnyLogic.

Ключові слова: імітаційна модель, промислове підприємство, імітаційне моделювання, системна динаміка.

## **Abstract**

In the graduation qualification work, a simulation model of an industrial enterprise was developed and implemented. The current state of industrial enterprises and the peculiarities of their functioning are analyzed. The advantages and disadvantages of information technologies of simulation modeling and the specifics of their application for various studies are determined. The implemented model of the industrial enterprise was developed with the help of system dynamics tools, and reflects indicators of the use of labor resources, production, and storage of goods. The simulation model and the optimization experiment are implemented in the AnyLogic software environment.

Key words: simulation model, industrial enterprise, simulation modeling, system dynamics.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика функціонування промислових підприємств.....	10
1.1. Сучасний стан функціонування промислових підприємств.....	10
1.2. Аналіз особливостей діяльності промислових підприємств .....	14
1.3. Інформаційні технології імітаційного моделювання .....	23
РОЗДІЛ 2. Розробка моделі промислового підприємства .....	29
2.1. Специфіка функціонування промислових підприємств .....	29
2.2. Розробка діаграм взаємодій .....	33
2.3. Розробка діаграм прецедентів.....	36
РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі промислового підприємства.....	39
3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей.....	39
3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic .....	42
3.3. Проведення оптимізаційного експерименту .....	49
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку економіки характеризується конкуренцією, що посилюється, швидкістю зміни зовнішнього середовища підприємства, змушуючи компанії все більше уваги приділяти стратегічному управлінню, оскільки оптимізації оперативних бізнес-процесів стає недостатньо для досягнення успіху в конкурентній боротьбі. Зростаюча складність і швидкість зміни економічних, політичних, технологічних та соціальних процесів потребує дедалі ширшого застосування сучасних комп'ютерних систем у діяльності організацій.

Найбільш розвинені на поточний момент системи ERP-класу, які є транзакційними системами, добре вирішують оперативні завдання, частину тактичних завдань і практично не призначені для вирішення стратегічних. В даний час еволюція інформаційних систем відбувається в напрямку розвитку систем підтримки прийняття рішень, орієнтованих на стратегічне управління, довгострокове та середньострокове планування, вирішення завдань аналізу інформації, що використовують як основне джерело транзакційні системи підприємства. Одним із пріоритетних завдань при створенні комп'ютерних систем управління є забезпечення взаємозв'язку процесів оперативного, тактичного та стратегічного управління.

Методи стратегічного управління, що застосовуються в даний час, слабо пов'язані один з одним і не мають загального інформаційного середовища реалізації. Насправді відсутні предметно-орієнтовані на стратегічне управління інформаційно-аналітичні системи. Існуючі інструментальні рішення слабо адаптовані до сучасної проблематики тактичного та стратегічного управління та специфіки діяльності великого промислового підприємства.



Метою дослідження є розробка імітаційних моделей та інструментів їх аналізу, що підтримують формування стратегічних та тактичних рішень у закупівельно-збутовому процесі промислового підприємства.

Для досягнення мети у роботі визначено такі завдання:

- розглянути структуру інформаційно-аналітичних систем;
- охарактеризувати концепцію сховищ даних (Data Warehouse) та вітрин даних (Data Mart);
- виділити комунікаційні можливості імітаційної системи AnyLogic;
- проаналізувати моделі ухвалення рішень;
- описати предметну область – імітаційне моделювання у контексті управлінського прогнозування;
- подати опис збутового процесу термінах системної динаміки;
- проаналізувати об'єкт моделювання, і навіть сформувати структуру моделі;
- розробити інтерфейс моделі аналізатора стратегій;
- розробити функціональне наповнення модулів ІВ;
- подати виконання моделювання та проаналізувати отримані результати. Об'єктом дослідження є об'єкти моделі виробничого процесу підприємства, а також моделі динаміки використання трудових ресурсів, які використовуються для побудови загальної структури виробництва продукції, забезпечення заповнення складів та відповідності наявності продукції кількості замовлень на великому промисловому підприємстві.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та інформаційні технології, що забезпечують комплексну підтримку вироблення та реалізації стратегічних рішень у великому промисловому підприємстві.

## **РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика функціонування промислових підприємств**

### **1.1. Сучасний стан функціонування промислових підприємств**

Сучасний рівень розвитку апаратних та програмних засобів з деяких пір уможливив повсюдне ведення баз даних оперативної інформації на різних рівнях управління. У процесі своєї діяльності промислові підприємства, корпорації, відомчі структури, органи державної влади та управління нагромадили великі обсяги даних. Вони зберігають у собі великі потенційні можливості для вилучення корисної аналітичної інформації, на основі якої можна виявляти приховані тенденції, будувати стратегію розвитку, знаходити нові рішення.



Для власників підприємств, споживачів і постачальників підприємства та інших суб'єктів ринкової економіки підрахунок рівня економічної ефективності функціонування підприємства є важливим завданням.

Завдання економічної оцінки результатів діяльності мають постійну актуальність. Кожне нове уточнення зафіксованого знання стимулює потребу в його розвитку. Умови господарювання, що змінилися, і формування ринкової економіки змушують по-новому поглянути на багато аспектів діяльності підприємств. Під час оцінювання економічної ефективності діяльності підприємства зовнішнє середовище, що змінилося, і ринкове оточення формують потребу використовувати дані, одержувані за допомогою аналізу окремих чинників роботи підприємства.

На сьогоднішній день значний ступінь зносу основних засобів, що все ще зберігається, посилює технічну і технологічну відсталість промислових підприємств. Відтворення основних засобів на підприємствах може відбуватися за рахунок валових капітальних інвестицій, які будуть спрямовані на створення, придбання, відновлення та поліпшення основних засобів.

Суттєва кількість підприємств, насамперед промислової галузі, які на сьогодні мають значно зношені основні засоби, потребують інвестиційних вкладень. Тому в процесі операційної діяльності промислові підприємства повинні здійснювати постійно поновлюваний цикл формування інвестиційних коштів на підтримання продуктивності, ефективності використання основних засобів на базі впровадження інноваційних рішень.

Можна дати такі рекомендації для підвищення ефективності використання основних засобів на різних етапах життєвого циклу на промислових підприємствах. На первинному етапі життєвого циклу:

- придбання інноваційних видів основних засобів, що забезпечують використання високих технологій;
- забезпечення своєчасного оновлення основних засобів, особливо їхньої активної частини (яка безпосередньо бере участь у виробничому процесі), щоб уникнути їхнього фізичного та морального зносу;
- збільшення коефіцієнта оновлення основних засобів промислових підприємств;
- підвищення ступеня автоматизації та механізації виробничої діяльності.

На експлуатаційному етапі життєвого циклу:

- якісне та своєчасне проведення технічних оглядів, поточних і капітальних ремонтів;
- своєчасна переоцінка матеріальних активів.

На ліквідаційному етапі життєвого циклу:

- реалізація зайвого обладнання за ліквідаційною вартістю, яка переоцінюється до справедливої вартості.

Шляхи підвищення ефективності на рівні загального виробничого процесу:

- забезпечення централізації ремонтних служб, де це економічно доцільно;

- удосконалення організації виробництва і праці з метою скорочення втрат робочого часу і простоїв у роботі машин;
- підвищення рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- упровадження нової техніки та прогресивної технології, енергозбереження та паливозбереження.

Вищенаведені рекомендації дадуть змогу підвищити ефективність використання основних засобів як з погляду їх якісного використання, так і з погляду інформаційного забезпечення. Підвищення ефективності використання основних засобів на рівні загального виробничого процесу більшою мірою покликане зменшити супутні витрати виробництва, як наслідок, поліпшити показники ефективності виробництва, а також може суттєво вплинути на показники ефективності збуту предметів праці або послуг, оскільки продукція або послуги стануть більш конкурентоспроможними.

Підвищення ефективності їх використання можна досягти інтенсивним шляхом, а саме:

- проведенням заміни частини застарілих технологій на нові, комп'ютеризовані технології, що сприятимуть прискоренню виробництва та підвищенню продуктивності праці;
- проведенням реконструкції виробничих ділянок та обладнання, які є "вузькими місцями", тобто стримують можливості збільшення обсягів виробництва;
- організацією навчання і перепідготовки інженерно-технічних працівників та основних виробничих робітників, які відповідатимуть за впровадження нового прогресивного обладнання і працюватимуть на ньому.

Поліпшення стану основних засобів можливе тільки завдяки оновленню та проведенню техніко-технологічної інноваційної модернізації.

В умовах ринкової економіки однією з умов ефективного функціонування промислових підприємств є їх забезпеченість основними засобами. Оскільки саме основні засоби є тією рушійною силою, за

допомогою якої починає функціонувати підприємство, а в подальшому - розширювати свою діяльність. На основі проведеного аналізу наукової літератури можна зробити висновок, що більшість авторів під визначенням "основні засоби" розуміють матеріальні активи. Деякі з авторів зазначають, що "основні засоби" являють собою засоби праці, які можливо використовувати у виробничому процесі протягом тривалого часу. Дуже важливим доповненням є те, що основні засоби повністю та багаторазово беруть участь у виробничому процесі та можуть переносити свою вартість частинами, у міру зносу, на вироблену продукцію.

Тобто "основні засоби" являють собою матеріальні активи, придатні для використання у виробничому процесі промислового підприємства, які частково втрачають власну вартість шляхом перенесення її на вироблювану продукцію, при цьому їхній очікуваний строк використання складає період більше одного року.

Ефективність використання основних засобів є одним із найважливіших завдань на сучасних промислових підприємствах. Відтворення основних виробничих засобів розглядається як процес безперервного їх оновлення.

Динамічні СППР (DSS), навпаки, орієнтовані на обробку нерегламентованих (ad hoc) запитів аналітиків до даних. Найглибше вимоги до таких систем розглянув Кодд (EF Codd). Робота аналітиків з цими системами полягає в інтерактивній послідовності формування запитів та вивчення їх результатів [6].

Але динамічні СППР можуть діяти у сфері оперативної аналітичної обробки (OLAP); Підтримка прийняття управлінських рішень на основі накопичених даних може виконуватись у трьох базових сферах.

1. Сфера деталізованих даних. Це область впливу більшості систем, орієнтованих на пошук інформації. Найчастіше реляційні СУБД добре справляються з які виникають тут завданнями. Загальновизнаним стандартом мови маніпулювання реляційними даними є SQL. Інформаційно-пошукові системи, що забезпечують інтерфейс кінцевого користувача в задачах

пошуку деталізованої інформації, можуть використовуватися як надбудови як над окремими базами даних транзакційних систем, так і над загальним сховищем даних.

2. Сфера агрегованих показників. Комплексний погляд на зібрану в сховище даних інформацію, її узагальнення та агрегація, гіперкубічне подання та багатовимірний аналіз є завданнями систем оперативної аналітичної обробки даних (OLAP). У другому випадку заздалегідь агреговані дані можуть збиратися в БД зіркоподібного вигляду, або агрегація інформації може проводитися на льоту у процесі сканування деталізованих таблиць реляційної БД.

3. Сфера закономірностей. Інтелектуальна обробка проводиться методами інтелектуального аналізу даних (ІАД, Data Mining), головними завданнями яких є пошук функціональних та логічних закономірностей у накопиченій інформації, побудова моделей та правил, які пояснюють знайдені аномалії та/або прогнозують розвиток деяких процесів [4].

В останні роки у світі оформилася низка нових концепцій зберігання та аналізу даних:

1. Сховища даних або Склади даних (Data Warehouse);
2. Оперативна аналітична обробка (On-Line Analytical Processing, OLAP);
3. Інтелектуальний аналіз даних - ІАД (Data Mining).

Технології OLAP тісно пов'язані з технологіями побудови Data Warehouse та методами інтелектуальної обробки - Data Mining. Тому найкращим варіантом є комплексний підхід до впровадження.

## **1.2. Аналіз особливостей діяльності промислових підприємств**

Виробниче підприємство - це відокремлена господарча одиниця, основою якої служить професійно організований трудовий колектив, здатний

за допомогою наявних у його розпорядженні засобів виробництва виготовляти продукцію (виконувати роботи, надавати послуги) відповідного призначення та профілю.

Предметом вивчення є виробнича діяльність підприємства, тобто діяльність із зміни (трансформації) вихідних ресурсів у кінцевий продукт.

Виробнича діяльність має бути раціональною, науково обґрунтованою, націленою на кінцевий результат, а не хаотичною у часі та просторі. Упорядкування виробничої діяльності та становить суть поняття «організація виробництва».

У сучасних умовах розвитку ринкової економіки термін має 3 різні смислові значення:

- по-перше, це «внутрішня впорядкованість, узгодженість взаємодії більш менш диференційованих і автономних частин цілого, обумовлена його будовою», тобто, структура чогось;

- по-друге, це «сукупність процесів чи дій, до освіти та вдосконаленню взаємозв'язків між частинами цілого», тобто. процес покращення функціонування структури;

- по-третє, це «об'єднання людей, які спільно реалізують деяку програму або мету і діють на основі певних правил і процедур», тобто якась установа.

Отже, організація - це якась структура та її вдосконалення у процесі функціонування.

Організація виробництва - це цілеспрямована діяльність з розстановці та координації фінансових, матеріальних та трудових ресурсів підприємства у часі та просторі з метою досягнення поставлених цілей.

Організація забезпечує створення певного виробничого організму структури, яка згодом діятиме, та вдосконалюватиметься у цьому процесі.

До основних завдань, які вирішуються на стадії організації, відносяться:

- 1) створення виробничої структури підприємств;

- 2) освіту виробничих підрозділів (виділення у складі підприємства цехів, ділянок, інших виробничих підрозділів);
- 3) формування керуючих підрозділів;
- 4) визначення та встановлення взаємозв'язків між виробничими підрозділами та апаратом управління, ланками управління;
- 5) організація та забезпечення взаємодії між ними.

Результатом вирішення вищевказаних завдань можна вважати сформовану виробничу та організаційну структури підприємства (або їх сукупності), та відповідні їм правила, положення та інструкції, що визначають їхню взаємодію.

Процес виміру очікуваного чи досягнутого рівня ефективності діяльності підприємства (організації) методологічно пов'язаний, перш за все, з визначенням відповідного критерію та формуванням відповідної системи показників.

Система показників ефективності виробничо-господарської діяльності, яка побудована на підставі зазначених принципів, має містити кілька груп:

- 1) узагальнюючі показники ефективності виробництва (діяльності);
- 2) показники ефективності використання праці (персоналу);
- 3) показники ефективності використання виробничих (основних та оборотних) фондів;
- 4) показники ефективності використання фінансових коштів (оборотних коштів та інвестицій). Кожна з цих груп включає певну кількість конкретних абсолютних або відносних показників, що характеризують загальну ефективність господарювання або ефективність використання окремих видів ресурсів.

Для всебічної оцінки рівня та динаміки абсолютної економічної ефективності виробництва, результатів виробничо-господарської та комерційної діяльності підприємства (організації) поряд із наведеними основними варто використовувати також і специфічні показники, що показують ступінь використання кадрового потенціалу, виробничих



потужностей, обладнання, окремих видів матеріальних ресурсів та таке інше.

Ринкова економіка за своєю сутністю є засобом, що стимулює зростання продуктивності праці, усіляке підвищення ефективності виробництва. Для правильного визначення найважливіших напрямів підвищення економічної ефективності суспільного виробництва необхідно сформулювати критерій та показники ефективності.

Узагальнюючим критерієм економічної ефективності суспільного виробництва є рівень продуктивності суспільної праці.

Шляхи підвищення ефективності виробничо-господарської діяльності – це комплекс конкретних заходів щодо зростання ефективності виробництва у заданих напрямках. У тих випадках, коли підвищення якості продукції, впровадження нової техніки, передового досвіду, технічне переозброєння та реконструкція, впровадження нового господарського механізму впливають на кінцеві результати роботи підприємств, слідує як при плануванні, оцінці та стимулюванні діяльності трудових колективів, так і при економічному аналізі повністю виявити та врахувати весь ефект, отриманий за рахунок таких факторів.

Розглянемо торгово-промислове підприємство, що реалізує продукцію споживачам зі складу. Інтенсивність виконання споживчих замовлень залежить від обсягу продукції до продажу за поточними та простроченими замовленнями та обсягу продукції на складі.

Поповнення запасів здійснюється за допомогою закупівлі продукції у постачальників та постачання її на склад.

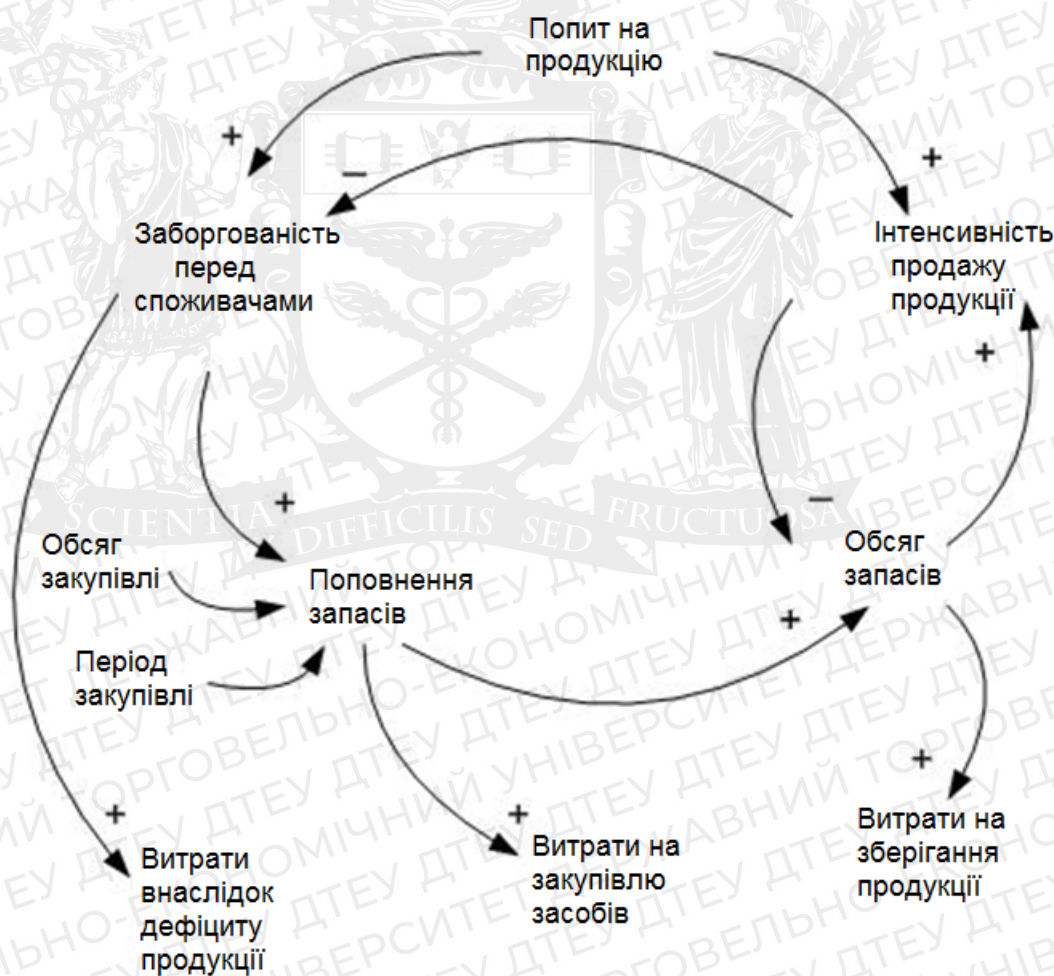
У разі утворення заборгованості перед споживачами підприємство може здійснювати позапланові постачання продукції для часткового або повного покриття обсягу невиконаних замовлень протягом 2 днів.

Розробимо системно-динамічну модель закупівельно-збутового процесу торговельного підприємства, на підставі якої виконаємо імітацію роботи підприємства протягом 26 днів. Визначимо прибуток підприємства за цей

період часу, оцінимо вплив стратегії управління запасами (обсяг та періодичність закупівель продукції) на ефективність збутового процесу.

Зазначимо, що модель може бути легко адаптована під промислове підприємство, коли заповнення запасів здійснюється із виробничої системи підприємства.

Першим кроком побудови системно-динамічної моделі є розробка причинно-наслідкової діаграми закупівельно-збутового процесу. На рис. 1.1 відображено загальні залежності між характеристиками закупівельного та збутового процесів.



**Рис. 1.1** Причинно-наслідкова діаграма закупівельно-збутового процесу (узагальнена постановка)

Описи типових стратегій (моделей) управління запасами наведені Б. А. Анікіним та А. Н. Стерліговим. Методи розрахунку параметрів управління запасами (поточний та страховий обсяги запасів, розмір замовлення, періодичність замовлень тощо) широко вивчені в літературі, зокрема, вони викладені в роботах О.М. Стерлігова, А.П. Долгова, Д.А. Міронова. Прикладами реалізації в імітаційних моделях можуть бути роботи Є.Б. Грибанова і М.Ю. Скворцова. Особлива увага приділяється питанням моделювання динаміки попиту та прийняття рішень в управлінні потоками та збутовими запасами в умовах стохастичного та нестационарного попиту.

Важливим аспектом формування ефективної політики управління кадрами на підприємстві, особливо в умовах нестабільної економічної ситуації, є оцінка перспективної потреби у фахівцях залежно від обсягів робіт, що виконуються. На нашу думку, дієвим інструментом отримання необхідної інформації може бути моделювання і, зокрема, системно-динамічний.

Так, системна динаміка є методологією для вивчення та управління складними системами із зворотним зв'язком, якими є великі підприємства. За допомогою даної методології виявляється проблема, будуються динамічні гіпотези, що пояснюють причину проблеми, тестується модель для того, щоб переконатися, що вона репродукує поведінку, що спостерігається в реальному світі, розробляються та перевіряються за допомогою моделі альтернативні політики, які полегшують проблему, і отримане рішення наводиться на виконання.

Однак проблема управління персоналом промислового підприємства в ринкових умовах, що розвиваються, особливо із застосуванням методів моделювання досліджена недостатньо.

Негативним є те, що управлінці підприємств не готові, та й не мають можливості оперативно отримувати та обробляти необхідну інформацію, використовуючи при цьому методи сучасного комп'ютерного моделювання. Це, своєю чергою, призводить до переважання авторитарних підходів до

формування стилю та методів управління. Реальною є ситуація невизначеності, коли діяльність підприємств спрямована, головним чином, на щоденне виживання. Особливо важливим у цих умовах стає ефективне управління підприємством та людськими ресурсами, зокрема.

Також у процесі побудови аналізатора стратегій, визначимо можливості вдосконалення процесу організації управління персоналом підприємства, визначення шляхів удосконалення процесів управління персоналом на підприємстві з використанням методів системно-динамічного моделювання, та на основі цього – розробка ефективного механізму управління персоналом на підприємстві, який послужить покращенню якості управління та розподілу трудових ресурсів. Трудовими ресурсами або людським капіталом як будь-яким іншим ресурсом, наприклад, фінансами, матеріалами тощо, необхідно керувати для отримання кращої віддачі від інвестицій.

Людські ресурси, звісно, обмежені. Людський капітал може бути розвинений і вирощений, у тому числі і всередині організації, але він може також вирішити залишити цю організацію, захворіти, впасти в депресію, і навіть вплинути на інших членів колективу способом, який не забезпечить переваги роботодавця, відволікаючи, таким чином, ресурси, призначені для використання, в іншому місці в організації. Іншими словами, робота людського капіталу організації не завжди передбачувана та/або не в межах контролю роботодавця. Таким чином, вимірювання та управління людським капіталом стає важливою для моделювання проблемою.

Найпростіша схема причинно-наслідкових зв'язків за наймом та звільненням працівників може бути представлена наступним чином (рис. 1.2):



**Рис. 1.2** Діаграма причинно-наслідкових зв'язків процесу зміни чисельності персоналу для підприємства

Так, збільшення розбіжності між бажаною та фактичною робочою силою призведе до зростання інтенсивності реклами про наявні вакансії для найму нових працівників, що, в результаті, з деякою затримкою, збільшить інтенсивність найму. Наймання нових працівників послужить збільшенню загальної робочої сили і знизить згадану розбіжність. З іншого боку, збільшення фактичної кількості працівників призводить до потенційного зростання кількості звільнень, що, своєю чергою, збільшує розбіжність. Знаходження балансу між згаданими складовими становить мету моделювання. Процеси управління персоналом для підприємства мають безперервний характер, так як під час великої нестабільності економіки, і навіть, враховуючи важкі певною мірою умови праці, персонал динамічно змінює свій склад і структуру, що складається з взаємозалежних частин. На підприємстві, що розглядається, персонал має досить високий показник загального обороту, плинності кадрів; середньооблікова чисельність працівників помітно зменшується з кожним роком, що пов'язано, переважно, зі зниженням обсягів продукції, що випускається. На підприємстві також відбувається старіння персоналу, що говорить про необхідність залучення якомога більшої кількості молодих працівників, застосовуючи у своїй сучасні методи кадрового управління. Наше завдання полягає в тому, щоб запропонувати шляхи вдосконалення процесів управління персоналом, використовуючи при цьому нові підходи та методи, що послужить

покращенню системи управління персоналом загалом, переважно, зі зниженням обсягів своєї продукції.

Моделювання є однією з найважливіших стадій при вдосконаленні будь-якої системи, що полягає у побудові, аналізі та оптимізації моделі. З метою реалізації пропонованого походу використано модель руху персоналу підприємства, адаптовану до умов підприємства, що розглядається. Остаточний вид моделі представлений у пункті 3.3 пояснювальної записки дипломної роботи.

Запропонована структура лише приблизно описує процеси, пов'язані з рухом кадрів на підприємстві, проте охоплює основні його складові. Загальна чисельність працівників зростатиме (зменшуватиметься) за рахунок збільшення (зменшення) кількості вакансій, створених на підприємстві. Цей управління є безперервним, так як існуючі працівники йдуть на пенсію, звільняються за власним бажанням або їх звільняють з тієї чи іншої причини, приходять нові недосвідчені працівники. У процесі роботи нові співробітники опановують навички роботи, набувають досвіду і стають кваліфікованою робочою силою. Існуючі досвідчені працівники також навчаються та підвищують свою кваліфікацію, а пізніше з різних причин покидають підприємство. У свою чергу відбувається відкриття нових вакансій.

У процесі моделювання було прийнято політика, коли він чисельність працівників для підприємства суворо відповідає обсягам своєї продукції. Крім того, не розглядаються питання зміни продуктивності праці в періоді, що розглядається, пов'язані зі вартісними складовими процесів, що відбуваються в економіці. Дані припущення, з одного боку, дозволяють відстежити процес зміни потреби у персоналі, з другого – роблять процес зміни чисельності персоналу для підприємства дещо хаотичним, особливо у умовах нестабільної потреби у продукції підприємства.

### 1.3. Інформаційні технології імітаційного моделювання

AnyLogic™ – інструмент імітаційного моделювання нового покоління. Він ґрунтується на результатах, отриманих у теорії моделювання та в інформаційних технологіях за останнє десятиліття.

У порівнянні з традиційними інструментами AnyLogic забезпечує більш істотні можливості при менших витратах праці, оскільки дозволяє:

- Моделювати швидше за допомогою візуальних, гнучких, розширюваних, повторно використовуваних об'єктів (стандартних та своїх), а також Java™.
- Моделювати точніше, застосовуючи різні підходи, комбінуючи та модифікуючи їх для конкретного завдання.
- Збільшити життєвий цикл моделі, швидко підлаштовуючи її до мінливих умов, при вирішенні яких необхідні як високий, так низький рівні абстракції.
- Використовувати потужний арсенал засобів аналізу та оптимізації безпосередньо із середовища розробки моделі.
- Просто та ефективно інтегрувати модель відкритої архітектури з офісним та корпоративним ПЗ, включаючи електронні таблиці, БД, ERP та CRM системи.
- Ефектно представити свої результати, супроводжуючи модель інтерактивною анімацією будь-якої складності, а також даючи можливість доступу до моделі-аплет через Інтернет.

Сучасні технології імітаційного моделювання поряд з інтуїтивно зрозумілим та продуманим інтерфейсом дозволили AnyLogic™ стати найкращим у своїй галузі технологічним рішенням для проектування та аналізу широкого спектру реальних систем найрізноманітнішої природи.

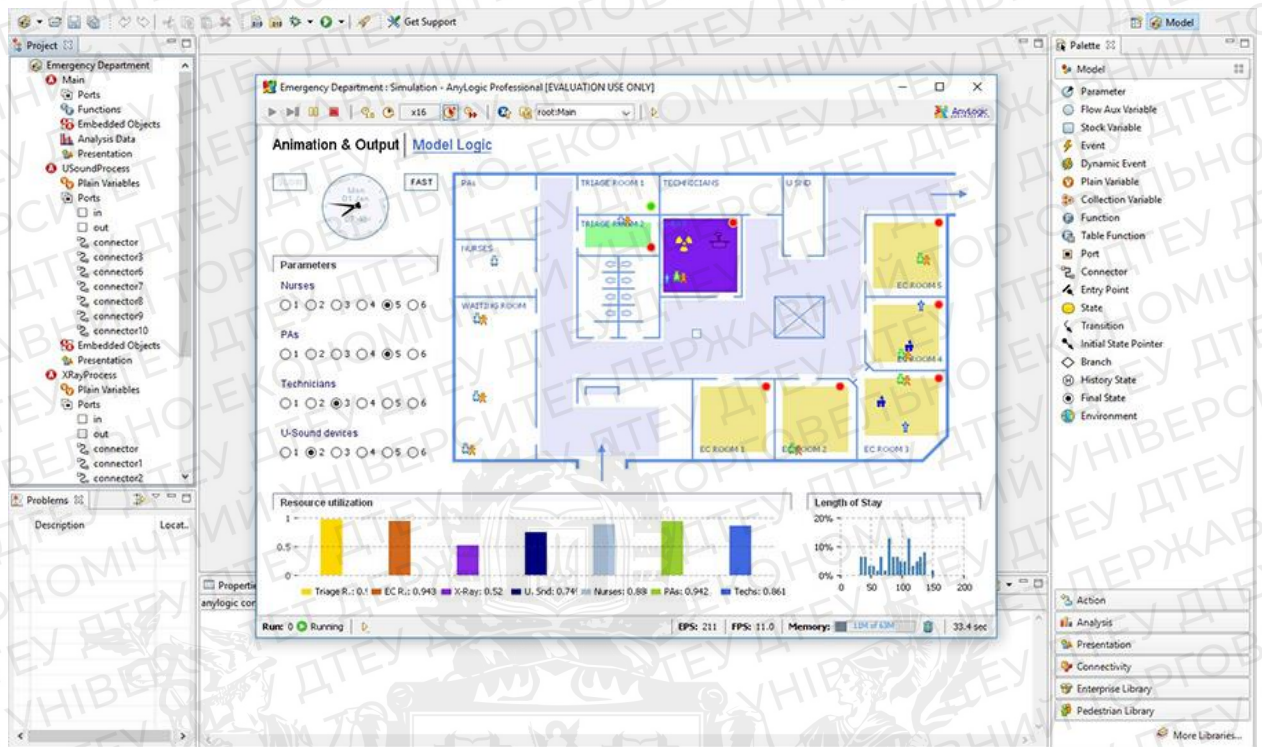


Рис. 1.3 Інтерфейс AnyLogic

Унікальність AnyLogic™ полягає в його здатності ефективно вирішувати завдання моделювання будь-якого масштабу та рівня абстракції, у тому числі для різнорідних систем у їхньому зв'язку. AnyLogic™ застосовується в діапазоні від мікромоделей “операційного” рівня, де важливі конкретні розміри, відстані, швидкості, часи, до макромоделей “стратегічного” рівня, на якому розглядається глобальна динаміка зворотних зв'язків, тенденції на тривалих часових відрізках та оцінюються стратегічні рішення.

Підтримуючи на єдиній платформі абсолютно всі існуючі підходи дискретно-подійного та безперервного моделювання (блок-схеми процесів, системну динаміку, агентне моделювання, карти станів, системи рівнянь тощо), AnyLogic™ знімає з користувача всі обмеження.

### 1. Операційний рівень

AnyLogic™ має виключно розвинену базову мову дискретного та змішаного дискретно/безперервного моделювання, на основі якого побудовано рішення для конкретних областей: бібліотека Enterprise Library, а



також Material Flow Library (потіки матеріалів) та Healthcare Library (робота медичних установ), включені до складу продукту. Enterprise Library містить традиційні об'єкти: черги, затримки, конвеєри, ресурси тощо, тому модель і анімація швидко будуються в стилі drag-and-drop і дуже гнучко параметризується.

Реалізація стандартних об'єктів відкрита для користувача, їхня функціональність може бути як завгодно розширена, аж до створення власних бібліотек. Використовуючи ієрархію та регулярні структури об'єктів, Можна створювати масштабовані моделі. Спеціально розроблена техніка анімації дозволяє швидко зв'язати модель із технічними кресленнями.

Застосування AnyLogic™ на операційному рівні дозволяє:

- Виміряти продуктивність системи та виявити вузькі місця.
- Мінімізувати залишки та збалансувати виробничі лінії.
- Знайти найкращий план перевезень за умов невизначеності.
- Оптимізувати розміщення елементів виробництва, складу, офісу та підвищити ефективність використання площ.
- Порівняти варіанти передбачуваної модернізації.
- Оцінити ефективність запланованих капіталовкладень в обладнання, площі чи персонал.
- Максимізувати ефективність використання операторів, зменшити час очікування клієнта та вартість транзакції.
- Оцінити ефективність та мінімізувати вартість ІТ-рішення для компанії.

Не будучи обмеженим бібліотечними об'єктами, користувач може реалізувати всю модель або кілька її компонентів на ще більш детальному “фізичному” рівні, цього потребує завдання: описати механіку конкретного пристрою, динаміку безперервного технологічного процесу, потоки матеріалів, переміщення пішоходів і автомобілів тощо. Таким чином, можна

завжди досягти потрібного ступеня адекватності моделі, залишаючись у рамках зручної візуальної мови.

## 2. Стратегічний рівень

AnyLogic™ використовується провідними компаніями та організаціями як інструмент підтримки прийняття рішень на рівні стратегії. За допомогою AnyLogic™ користувач може:

- Передбачити ефективність процесів просування товару за умов конкретного ринку.
- Вибрати оптимальну стратегію компанії у конкурентній боротьбі.
- Оцінити ризики та прибуток при виході на новий ринок, випуск нового продукту, поглинання або злиття з іншою компанією.
- Дослідити вплив коливань попиту чи внутрішніх затримок на функціонування ланцюжка поставок.
- Знайти можливі розриви ліквідності.
- Визначити оптимальний “портфель” R&D проектів з урахуванням їх взаємозв'язків та конфліктів за умов невизначеності.
- Передбачити поширення захворювання та визначити адекватні заходи його щодо запобігання.
- Порівняти сценарії розвитку урбанізованої території та передбачити екологічні наслідки.

AnyLogic™ підтримує всі елементи системної динаміки (накопичувачі, потоки, зворотні зв'язки, затримки, допоміжні змінні, табличні функції, масиви та рівняння над ними тощо), але, на відміну від традиційних інструментів, забезпечить значно кращу структуру моделей за рахунок поняття об'єкта, інтерфейсу та ієрархії. Крім того, в AnyLogic™ можна визначити як завгодно складну дискретно-подійну логіку (наприклад, за допомогою карт станів або діаграм процесів) і пов'язати її з системно-динамічною частиною - тільки ув'язавши структуру та поведінку, ефективно моделювати взаємодію компанії та її оточення.

Однією з найважливіших переваг AnyLogic™ є можливість швидкої побудови багатоагентних моделей, яку не дає жоден із існуючих інструментів. Активні об'єкти AnyLogic™ можуть створюватися і знищуватися динамічно, переміщатися, спілкуватися один з одним, мати поведінку, знання, цілі, стратегію - тобто мають всі властивості агентів. Тільки агентні моделі дозволяють отримати уявлення про загальну поведінку системи, виходячи з припущень про поведінку її елементів за відсутності знання про глобальні закони – тобто найбільш загальному випадку.

Комбінуючи системну динаміку на рівні стратегії з агентними моделями ринку та дискретними моделями виробництва та логістики, можна досягти найбільш адекватного представлення глобального ланцюжка поставок, забезпечивши надійний базис для прийняття рішень та, таким чином, отримання конкурентної переваги.

Огляд можливостей:

### 1. Найбільш гнучкий інструмент ІМ.

AnyLogic™ пропонує на порядок більше засобів для опису структури, поведінки та даних моделюваної системи, ніж будь-який інший інструмент ІМ. Об'єкти, інтерфейси та ієрархія, блокові діаграми, карти станів, таймери, порти та передача повідомлень, змінні та алгебраїчні диференціальні рівняння, а також можливість додати вираз, оператор або функцію на мові Java у будь-якому місці моделі становлять чудовий арсенал для “симуляції” та спеціалізації.

### 2. Відкрита архітектура.

Моделі, побудовані в AnyLogic™, мають відкриту архітектуру і можуть працювати з будь-яким офісним або корпоративним ПЗ, а також з модулями, написаними різними мовами. Модель може динамічно читати та зберігати дані в електронних таблицях, БД, системах планування корпоративних ресурсів (ERP) та управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM), а також бути вбудованою у виробничий процес у режимі реального часу.

### 3. Анімація.

У доведеній до досконалості технології візуалізації працюючих моделей AnyLogic™ можна створювати інтерактивні анімації довільної складності, пов'язуючи графічні об'єкти (у тому числі імпортовані креслення) у вбудованому редакторі з об'єктами моделі. Як і модель, анімація має ієрархічну структуру, яка динамічно змінюватися. Можливе створення кількох точок зору чи кількох рівнів детальності в одній анімації. Елементи управління та розвинена бізнес-графіка перетворюють інтерфейс моделі на справжню панель управління для оцінки ефективності рішень. Підтримується двовимірна та тривимірна анімація.

#### 4. Перенесені моделі, що працюють у Web-браузері.

Оскільки моделі AnyLogic™ – 100% Java, їх можна не лише запускати на багатьох платформах, а й розміщувати на веб-сайтах у вигляді аплетів. Ця унікальна властивість дозволяє віддаленим користувачам запускати інтерактивні моделі у web-браузері без необхідності встановлювати будь-яке програмне забезпечення.

#### 5. Аналіз.

AnyLogic™ дозволяє будувати як стохастичні, так і детерміновані моделі та проводити аналіз результатів моделювання. Підтримується понад 35 стандартних імовірнісних розподілів, також можна визначити свої. Stat::Fit дозволяє побудувати аналітичний розподіл AnyLogic™ за накопиченими даними. В AnyLogic™ входять засоби збору та аналізу статистики в працюючій моделі, а також її презентації в будь-яких формах та експорту до інших програм. З моделлю можуть бути проведені експерименти Монте-Карло, аналіз чутливості, оптимізація та експерименти за сценарієм користувача.

## РОЗДІЛ 2. Розробка моделі промислового підприємства

### 2.1. Специфіка функціонування промислових підприємств

Для того, щоб існуючі сховища даних сприяли прийняттю управлінських рішень, інформація повинна бути представлена аналітику в потрібній формі, тобто вона повинна мати розвинені інструменти доступу до даних сховища та їх обробки.

Автором концепції Сховищ Даних (Data Warehouse) є Б.Інмон, який визначив Сховища Даних як: “предметно орієнтовані, інтегровані, незмінні, що підтримують хронологію набори даних, організовані з метою підтримки управління”, покликані виступати в ролі “єдиного та єдиного джерела істини” забезпечує менеджерів та аналітиків достовірною інформацією необхідною для оперативного аналізу та прийняття рішень.

В основі концепції Сховищ Даних лежать дві основні ідеї:

1. Інтеграція раніше роз'єднаних деталізованих даних (історичні архіви, дані з традиційних СОД, дані із зовнішніх джерел) в єдиному Сховищі Даних, їх узгодження та можлива агрегація.
2. Розподіл наборів даних, що використовуються для операційної обробки та наборів даних, що використовуються для вирішення завдань аналізу.

Крім єдиного довідника метаданих, засобів вивантаження, агрегації та узгодження даних, концепція Сховищ Даних передбачає: інтегрованість, незмінність, підтримку хронології та узгодженість даних. І якщо, дві перші властивості (інтегрованість та незмінність) впливають на режими аналізу даних, то останні два (підтримка хронології та узгодженість), суттєво звужують список розв'язуваних аналітичних завдань.

Без підтримки хронології (наявності історичних даних) не можна говорити про розв'язання задач прогнозування та аналізу тенденцій. Але

найбільш критичними та болючими виявляються питання, пов'язані з узгодженням даних.

Основною вимогою аналітика є навіть не стільки оперативність, скільки достовірність відповіді. Але достовірність, зрештою, і визначається узгодженістю. Поки не проведено роботу щодо взаємного узгодження значень даних із різних джерел, складно говорити про їх достовірність.

Практично у будь-якій організації, питання про узгодженість даних у різних інформаційних системах стоїть надзвичайно гостро. І, нерідко, менеджер стикається з ситуацією, коли на те саме питання, різні системи можуть дати і зазвичай дають різну відповідь. Це може бути пов'язано як з не синхронністю моментів модифікації даних, відмінностями в трактуванні тих самих подій, понять і даних, зміною семантики даних у процесі розвитку предметної області, елементарними помилками при введенні та обробці, частковою втратою окремих фрагментів архівів і т.д. Очевидно, що врахувати та заздалегідь визначити алгоритми вирішення всіх можливих колізій мало реально. Тим більше, це неможливо зробити в оперативному режимі, динамічно, безпосередньо в процесі формування відповіді на запит.

Останнім часом оформився новий напрямок в аналітичних технологіях обробки даних. Data Mining, що перекладається як "видобуток" або "розкопка даних". Нерідко поряд з Data Mining зустрічаються слова "виявлення знань у базах даних" (knowledge discovery in databases) та "інтелектуальний аналіз даних". Їх можна вважати синонімами DataMining. Виникнення всіх зазначених термінів пов'язане з новим витком у розвитку засобів та методів обробки даних.

Ціль Data Mining полягає у виявленні прихованих правил та закономірностей у наборах даних. Справа в тому, що людський розум сам по собі не пристосований для сприйняття великих масивів різноманітної інформації. Людина до того ж не здатна вловлювати більше двох-трьох взаємозв'язків навіть у невеликих вибірках. Але й традиційна математична статистика, що тривалий час претендувала на роль основного інструменту

аналізу даних, також нерідко пасує при вирішенні завдань із реального складного життя. Вона оперує усередненими характеристиками вибірки, які часто є фіктивними величинами (типу середньої температури пацієнтів по лікарні, середньої висоти будинку на вулиці, що складається з палаців та халуп тощо). Тому методи математичної статистики є корисними головним чином для перевірки заздалегідь сформульованих гіпотез (verification-driven datamining) [4].

Сучасні технології Data Mining (discovery-driven data mining) перелопачують інформацію з метою автоматичного пошуку шаблонів (паттернів), притаманних будь-яких фрагментів неоднорідних багатовимірних даних. На відміну від оперативної аналітичної обробки даних (online analytical processing, OLAP) у Data Mining тягар формулювання гіпотез та виявлення незвичайних (unexpected) шаблонів перекладено з людини на комп'ютер.

Приклади формулювань завдань під час використання методів OLAP і Data Mining представлені у таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1**

Приклади формулювань завдань під час використання методів OLAP і Data Mining

<b>OLAP</b>	<b>Data Mining</b>
Які середні показники травматизму для курців та некурців?	Які фактори найкраще передбачають нещасні випадки?
Якими є середні розміри телефонних рахунків існуючих клієнтів у порівнянні з рахунками колишніх клієнтів (що відмовилися від послуг компанії)?	Які характеристики клієнтів, які, ймовірно, збираються відмовитися від послуг компанії?
Яка середня величина щоденних покупок за вкраденою та неукраденою кредитною картою?	Які схеми покупок притаманні шахрайству?

У принципі немає нічого нового у постановці завдання Data Mining. Фахівці протягом кількох останніх десятиків років вирішували подібні завдання ("пошук емпіричних закономірностей", "евристичний пошук у складних середовищах", "індуктивний висновок" тощо). Але тільки зараз суспільство загалом дозріло для розуміння практичної важливості та широти цих завдань. По-перше, у зв'язку з розвитком технологій запису та зберігання даних сьогодні на людей обрушилися колосальні потоки інформаційної руди в різних галузях, які без продуктивної переробки загрожують перетворитися на нікому не потрібні звалища. І, по-друге, засоби та методи обробки даних стали доступними та зручними, а їх результати зрозумілими будь-якій людині [3].

Виділяють п'ять стандартних типів закономірностей, що дозволяють виявляти методи Data Mining:

- асоціація
- послідовність
- класифікація
- кластеризація
- прогнозування

Якщо існує ланцюжок пов'язаних у часі подій, то говорять про послідовність. Так, наприклад, після покупки будинку в 45% випадків протягом місяця купується нова кухонна плита, а в межах двох тижнів 60% новоселів обзаводяться холодильником.

За допомогою класифікації виявляються ознаки, що характеризують групу, до якої належить той чи інший об'єкт. Це робиться у вигляді аналізу вже класифікованих об'єктів і формулювання деякого набору правил.

Кластеризація відрізняється від класифікації тим, що групи заздалегідь не задані. За допомогою кластеризації засобу Data Mining самостійно виділяють різні однорідні групи даних.

Основою для різних систем прогнозування служить історична інформація, що зберігається у БД як тимчасових рядів. Якщо вдається



побудувати математичну модель і знайти шаблони, які адекватно відображають цю динаміку, є ймовірність, що з їхньою допомогою можна передбачити і поведінку системи в майбутньому.

Системи CBR показують дуже добрі результати у найрізноманітніших завданнях. Головним їх мінусом вважають те, що вони взагалі не створюють будь-яких моделей чи правил, які узагальнюють попередній досвід, — у виборі рішення вони ґрунтуються на всьому масиві доступних історичних даних, тому неможливо сказати, на основі яких конкретно факторів CBR Системи будують свої відповіді. Інший мінус полягає у свавіллі, який допускають системи CBR при виборі міри "близькості". Від цього заходу рішуче залежить обсяг безлічі прецедентів, які потрібно зберігати в пам'яті для досягнення задовільної класифікації або прогнозу.

## 2.2. Розробка діаграм взаємодій

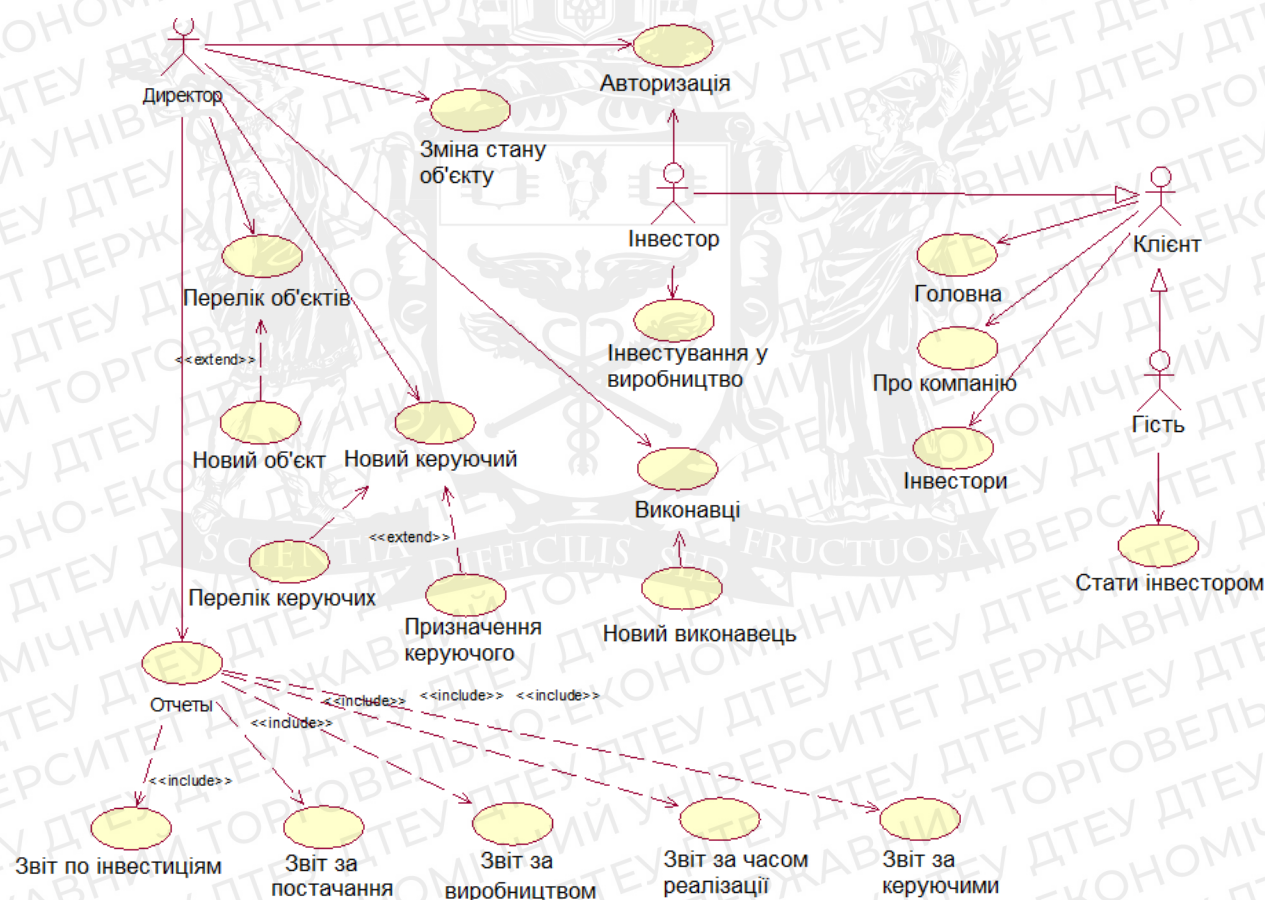
Розробка даної діаграми має такі цілі:

- Визначити загальні межі та контекст моделюваної предметної області на початкових етапах проектування системи
- Сформулювати загальні вимоги до функціональної поведінки проєктованої системи.
- Розробити вихідну концептуальну модель системи для її подальшої деталізації у формі логічних та фізичних моделей.
- Підготувати вихідну документацію для взаємодії розробників системи з її замовниками та користувачами.

Суть даної діаграми полягає в наступному: проєктована система представляється у вигляді безлічі сутностей або акторів, що взаємодіють із системою за допомогою так званих варіантів використання. При цьому актором або дійовою особою називається будь-яка сутність, що взаємодіє із системою ззовні. Це може бути людина, технічний пристрій, програма або

будь-яка інша система, яка може бути джерелом впливу на систему, що моделюється так, як визначить сам розробник. У свою чергу, варіант використання служить для опису сервісів, які система надає актору. При цьому нічого не йдеться про те, яким чином буде реалізовано взаємодію акторів із системою.

Кошти Rational Rose дозволяють для опису функціональної системи скористатися графічним редактором для побудови Use Case діаграм (сценаріїв). Опишемо основні елементи див. рисунок 2.1.



**Рис. 2.1** Діаграма прецедентів

Діаграми прецедентів чи варіантів використання є необхідним засобом на стадії формування вимог до програмного забезпечення. Кожен варіант використання - це потенційна вимога до системи, і доки вона не виявлена, неможливо запланувати її реалізацію.



### 2.3. Розробка діаграм прецедентів

Зміни ринкових умов функціонування підприємства зумовлюють потребу у виборі релевантної стратегії управління запасами готової продукції. Запропоновані у статті системно-динамічні моделі управління запасами готової продукції реалізують альтернативні стратегії та дозволяють оцінити ефективність збутового процесу для кожної з них.

Управління потоками і запасами готової продукції спрямоване виконання затверджених підприємством принципів збуту, взаємодії із споживачами, маркетингу і дистриб'юції.

Ключовими категоріями перерахованих сфер діяльності на підприємстві є попит на його продукцію, замовлення споживачів та запаси продукції. Забезпечення своєчасного виконання споживчих замовлень та надання готової продукції у розпорядження споживачів відноситься, найчастіше, до завдань логістики та управління запасами.

Логістика є основним інструментом забезпечення безперервності збутової діяльності підприємства та високого рівня якості обслуговування споживачів (їх замовлень), що розглядається як одна з основних конкурентних переваг підприємства. Логістичні підходи до організації матеріальних потоків застосовні також у управлінні матеріально-технічним постачанням для оптимізації виконання внутрішніх замовлень, тобто задоволення потреб у матеріалах підрозділів підприємства.

Проаналізуємо існуючі моделі управління потоками та запасами готової продукції, розроблені на основі методології системної динаміки. У дослідженнях обсяг замовлення на заповнення запасів продукції учасниками ланцюга поставок визначається, виходячи з поточного та нормативного (бажаного) обсягів запасів, кількості реалізованої споживачам продукції та інтервалів часу, необхідних для визначення необхідного рівня запасів та постачання продукції.

Специфічною рисою моделі є підтримка безперервного матеріального потоку. Оптимальний розмір замовлення пропонується визначати у кожний період часу. Проте це може призводити до труднощів у коригуванні виробничої програми або плану закупівлі продукції, якщо інтервал часу за один крок імітації значно менший за прийнятний для підприємства горизонт планування.

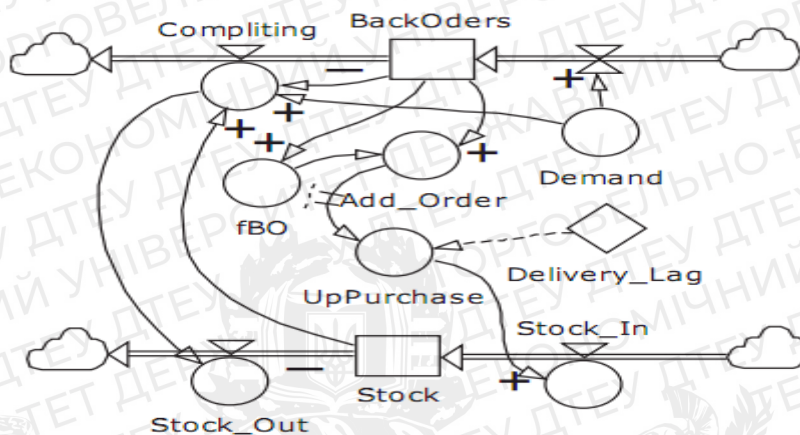
Крім коригування необхідного рівня запасів пропонується вченими коригування інтенсивності та строку постачання готової продукції. Цей підхід доцільно доповнити методом визначення допустимого діапазону зміни цільових значень за даними величинами.

Даний підхід використаний для моделювання динаміки потоків у ланцюзі поставок у роботах інших учених, при цьому величина обсягу замовлень на заповнення запасів визначається за допомогою реагування (через відповідний коефіцієнт моделі) на поточне відхилення фактичного обсягу запасів продукції від необхідного. Значення коефіцієнта реагування на ці відхилення залежить від обсягу заборгованості перед споживачами продукції: чим вищий обсяг заборгованості (кількість невідвантаженої продукції за прийнятими споживчими замовленнями), тим більше значення даного коефіцієнта.

Ринки, що змінюються, функціонування підприємства зумовлюють необхідність формування комплексу стратегій управління запасами, розробки методів вибору найкращої з них, адекватної ситуації, що склалася, та обґрунтування значень її параметрів регулювання з використанням імітаційних моделей, розроблених на основі методології системної динаміки. Стратегії управління запасами повинні містити додаткові (позапланові) поставки продукції для погашення заборгованості перед споживачами з урахуванням витрат на їх здійснення.

Інтенсивність відвантаження продукції (Compliting) має відповідати сумарному обсягу продукції за поточними (Demand) та простроченими (BackOrder) замовленнями споживачів, але не може перевищувати

фактичного обсягу запасів продукції на складі (Stock). Діаграма блоку збутового процесу термінах системної динаміки, який використовується в моделях управління запасами готової продукції, представлена на рис. 2.3.



**Рис. 2.3** Діаграма блоку збутового процесу у термінах системної динаміки

## РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі промислового підприємства

### 3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей

Побудова моделі: після правильної постановки завдання наступним етапом процесу передбачено побудову моделі. Розробник повинен визначити головну мету моделі, які вихідні нормативи чи інформацію передбачається отримати, використовуючи модель, щоб допомогти керівництву вирішити цю проблему. Якщо продовжити наведений вище приклад, потрібна вихідна інформація повинна представляти точні нормативи часу та кількості вихідних матеріалів і запасних частин, що підлягають замовленню.

Перевірка моделі на достовірність: після побудови моделі її слід перевірити на достовірність. Один із аспектів перевірки полягає у визначенні ступеня відповідності моделі реальному світу. Фахівець з науки управління має встановити, чи всі істотні компоненти реальної ситуації вбудовані в модель. Це, звичайно, може виявитися непростою справою, якщо складне завдання. Перевірка багатьох моделей управління показала, що вони недосконалі, оскільки не охоплюють усіх релевантних змінних. Природно, що краще модель відображає реальний світ, то вище її потенціал як засобу надання допомоги керівнику у прийнятті гарного рішення, якщо припустити, що модель не надто складна у використанні.

Другий аспект перевірки моделі пов'язаний із встановленням ступеня, в якому інформація, що отримується з її допомогою, дійсно допомагає керівництву впоратися з проблемної.

Застосування моделі: після перевірки достовірності модель готова до використання. Прийнято вважати, що жодну модель науки управління «не можна вважати успішно збудованою, поки вона не прийнята, не зрозуміла і не застосована на практиці» Це здається очевидним, але найчастіше виявляється одним із найтривожніших моментів побудови моделі. Згідно з одним обстеженням відділів, що аналізують операції на корпоративному

рівні, лише близько 60% моделей науки управління були використані в повній або майже повній мірі

В інших обстеженнях також встановлено, що фінансові керівники американських корпорацій та західноєвропейські керуючі маркетингом недостатньо широко використовують моделі для прийняття рішень. Основна причина недовикористання моделей керівниками, які повинні їх застосовувати, можливо, що вони їх побоюються або не розуміють.

Недостовірні вихідні припущення: будь-яка модель спирається на деякі вихідні припущення або передумови. Це можуть бути передумови, наприклад, що витрати на робочу силу в наступні шість місяців становитимуть 200 тис. дол. Такі припущення можна об'єктивно перевірити і прорахувати. Імовірність того, що вони точні, буде високою. Деякі передумови не оцінюються і не можуть бути об'єктивно перевірені. Припущення про зростання збуту наступного року на 10% – приклад припущення, яке не піддається перевірці. Ніхто не знає напевно, чи це станеться дійсно. Оскільки такі причини є основою моделі, точність останньої залежить від точності причин. Модель не можна використовувати для прогнозування, наприклад, потреби у запасах, якщо існують неточні прогнози збуту на майбутній період.

На додаток до припущень щодо компонентів моделі, керівник формулює передумови щодо взаємозв'язків усередині неї. Наприклад, модель, призначена допомогти у вирішенні про те, скільки фарби різних типів слід виробляти, повинна, ймовірно, включати припущення щодо залежності між продажною ціною та прибутком, а також вартістю матеріалів та робочої сили. Точність моделі залежить також від точності цих взаємозв'язків.

Інформаційні обмеження: основна причина недостовірності передумов та інших труднощів - це обмежені можливості отримання потрібної інформації, які впливають і на побудову, і на використання моделей. Точність моделі визначається точністю інформації щодо проблеми. Якщо



ситуація виключно складна, фахівець з науки управління може бути не в змозі отримати інформацію з усіх релевантних факторів або вбудувати її в модель. Якщо зовнішнє середовище рухоме, інформацію про неї слід оновлювати швидко, але це може бути нереалізованим або непрактичним.

Іноді при побудові моделі можуть бути проігноровані суттєві аспекти, оскільки вони не піддаються виміру. Наприклад, модель визначення ефективності нової технології буде некоректною, якщо в неї вбудовано лише інформацію про зниження витрат відповідно до збільшення спеціалізації. Важко передбачуваний та вимірюваний вплив психологічних установок робітників також відбивається на продуктивності. Якщо робітникам не подобається новий процес, то зростання витрат через прогули, висока плінність кадрів і затори на виробничих лініях можуть перешкодити приросту продуктивності.

Загалом, побудова моделі найважче в умовах невизначеності. Коли необхідна інформація настільки невизначена, що її важко отримати, виходячи з критерію об'єктивності, керівнику можливо доцільніше покластися на свій досвід, здатність до судження, інтуїцію та допомогу консультантів.

Причини, через які може бути знижена ефективність моделей:

Як усі засоби та методи, моделі науки управління можуть призвести до помилок. Ефективність моделі може бути знижена дією низки потенційних похибок. Найчастіше - недостовірні вихідні припущення, обмежені можливості отримання потрібної інформації, страхи користувача, слабе використання практично, надмірно висока вартість. Це найзагальніші проблеми моделювання.

Число всіляких конкретних моделей науки управління безмежне. Найбільш поширені типи - метод платіжної матриці (використовується, коли потрібно встановити, яка альтернатива здатна зробити найбільший внесок у досягненні мети), моделі управління запасами (використовується для визначення часу розміщення запасів на ресурси та їх кількість, а також маси

готової продукції на складах), дерево рішень (дозволяє уявити проблему схематично і порівняти можливі результати візуально), модель лінійного програмування (застосовується для оптимального визначення способу вирішення за наявності конкуруючих потреб), економічний аналіз (включає методи оцінки витрат і економічних вигод, а також щодо рентабельності діяльності).

### 3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

Система аналізатора стратегій з урахуванням системно-динамічних моделей має таку структуру (рис. 3.1):

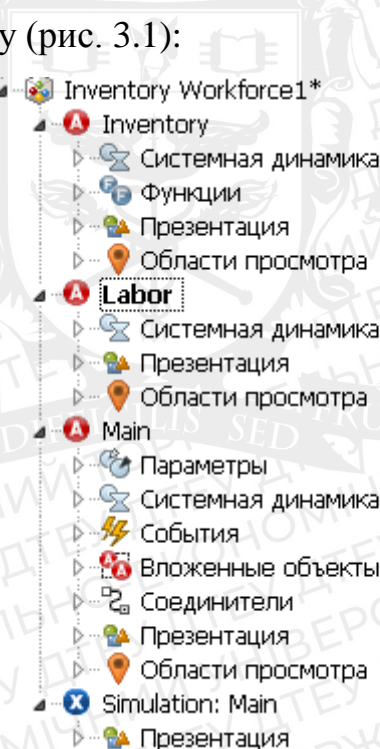


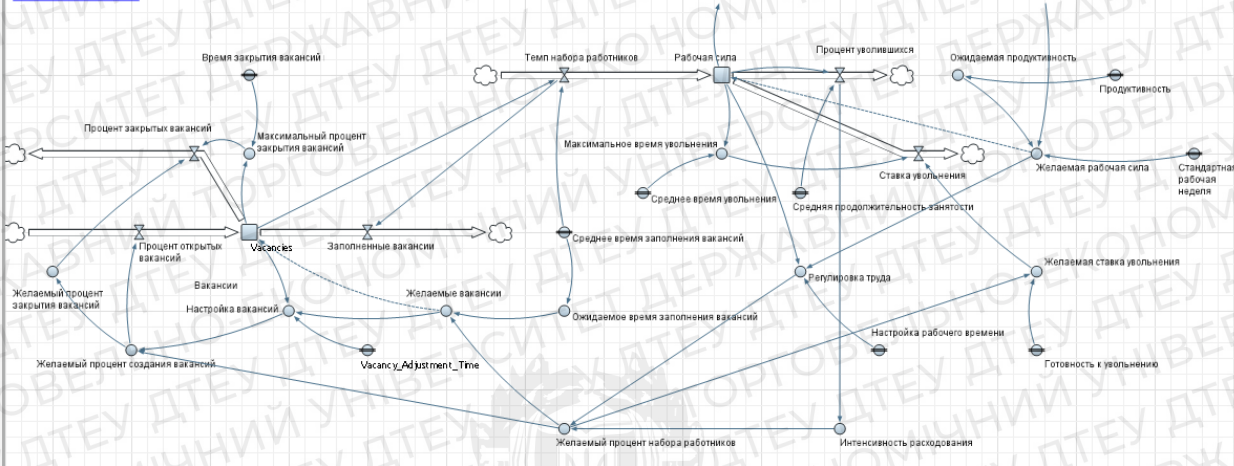
Рис. 3.1. Структура проекту моделі серед AnyLogic

У рамках розробки моделі, а також використовуючи описані процеси предметної області, були створені такі моделі в середовищі AnyLogic:

- 1) модель динаміки використання трудових ресурсів (Labor) (рис. 3.2):

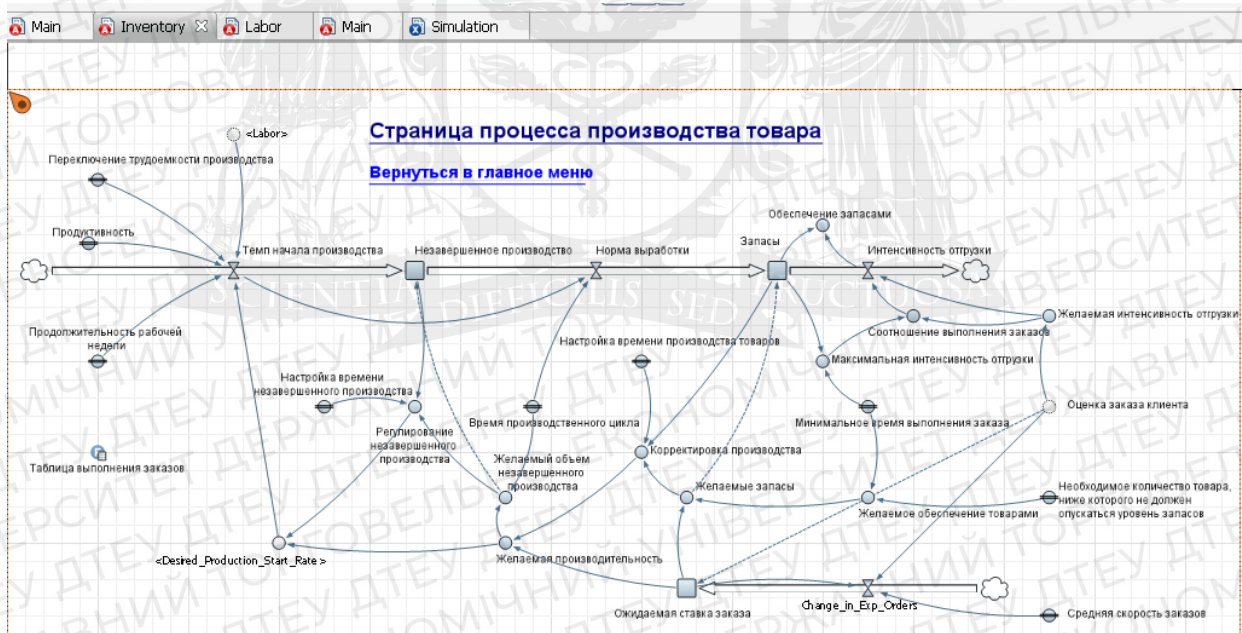
**Модель динамики параметров трудовых ресурсов**

[Вернуться в меню](#)



**Рис.3.2.** Структура модели динамики использования трудовых ресурсов предприятия

2) модель производного процесса предприятия та організація відвантаження готової продукції (Inventory) (рис. 3.3):



**Рис. 3.3.** Структура модели производного процесса предприятия

Виконаємо побудову інтерфейсу управління моделлю із застосуванням даних машинного навчання таким чином, щоб вирішити основні завдання:

1) відображення динаміки замовлень та відвантаження готової, виробленої продукції у вигляді графіка;

2) розрахунок динаміки чисельності трудових ресурсів на підприємстві для виготовлення заданої кількості продукції;

3) відображення динаміки виробництва – реальний і очікуваний, бажаний рівень.

Також в інтерфейсі моделі передбачимо наявність елемента керування "slider" для інтерактивного вибору кількісного показника рівня замовлень продукції.

Крім того, необхідно забезпечити блоки для безпосереднього переходу користувача для перегляду детальних моделей системної динаміки, що відображають показники використання трудових ресурсів та виробництва, зберігання товарів.

Для реалізації процесу порівняння основних показників було продубльовано засоби керування параметрами моделі – у результаті засіб аналізу має додаткові графіки, що відображають результати розрахунків у правій частині інтерфейсу. Регулювання параметрів відбувається за допомогою елемента керування – слайдер, також передбачена можливість задати випадкове розподілення вхідних даних у другу модель.

Підсумковий варіант інтерфейсу налаштування моделі має такий вигляд (рис. 3.4):

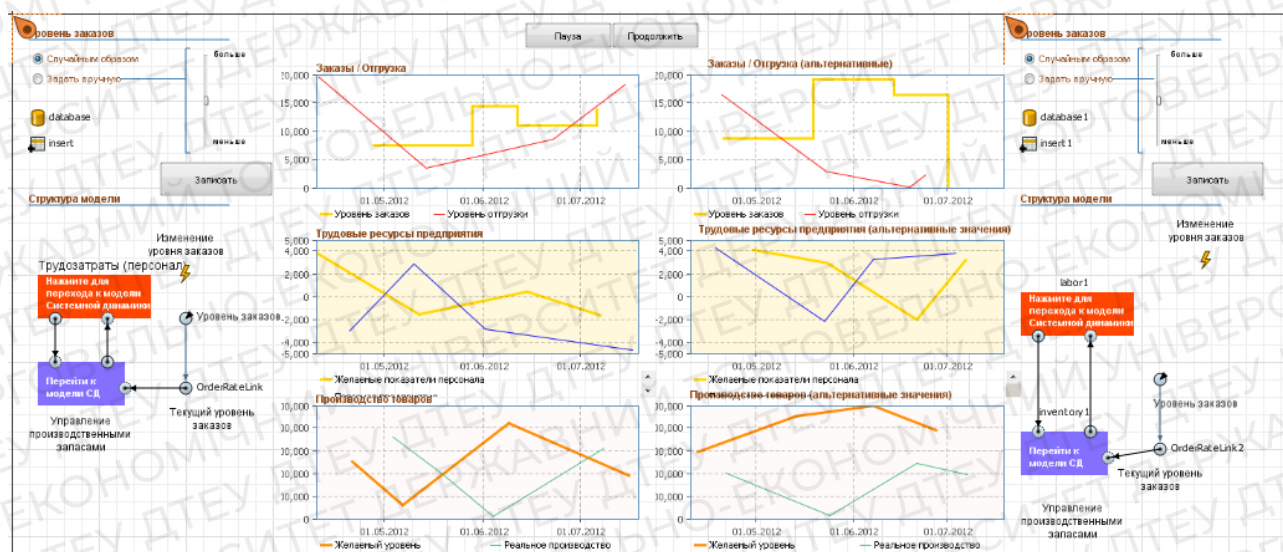


Рис. 3.4. Інтерфейс користування системою

Заповнення основних параметрів моделей відбувається за допомогою розробленої бази даних у форматі Access, де відображено статистичні дані для виконання машинного навчання. Структура таблиць має такий вигляд:

1) таблиця моделі динаміки параметрів трудових ресурсів table1 (рис. 11).

Поля:

ADE – Average\_Duration\_of\_Employment – Середня тривалість зайнятості;

ALT – Average\_Layoff\_Time – Середній час звільнення;

ATVF - Average\_Time\_to\_Fill\_Vacancies – середній час заповнення вакансій;

LabTime - Labor\_Adjustment\_Time - Налаштування робочого часу;

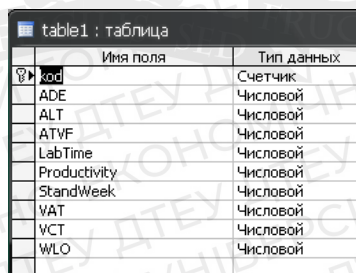
Productivity - Коэф.продуктивності;

Standard\_Workweek – Стандартний робочий тиждень;

VAT - Vacancy\_Adjustment\_Time;

VCT – Vacancy\_Cancellation\_Time – Час закриття вакансій;

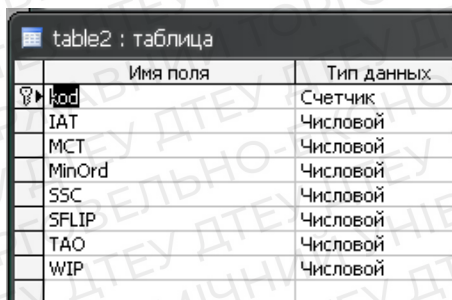
WLO - Willingness\_to\_Lay\_Off - Готовність до звільнення.



	Имя поля	Тип данных
▼	kod	Счетчик
	ADE	Числовой
	ALT	Числовой
	ATVF	Числовой
	LabTime	Числовой
	Productivity	Числовой
	StandWeek	Числовой
	VAT	Числовой
	VCT	Числовой
	WLO	Числовой

**Рис. 3.5.** Таблица моделі динаміки параметрів трудових ресурсів

2) таблиця моделі процесу виробництва товарів table2 (рис. 3.6):



	Имя поля	Тип данных
▼	kod	Счетчик
	IAT	Числовой
	MCT	Числовой
	MinOrd	Числовой
	SSC	Числовой
	SFLIP	Числовой
	TAO	Числовой
	WIP	Числовой

**Рис.3.6.** Таблица моделі процесу виробництва товарів

Поля:

IAT - Inventory\_Adjustment\_Time - Налаштування часу виробництва товарів;

MCT – Manufacturing\_Cycle\_Time – Час виробничого циклу;

MinOrd - Minimum\_Order\_Processing\_Time - Мінімальний час виконання замовлення;

SSC - Safety\_Stock\_Coverage – Необхідна кількість товару, нижче за який не повинен опускатися рівень запасів;

SFLIP - Switch\_for\_Labor\_in\_Production - Перемикання трудомісткості виробництва;

TAO - Time\_to\_Average\_Order\_Rate - Середня швидкість замовлень;

WIP - WIP\_Adjustment\_Time - Налаштування часу незавершеного виробництва.

3) таблиця збереження результатів інтелектуального моделювання itog (рис. 3.7-3.8):

	Имя поля	Тип данных
	код	Счетчик
	znach1	Числовой
	znach2	Числовой
	znach3	Числовой
	znach4	Числовой
	znach5	Числовой
	znach6	Текстовый
	dater	Дата/время

**Рис. 3.7.** Таблица для збереження результатів моделювання (в режимі конструктора)

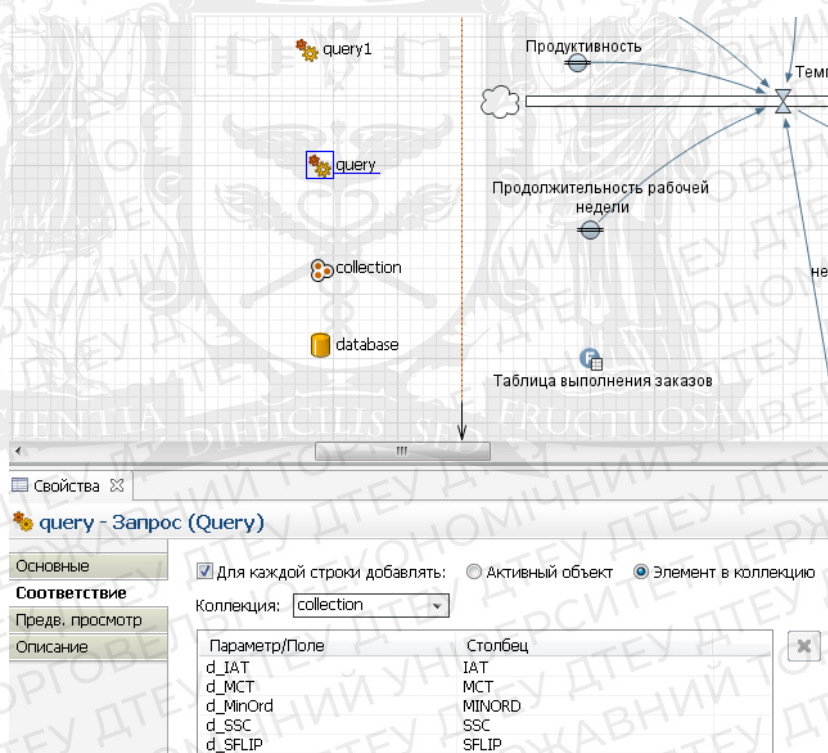
	код	Уровень заказов	Уровень отгрузки	Желаемые показатели персонала	Персонал предприятия	Желаемый уровень	Реальное производство
	17	6000	6000	-730,8268	643,8342	24152,87	73210,9026007011
	18	0	0	-982,3275	697,8098	3927,651	204445,974378934
	19	19000	19000	-800,246	588,4631	35638,41	249717,605391803
	20	19000	12054,98	3826,725	1564,044	71751,91	25390,3774301923
	21	19000	19000	871,7475	2470,118	75651,84	83880,3539266529
	22	10000	10000	-2818,824	2002,365	37156,8	402571,423856642
	23	16000	16000	-2296,306	1631,205	59867,65	513070,978089018
*	(Счетчик)	0	0	0	0	0	0

**Рис. 3.8.** Таблица для збереження результатів моделювання

Підключення моделей до бази даних машинного навчання виконується за допомогою таких компонентів:

- 1) query - компонент для організації запиту-вибірки інформації із зазначеної в налаштуваннях таблиці, в зазначений масив даних (колекцію);
- 2) collection – багатовимірний динамічний масив даних, що дозволяє зберігати результати запитів відповідно до встановленої структури полів;
- 3) database – компонент безпосереднього зв'язку моделі з фізичним файлом бази даних формату Access.

При розміщенні компонентів на полотні моделі зовнішній вигляд інтерфейсу має наступну структуру (рис. 3.9).



**Рис. 3.9.** Розташування компонентів доступу до бази даних у моделі

Виконаємо порівняння двох різних підходів до організації виробництва, змінюючи значення початкових параметрів моделі бази даних. Для першої ситуації вибираємо такі значення (рис. 3.10):

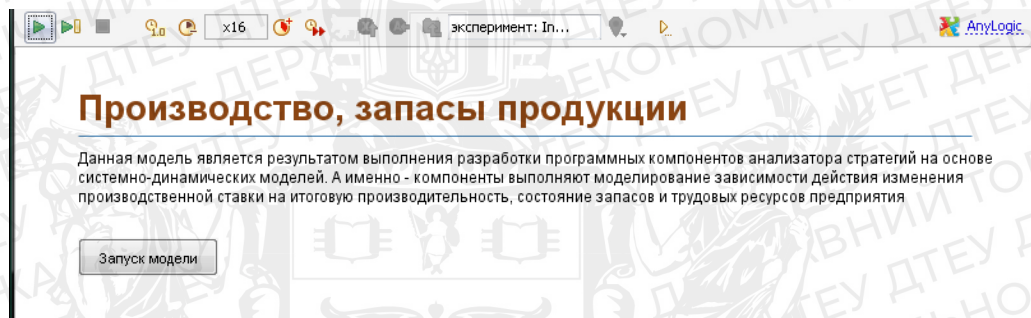
table1 : таблица													
	kod	ADE	ALT	ATVF	LabTime	Productivity	StandWeek	VAT	VCT	WLO			
▶	1	100	8	8	13	0,25	40	4	2	0			
*	(Счетчик)	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

	kod	IAT	MCT	MinOrd	SSC	SFLIP	TAO	WIP
		12	8	2	2	1	8	6

**Рис.3.10.** Вміст таблиць початкових параметрів моделі

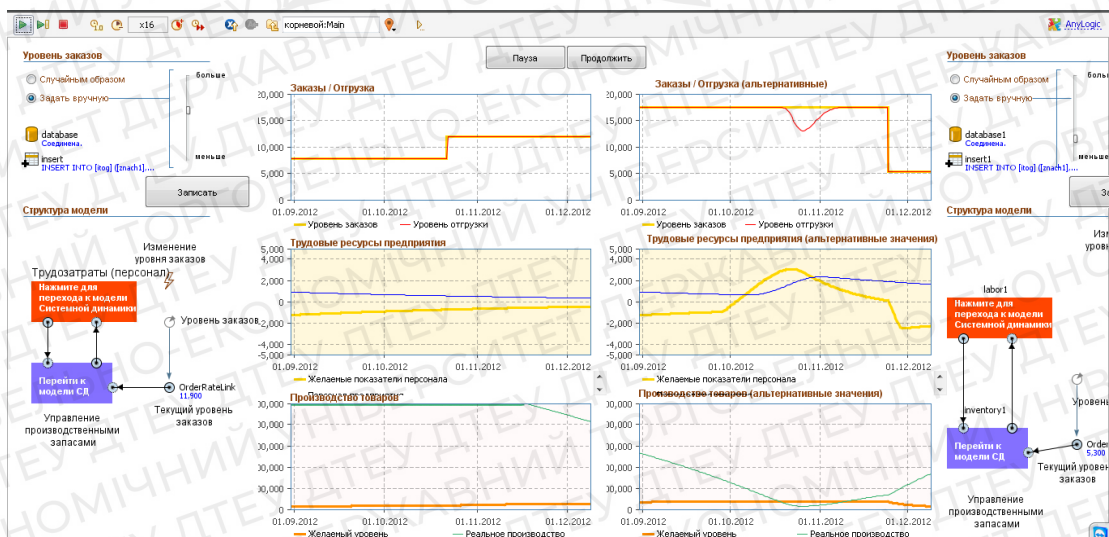
Виконуємо запуск моделі, натиснувши в середовищі управління AnyLogic пункт "Запустити".

На екрані з'являється стартове вікно моделі, в якому слід натиснути кнопку «Запуск моделі» (рис.3.11):



**Рис.3.11.** Стартова сторінка моделі

Старт моделювання починається з поточної дати, і зупиняється на вимогу користувача. Значення кількості замовлень можна встановити вручну, перемістивши перемикач у верхній частині вікна бажану позицію (рис. 3.12).



**Рис. 3.12.** Зменшення рівня замовлень та реакція моделі на процеси



### 3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

При зменшенні рівня замовлень, відповідно, зменшуються і показники за рівнями відвантаження товарів. Кількість персоналу (графік у середній частині вікна) починає поступово знижуватися, але спочатку дуже відрізняється від значення бажаного показника. Виробництво продукції все ще продовжується (графік у нижній частині вікна), цей рівень на порядок вищий за бажаний, оскільки необхідно забезпечити завантаження складів з урахуванням попередніх дій користувача (у якому також було виконано зменшення рівня замовлень).

Виконаємо збільшення кількості замовлень одночасно на основній моделі та на порівняльній, у якій поточне значення рівнів замовлень нижче (рис. 3.13):

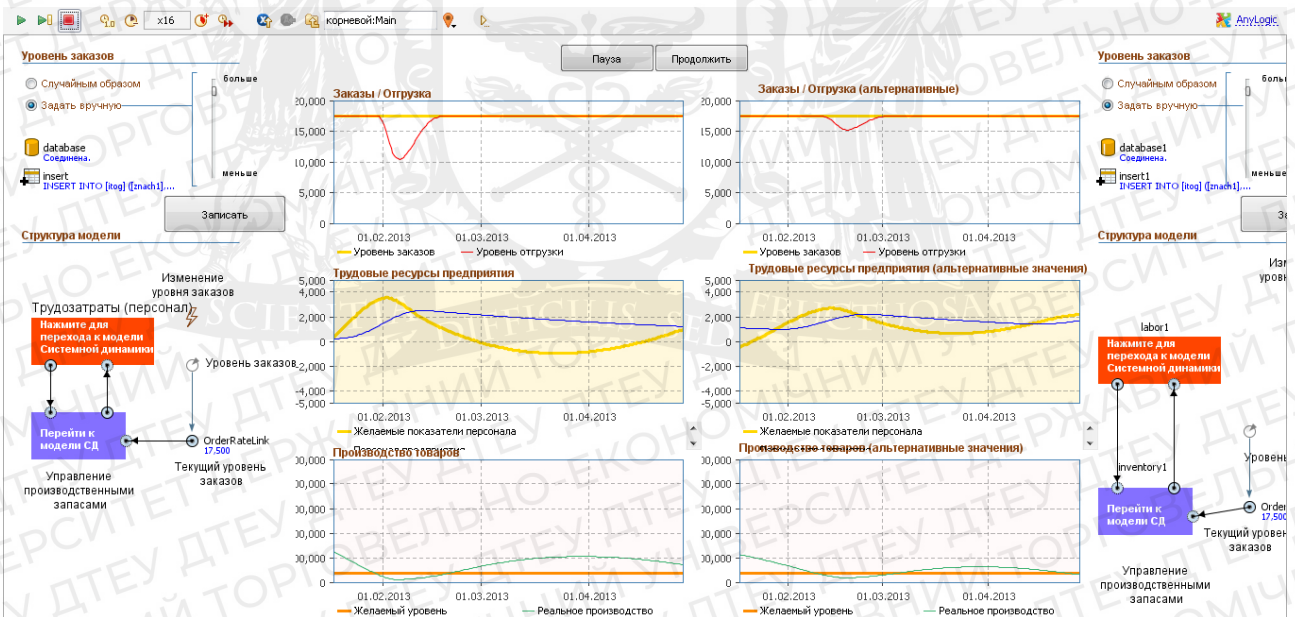


Рис. 3.13. Збільшення рівня замовлень та реакція моделі на процеси

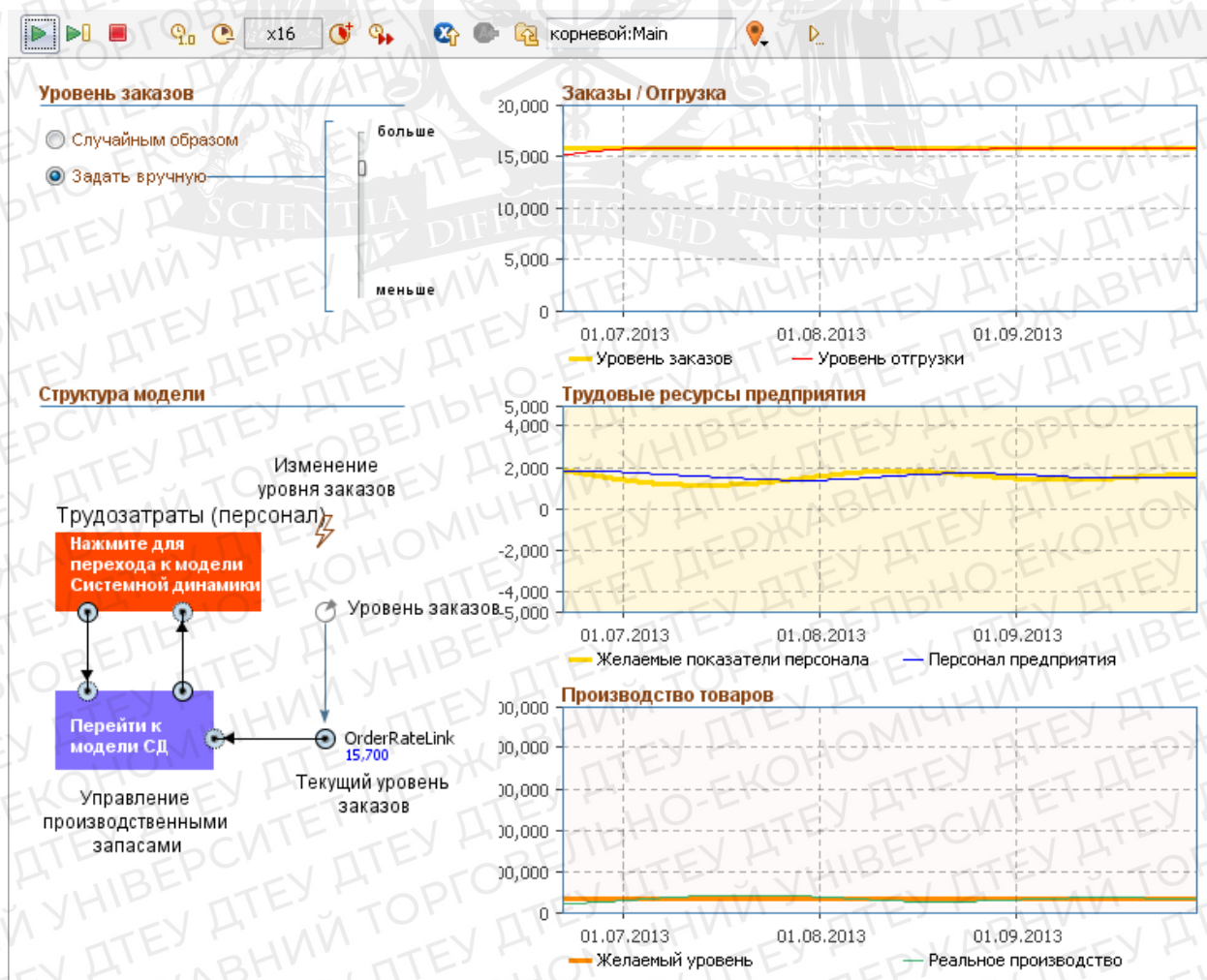
Як видно з результатів моделювання, протягом декількох місяців спостерігається наступна тенденція:

- 1) відбулася природна кількість відвантаження товару, враховуючи наявні у вигляді складських запасів кількості продукції;

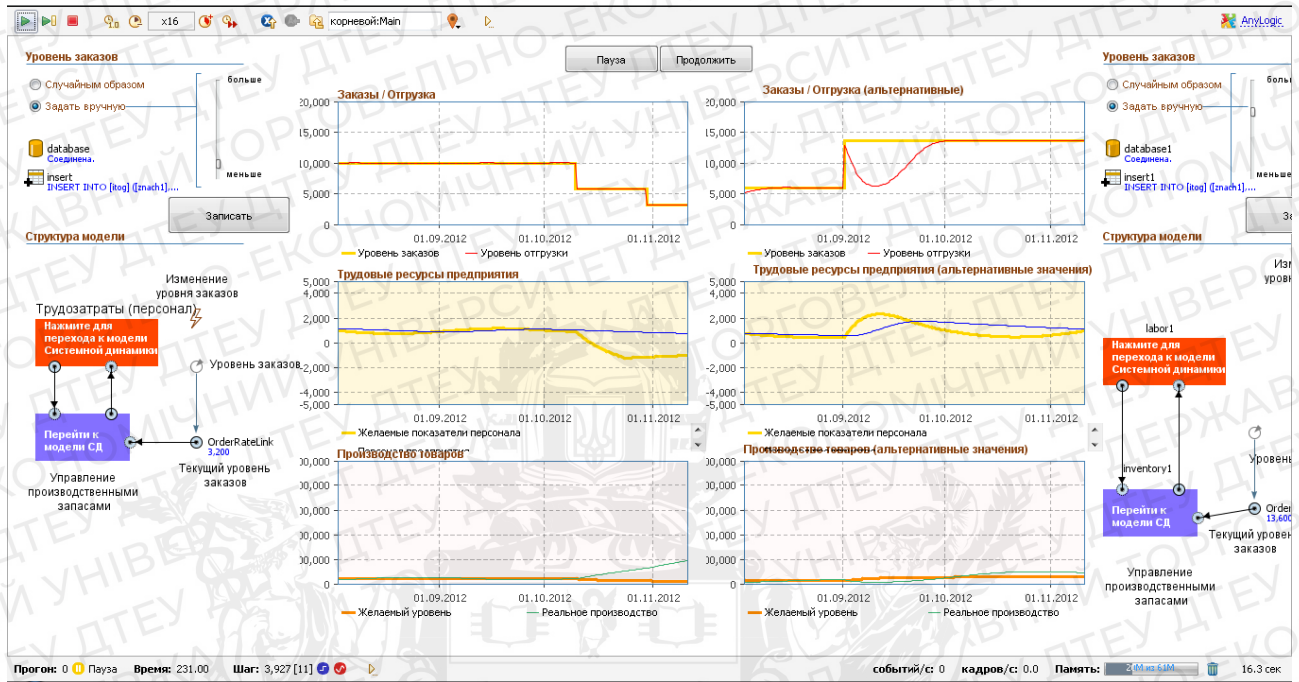
2) відбувається поступове вирівнювання кількості працівників із бажаним показником до повного збігу (рис. 3.14);

3) виконується збільшення рівня виробництва, але не різкою динамікою, вирівнювання рівня виробництва з бажаним відбувається поступово (рис. 20).

Аналізуючи отримані результати можна дійти невтішного висновку, що підсумкової мети досягнуто – сформовані засоби моделювання процесів та його аналізу із застосуванням графічного представлення даних за категоріями «Замовлення / відвантаження продукції підприємства», «Використання трудових ресурсів підприємства», «Виробництво товарів». Також до складу інструментів моделювання були включені можливості для управління рівнем кількості замовлень для проведення моделювання з різноманітними значеннями, що безпосередньо впливають на рівні чисельності працівників, планових показників виробництва та наявності продукції на складах.



**Рис. 3.14.** Усталений рівень показників після часу після останньої зміни рівня замовлень продукції



**Рис. 3.15.** Результат моделювання з вихідними даними першої ситуації

Для другої ситуації збільшуємо коефіцієнт продуктивності, середню тривалість зайнятості, мінімальний час виконання замовлення, а також зменшуємо годинник у робочому тижні (рис. 3.16):

table1 : таблиця											
	kod	ADE	ALT	ATVF	LabTime	Productivity	StandWeek	VAT	VCT	WLO	
	1	200	8	8	13	0,55	30	4	2	0	

table2 : таблиця									
	kod	IAT	MCT	MinOrd	SSC	SFLIP	TAO	WIP	
	1	12	8	10	2	1	8	6	

**Рис. 3.16.** Вміст таблиць змінених параметрів моделі

Для внесення змін до моделі достатньо призупинити виконання моделювання та змінити значення в таблицях параметрів table1 та table2.

Результат моделювання з вихідними даними другої ситуації представлено на рис. 3.17.

При зміні параметрів правої моделі зміни накладаються на графіки параметрів, час моделювання при поточних параметрах основної моделі не зупиняється, що забезпечує однаковий модельний час для двох засобів.

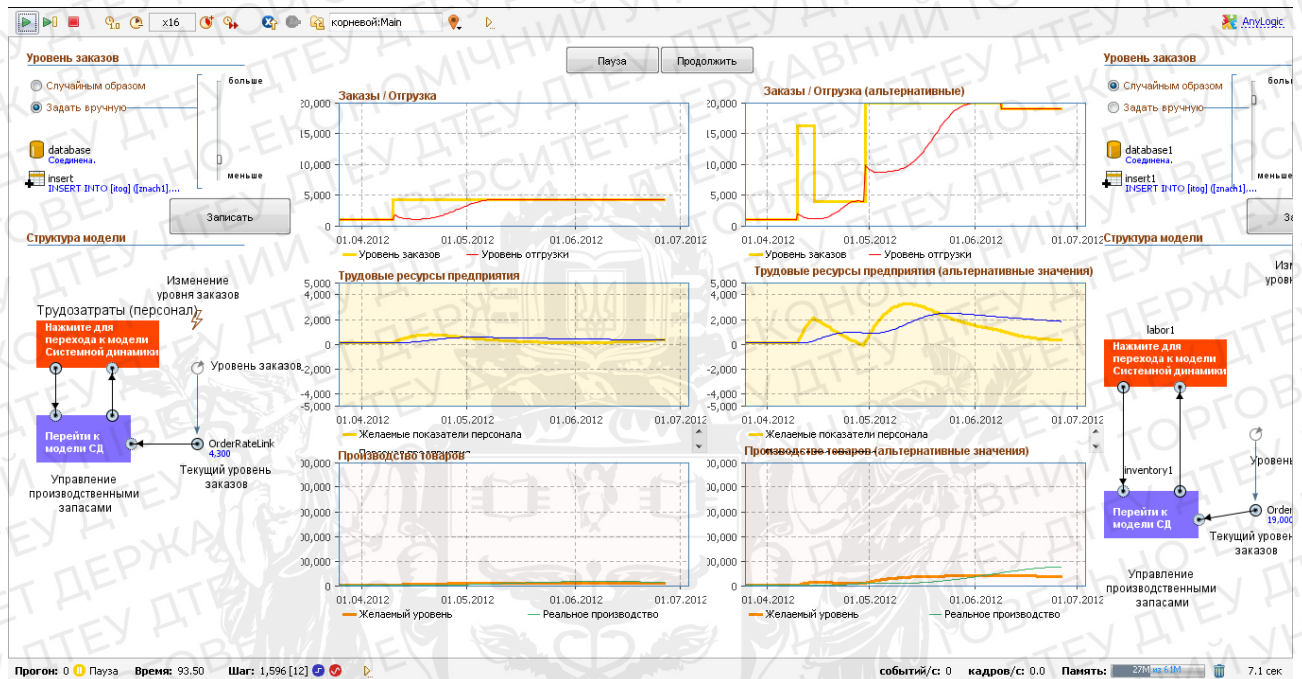


Рис. 3.17. Результат моделювання з вихідними даними другої ситуації

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок про зміну у підсумкових значеннях:

- рівень відвантаження більш стабільний протягом зазначеного періоду та збігається з плановими показниками;
- трудові ресурси підприємства протягом періоду завжди заповнені, з деяким перевищенням планованих;
- реальне виробництво товарів перевищує заплановані показники.

Порівняльний графік результатів моделювання при двох різних ситуаціях розміщено на тому ж аркуші презентацій моделі.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження та програні сценарії показали хорошу чутливість моделі до змін вхідних параметрів, що дозволяє визнати реалістичними результати розрахунків та визнати можливість їх практичного застосування. Запропонований підхід до моделювання процесів прийняття рішень у галузі управління персоналом на підприємстві а також управління запасами та виробничим процесом дає можливість працівникам кадрової служби, планово-економічних відділів своєчасно передбачити всілякі варіанти розвитку ситуації та виробити прийнятні політики дій у різних умовах, починаючи зі стабільного, стійкого. розвитку економіки, з можливим зростанням обсягів виробництва, та закінчуючи умовами глибокої кризи.

Спрощений характер моделі, тим не менш, дає плідний ґрунт для визначення політики найму персоналу як за рахунок залучення кваліфікованих кадрів з боку, так і за рахунок їх підготовки та перепідготовки на базі або власної навчально-виробничої бази, або в рамках системного вищого та середнього спеціального. професійної освіти

Впровадження у практику планування методів системно-динамічного моделювання забезпечує системне, планомірно організоване бачення процесів управління персоналом, виробничим процесом. Дане бачення, підкріплене системою взаємопов'язаних технічних, організаційно-економічних та соціальних заходів щодо формування, розподілу, перерозподілу робочої сили, виробничих ресурсів на рівні підприємства, підготовки та перепідготовки кадрів забезпечує створення умов для найкращого використання трудового потенціалу з метою забезпечення ефективного функціонування підприємства та всебічного розвитку зайнятих у ньому працівників.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. AnyLogic Tutorial. XJ Technologies. - Режим доступу: <http://www.xjtek.com>.
2. AnyLogic User's Manual. XJ Technologies. - Режим доступу: <http://www.xjtek.com>.
3. 1. Анісімов А.В. Інформаційні системи та бази даних: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. / Анісімов А.В., Кулябко П.П. – Київ. – 2017. – 110 с.
4. 2. Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навч. Посібник / В. М. Антоненко, С. Д. Мамченко, Ю. В. Рогушина. – Ірпінь : Нац. університет ДПС України, 2016. – 212 с.
5. Воронін А. М. Інформаційні системи прийняття рішень: навчальний посібник. / Воронін А. М., Зіатдінов Ю. К., Климова А. С. – К. : НАУ-друк, 2009. – 136с.
6. Галузинський Г. П. Інформаційні системи у бізнесі. Практикум для індивідуальної роботи: навч.метод. посіб. для самост. вивч. Дисципліни. / Галузинський Г. П., Денісова О. О., Писаревська Т. А. – К. : КНЕУ, 2008. – 524с.
7. Годун В.М. Інформаційні системи і технології в статистиці: навч. посіб. / В.М. Годун, Н.С. Орленко, М. А. Сендзюк; за ред. В.Ф. Ситника. – К.: КНЕУ, 2003. – 267 с.
8. Грицунов О. В. Інформаційні системи та технології: навч. посіб. для студентів за напрямом підготовки «Транспортні технології» / О. В. Грицунов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 222 с.
9. Інформаційні системи в економіці : навч. посібник / Пономаренко В. С., Золотарьова І. О., Бутова Р. К. та ін. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2011. – 176 с.
10. Інформаційні системи в промисловості : навчальний посібник / Л. О. Добровольська, О. О. Черевко. – Маріуполь : ПДТУ, 2014. – 238 с.

11. Інформаційні системи в сучасному бізнесі : навчальний посібник / В. С. Пономаренко, І. О. Золотарьова, Р. К. Бутова та ін. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2011. – 484 с.
12. Інформаційні системи і технології в банківській сфері: навч. посіб. для студ. спец. 6.050105 "Банківські справи". / Аніловська Г. Я., Чуй І. Р., Вус М. Л., Стоколоса Т. М. – Л. : ЛКА, 2008. – 332 с.
13. Калінеску Т.В. Інформаційні системи і технології в оподаткуванні: навч. посіб. / Т.В. Калінеску , Г.С. Ліхоносова, О.М. Антіпов. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. – 407 с.
14. Томашевський В.М. Моделювання систем. Підручник / В.М. Томашевський.- К. : Видавнича група ВНУ, 2015. - 352с.
15. Кравець І.О. Імітаційне моделювання: Навч. Посібник / І.О. Кравець. - ЧДУ ім. Петра Могили, 2010.- 107 с.
16. Моделювання і симуляція логістичних систем / Ю.І. Толу, С.І. Планка / - Курс лекцій для вищих технічних навчальних закладів. - Київ: «Міленіум», 2010. - 85 с.
17. Коробова М.В. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів / М.В. Коробова, І.М. Ляшенко, А.М. Столяр. - Тернопіль: "Навчальна книга - Богдан", 2016. - 304 с.
18. Anylogic. Навчальний посібник по Enterprise Library: XJ Technologies Company Ltd. - 2010-2014. - 117 с.
19. Ситник В. Ф., Орленко Н. С. Імітаційне моделювання: Навч. посібник. - К. : КНЕУ, 2010. - 232 с.
20. Рославцев Д. М. Конспект лекцій з курсу «Організація і проектування логістичних систем» / Д. М. Рославцев; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х. : ХНАМГ, 2012. - 111 с.
21. Пономаренко, С. В. Теорія та практика моделювання бізнес-процесів: монографія / В. С. Пономаренко, С. В. Мінухін, С. В. Знахур. - Х.: Вид. ХНЕУ, 2013. - 244 с.

22. Кельтон В., Лоу А. Імітаційне моделювання. Класика CS .3-е видання. - Київ: Видавнича група ВНУ, 2014. - 847с.

23. Стеценко І.В., Батора Ю.В. Імітаційне моделювання транспортного руху через світлофорні об'єкти // Вісник Черкаського державного технологічного університету. - Черкаси, 2016. - №3. - С.75-79.

24. Ситник В.Ф., Орленко Н.С. Імітаційне моделювання: Навч.-метод. посібник для самот. вивч. дисц. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://studentam.kiev.ua/content/view/701/94/>.

