

ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розробка імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства»

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

Зайцев Євгеній
Вікторович

*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 2022

Державний торговельно-економічний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджую

Зав. кафедри _____ Пурський О.І.

«28» грудня 2021 р.

**Завдання
на випускню кваліфікаційну роботу студенту**

Зайцев Євгеній Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи

«Розробка імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства»

Затверджена наказом ректора від 29 листопада 2021 р. №3929

2. Строк здачі студентом закінченої роботи

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи

Мета роботи: Розробка імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства.

Об'єкт дослідження: процеси функціонування ланцюгів поставок виробничого підприємства.

Предмет дослідження: інформаційні технології моделювання ланцюгів поставок.

4. Перелік графічного матеріалу таблиці, рисунки

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.		
2	Селіванова А.В.		
3	Селіванова А.В.		

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

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика функціонування ланцюгів поставок виробничих підприємств

Сучасний стан функціонування ланцюгів поставок виробничих підприємств

Аналіз особливостей діяльності виробничих підприємств

Інформаційні технології моделювання ланцюгів поставок

РОЗДІЛ 2. Розробка моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства

2.1. Специфіка функціонування ланцюгів поставок виробничого підприємства

2.2. Розробка діаграм взаємодій

2.3. Розробка імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства

РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства

3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей ланцюгів поставок

3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

7. Календарний план виконання роботи

№ п/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	
		За планом	Фактично
1	2	3	4
1	Вибір теми випускної кваліфікаційної роботи	31.10.2021	
2	Розробка та затвердження завдання на випускну кваліфікаційну роботу	31.12.2021	
3	Вступ	31.01.2022	
4	РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика функціонування ланцюгів поставок виробничих підприємств	28.02.2022	
5	РОЗДІЛ 2. Розробка моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства	31.03.2022	
6	РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства	16.05.2022	
7	Висновки	31.05.2022	
8	Здача випускної кваліфікаційної роботи на кафедрі науковому керівнику	03.06.2022	

9	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>випускної</i>	10.06.2022	
11	<i>Виправлення зауважень, рецензування випускної роботи</i>	<i>зовнішнє кваліфікаційної</i>	12.06.2022	
12	<i>Представлення готової кваліфікаційної роботи на кафедру</i>		15.06.2022	
13	<i>Публічний захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>випускної</i>	<i>За розкладом роботи ЕК</i>	

8. Дата видачі завдання

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 Зайцев Є.В.
(прізвище, ініціали, підпис)

12. Відгук керівника випускної кваліфікаційної роботи

Керівник випускної кваліфікаційної роботи Селіванова А.В.

(підпис, дата)

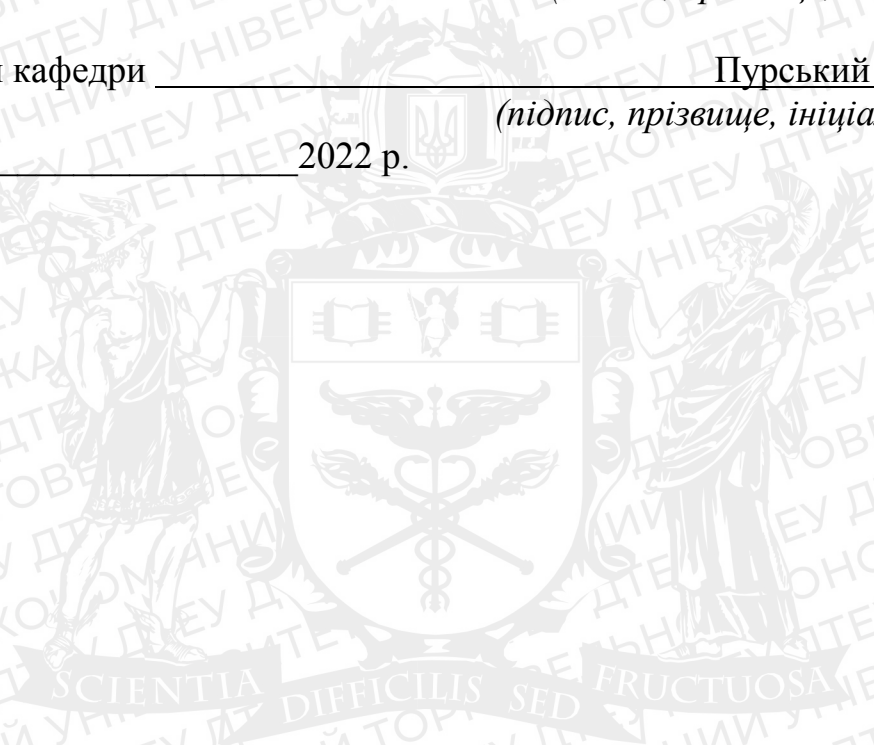
13. Висновок про випускну кваліфікаційну роботу

Випускна кваліфікаційна робота студента Зайцев Є.В.
(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)

« _____ » 2022 р.



Анотація

У випускній кваліфікаційній роботі реалізується модель функціонування одного з аспектів роботи виробничого підприємства, а саме – ланцюгів поставок, завдяки засобам імітаційного моделювання. В роботі проаналізований поточний стан та особливості роботи виробничих підприємств та деталі функціонування в їх процесі ланцюгів поставок, зокрема розглянуті інформаційні технології для моделювання ланцюга поставок на виробничою підприємстві. Концептуально було описано процес функціонування ланцюгів поставок: вивчено специфіку їх роботи, необхідні нюанси для розробки діаграми взаємодії і розробки самої імітаційної моделі, до відтворення якої був не менш змістовний підхід.

Описано процес вибору методів для розробки імітаційних моделей та на обраному прикладі проаналізовано специфіку розробки імітаційної моделі ланцюгів поставок, створено модель та проведено над нею оптимізаційний експеримент. В ході дослідження визначено певні висновки стосовно виробничої галузі та актуальності підходу імітаційного моделювання і наведено певні пропозиції стосовно моделювання процесів виробничих підприємств.

Ключові слова: імітаційне моделювання, ланцюги поставок, виробниче підприємство, діаграма взаємодії.

Abstract.

The final qualification project implements a model of functioning of one of the aspects of the production enterprise, namely - supply chains, thanks to the means of simulation. There is a meaningful approach to the theoretical basis: the current state and features of industrial enterprises and details of the functioning of supply chains in their process are analyzed, in particular, information technologies for modeling the supply chain at the industrial enterprise are considered. The process of functioning of supply chains was conceptually described: the specifics of their work were studied, the nuances necessary for the development of the

interaction diagram and the development of the simulation model itself, to reproduce which was no less meaningful approach.

The process of choosing methods for the development of simulation models was described and the specifics of the development of the simulation model of supply chains were analyzed on the selected example, the model was created and an optimization experiment was conducted on it. In the course of the passed work certain conclusions concerning production branch and urgency of the approach of simulation modeling are defined and certain offers concerning modeling of processes of the industrial enterprises are resulted.

Keywords: simulation modeling, supply chains, manufacturing plant, interaction diagram.



ВСТУП

В наш час моделювання є одним з найрозповсюдженіших методів дослідження процесів у системах. Даний метод ґрунтується на тому, що будь-який об'єкт або процес замінюється на модель, і на основі вивчення властивостей саме цієї моделі результати моделювання переносяться на реальний об'єкт вивчення.

На практиці використовують багато методів моделювання, але є один такий метод, який став популярним в останнє десятиліття. Даний метод називається метод імітаційного моделювання. Назва даного методу походить від слова «імітація», що означає збагнення суті явища без проведення реального експерименту.

Метою даного методу є отримання інформації з так званої імітаційної моделі – логіко-математичного опису реального об'єкта, що може бути використаний в експериментуванні на комп'ютері. Отримання даної інформації, в свою чергу, потрібне для аналізу та оцінки функціонування об'єкта, що досліджується. Імітаційне моделювання реалізується за допомогою математичних інструментальних засобів та спеціального програмного забезпечення, яке дозволяє проводити цілеспрямоване дослідження структури і функцій реального складного процесу в пам'яті комп'ютера в режимі імітації. Можна з впевненістю сказати те, що імітаційне моделювання нерозривно пов'язане з використанням комп'ютерної техніки. Прикладами спеціального програмного забезпечення для імітаційного моделювання можуть слугувати наступні програми: AnyLogic , Arena, GPSS World та багато інших.

У теорії і практиці моделювання, в тому числі і імітаційного, важливе місце посідають моделі систем масового обслуговування (СМО). Моделювання даних систем є завжди актуальним, так як людство постійно стикається з ними. До цих систем відносять усі системи, що обслуговують потік вимог, або черги вимог, що надходять. До цих систем відносяться склади постачальницько-збутових організацій, каси в банках, телефонні

станції, пости технічного обслуговування автомобілів, сервери, що обслуговують заявки робочих станцій на інформацію, процеси обслуговування в черзі на заправній станції, у магазинах тощо [4].

Системи масового обслуговування є основним поняттям теорії масового обслуговування. Дана теорія описує роботу СМО як випадковий процес з дискретними станами та неперервним часом. При цьому ці стани можуть змінюватися в певний проміжок часу [2]. Основною задачею теорії масового обслуговування є побудова моделей, які пов'язують задані умови роботи СМО з показниками ефективності системи, що описують її спроможність впоратися з одним або декількома потоками вимог. Потоки вимог – це послідовність монотонних та одноманітних подій, що надходять у систему.

Метод імітаційного моделювання застосовують для тих задач та завдань, в яких необхідно одночасно враховувати фактори невизначеності, комплексну взаємозалежність між досліджуваними факторами в системі, динамічну та взаємну обумовленість поточних рішень тощо. Прикладом таких задач є оптимізація роботи банківського відділення, вдосконалення процесів виробництва деталей на конвеєрі, налагодження дорожнього руху у вибраній вулично-дорожній мережі міста тощо. Як правило, задачі такого типу мають великий масштаб, велику кількість внутрішніх взаємозв'язків, є дорогими або неможливими в плані проведення експерименту, а також такими, для яких неможливо побудувати аналітичну модель. Щодо останньої особливості – маються на увазі такі моделі, в яких присутні причинні зв'язки, нелінійності, стохастичні, або випадкові, змінні, а також час. Багато з таких вищенаведених систем якраз і являються системами масового обслуговування [2].

Застосування методів імітаційного моделювання на практиці досліджувалося і досліджується багатьма вченими з усього світу. В США проблемами імітаційного моделювання займалися такі видатні вчені, як В. Кельтон, Т. Депюї, Дж. Белліс, П. Сейворі та інші. А в Україні дидактичні та

психолого-педагогічні умови застосування імітаційного моделювання в розробці комп'ютерних та інформаційних технологій досліджувались такими українськими вченими, як Л.Е. Гризун, В.П. Муляр, О.В. Вітюк, В.Б. Івасик, І.В. Лупан, Н.О. Макоєд, О.Ю. Бабела та інші вчені [10-12].

Попри те, що імітаційне моделювання має багато переваг, багато дослідників проблем методів імітаційного моделювання виділяють такі недоліки, як складність оцінки ступеню точності моделі та її адекватності, спільність застосування та індивідуальність реалізації моделей, а також більший час та більші витрати на розробку якісної моделі.

Мета даного дослідження – розробка імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства.

Об'єктом дослідження процеси функціонування ланцюгів поставок виробничого підприємства.

Предметом дослідження інформаційні технології моделювання ланцюгів поставок.

Актуальність роботи: в умовах розвитку ринкової економіки дана задача є актуальною, оскільки вимоги, що пред'являються до подібних СМО, досить високі. У зв'язку з цим на перший план виходить питання оптимізації роботи ланцюгів поставок. Подібні завдання дозволяють проаналізувати роботу системи і вжити відповідних заходів щодо її поліпшення.

РОЗДІЛ І. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Сучасний стан функціонування ланцюгів поставок виробничих підприємств

Ефективне управління виробничим об'єднанням, що включає декілька промислових об'єктів, являється складною задачею для керівників такого підприємства. Одним з важливих та актуальних питань управління виробничим об'єднанням є формування раціональної виробничої програми, що забезпечить підприємству отримання максимального прибутку. На прибуток виробничого об'єднання впливає багато факторів, серед яких обсяг виручки від реалізації від продукції підприємств, що входять до складу об'єднання, обсяги прямих та постійних витрат, чисельність персоналу та продуктивність його праці, ціни на продукцію, та ін. Забезпечення оптимального обсягу витрат на підприємствах виробничого об'єднання надасть змогу максимізувати прибуток. На цей процес також може вплинути оптимізація структури виробничого об'єднання: скорочення чи розширення чисельності підприємств об'єднання, оптимізація чисельності персоналу виробничих цехів та адміністративних підрозділів.

Актуальність питання збільшення прибутку підприємств визначається потребою в інвестиційних витратах, джерелом яких є чистий прибуток підприємства. Отримання достатнього обсягу прибутку забезпечить виробничому об'єднанню необхідний обсяг фінансування наукових розробок, капітальних інвестицій, що в результаті призведе до підвищення конкурентоспроможності підприємства, поліпшення його фінансового стану і матеріального стану його працівників. Отже, створення науково обґрунтованої моделі управління виробничим об'єднанням необхідне для ефективного його функціонування. Тому важливою є задача підбору параметрів системи управління виробничим об'єднанням таким чином, щоб максимізувати отримуваний прибуток та забезпечувати при цьому умови безперебійного виробництва. Єдиної універсальної моделі управління

виробничим об'єднанням сьогодні не існує, тому питання розробки такої моделі є актуальним.

Огляд сучасної літератури з питань економіко-математичних методів вирішення задач управління підприємством показав, що наука нагромадила певний досвід щодо розв'язку типових задач з оптимізації господарської діяльності підприємства по окремим напрямкам. Зокрема можна відмітити моделі динамічного програмування, ймовірнісні та статичні моделі висвітлені в працях таких вчених як Р. Беллман, Х.А. Таха, А.М. Стерлигова, Ю.П. Зайченко та ін. Однак більшість класичних моделей управління підприємством стосуються окремих функціональних сфер управління та не відображають системи управління в цілому. Також існуючий ряд моделей містить недоліки, які ускладнюють їх використання в реальних економічних умовах, зокрема: обмеженість багато продуктових моделей, необхідність врахування випадкового характеру щоденного попиту, врахування впливу різноманітних економічних факторів.

1.2 Аналіз особливостей діяльності виробничих підприємств

Основи знань про черги, іноді звані теорією черг або теорією масового обслуговування, складають важливу частину теорії управління виробництвом. Черги можуть носити форму очікування ремонту автомобіля в центрі автосервісу або очікування студентами консультації у професора. Моделі черг (як і лінійне програмування, моделі управління запасами, методи мережевого аналізу проектів) використовуються і у сфері управління матеріальним виробництвом, і у сфері обслуговування. Аналіз черг в термінах довжини черги, середнього часу очікування, середнього часу обслуговування і інших чинників допомагає нам краще зрозуміти принципи організації системи обслуговування.

Можна зазначити, що оптимізаційні завдання менеджменту різні за своїм змістом і реалізуються з використанням стандартних програмних продуктів, відповідають тому або іншому класу економіко-математичних

моделей. Класифікацію деяких основних завдань оптимізації, що реалізуються менеджментом на виробництві, можна виконати за наступними ознаками: функція управління; склад оптимізаційних завдань; клас економіко-математичних моделей (Табл.1) [8].

Таблиця 1. Класифікація задач управління виробництвом

Функції управління	Задачі оптимізації	Клас економіко-математичних моделей
1	2	3
Технічна і організаційна підготовка виробництва	<p>Моделювання складу виробів.</p> <p>Оптимізація складу марок, сумішей.</p> <p>Оптимізація розкрою листового матеріалу, прокату.</p> <p>Оптимізація розподілу ресурсів в мережевих моделях комплексів робіт.</p> <p>Оптимізація пласировок підприємств, виробництв і устаткування. Оптимізація маршруту виготовлення виробів.</p> <p>Оптимізація технологій і технологічних режимів</p>	<p>Дискретне(цілочисельне) програмування.</p> <p>Лінійне програмування.</p> <p>Мережеве планування і управління. Імітаційне моделювання.</p> <p>Динамічне програмування.</p> <p>Нелінійне програмування.</p> <p>Теорія графів</p>
Техніко-економічне планування	<p>Побудова зведеного плану і прогнозування показників розвитку підприємства. Оптимізація портфеля замовлень і виробничої програми.</p> <p>Оптимізація розподілу виробничої програми по планових періодах</p>	<p>Балансові(матричні) моделі "затрати-випуск".</p> <p>Кореляційно-регресійний аналіз.</p> <p>Екстраполяція тенденцій.</p> <p>Лінійне програмування</p>
Оперативне управління основним виробництвом	<p>Оптимізація календарно-планових нормативів.</p> <p>Календарні завдання.</p> <p>Оптимізація стандарт-планів.</p> <p>Оптимізація короткострокових планів виробництв</p>	<p>Нелінійне програмування.</p> <p>Імітаційне моделювання.</p> <p>Лінійне програмування.</p> <p>Цілочисельне програмування</p>

Інша важлива ознака систематизації – класифікація моделей за її елементами: початковим даним, шуканим змінним, залежностям, що описують мету завдання (моделювання) і обмеження (Рис.1).



Рис.1. Класифікація моделей за елементами

Залежно від початкових даних виділяють 3 типи математичного опису завдань управління: детерміновані, імовірнісні і завдання в умовах невизначеності. Найбільш типовою задачею управління підприємством – це задача оптимального розподілу ресурсів (матеріальні, праця, капітал). Наприклад, підприємства торгівлі запчастинами має на складах певний обсяг запасів (сталі, та ін. матеріалів), а також обмежені виробничі потужності (150 тис. автомобілів за рік). Задача оптимізації розподілу ресурсів може бути поставлена наступним чином.

1.3 Інформаційні технології моделювання ланцюгів поставок

В основному для систем масового обслуговування використовують методи аналітичного моделювання. Методи аналітичного моделювання полягають у побудові та дослідженні математичних моделей. В їх основі покладено ідентичність форми рівнянь та однозначність співвідношень між змінними в рівняннях, які описують оригінал та модель. Хоча аналітичні моделі можуть відтворити властивості оригіналу, але при цьому частими недоліками даних моделей є значні спрощення, такі як зображення потоку замовлень як найпростішого або припущення про показниковий розподіл часу обслуговування тощо. Дані спрощення можуть ставити під сумнів результати аналітичного моделювання. Також важливим недоліком

аналітичних моделей є громіздкість обчислень, які потрібні для створення навіть найпростішої аналітичної моделі. Тому дедалі більше застосовують методи імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання знімає більшість обмежень, що пов'язані з відображенням в моделях реального процесу функціонування досліджуваної системи, динамічної взаємної обумовленості поточних і наступних подій, комплексного взаємозв'язку між параметрами і показниками ефективності системи тощо. На відміну від аналітичних, деякі імітаційні моделі не є лаконічними, але при цьому це зумовлює більшу точність результатів моделювання [3].

На практиці для створення імітаційної моделі для будь-якої СМО потрібно виконати багато дій. Послідовність створення імітаційної моделі передбачає наступні кроки:

- Визначення і аналіз задачі;
- Визначення вимог до інформації;
- Висування гіпотез та прийняття припущень;
- Встановлення основного змісту моделі;
- Визначення змінних, параметрів та критеріїв ефективності для моделі системи;
- Опис концептуальної моделі та перевірка її на адекватність;
- Побудова логічної структурної схеми.

Як бачимо, у процесі побудови імітаційної моделі важливе значення відіграють вимоги до інформації, змінні, параметри та критерії ефективності системи, яку, власне, і моделюють. Такий підхід, звісно, забирає багато часу та ресурсів, але від цього модель стає ближчою до об'єкту моделювання, в нашому випадку – систем обслуговування. Особливо даний підхід є виправданим для тих проектів, які є дорогими та комплексними. Також імітаційне моделювання потрібно для прогнозування роботи процесів у СМО на протязі тривалого часу. Завдяки сучасному програмному забезпеченню для імітаційного моделювання можна проаналізувати всі процеси, що відбуваються в СМО, в динаміці, при цьому час можна пришвидшувати або

зменшувати для детального аналізу самої динаміки процесів та результатів, які отримуються в процесі моделювання. Отже, для моделювання систем масового обслуговування доцільніше використовувати саме методи імітаційного моделювання. В наступному підрозділі ми розберемо український та зарубіжний досвід застосування методів імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання можна застосувати для створення та оптимізації систем масового обслуговування. Одним з найяскравіших прикладів СМО є дорожній рух. З дорожнім рухом людина стикається на протязі всього свого життя, і саме тому регулювання дорожнього руху є однією з тих задач, які ніколи не втратять свою актуальність. Задача дорожнього руху є спорідненою з транспортними задачами. Транспортні задачі в свою чергу є задачами про оптимальний план перевезення ресурсів з пунктів відправлення до пунктів призначення. Основною ціллю вирішення задач такого типу є мінімізація витрат на перевезення. Наразі існують ґрунтовно розроблені теоретико-методологічні основи імітаційного моделювання транспортних систем. Для прикладу можна навести такі системи імітаційного моделювання транспортних мереж, як американська PHAROS, німецька PLANTSIM-T, французька SIMDAC, іспанська AIMSUN2 та багато інших.

Розглянемо принцип роботи систем імітаційного моделювання транспортних систем на прикладах систем PTV VISSIM та AIMSUN2. Дане програмне забезпечення є німецькою розробкою в сфері імітаційного моделювання транспортних потоків. Програма PTV VISSIM є повнофункціональним комплексом інструментів, призначених для моделювання роботи регульованих або нерегульованих перехресть, транспортних розв'язок різних рівнів складності з метою аналізу пропускної здатності транспортних мереж, оцінки впливу типу перетину доріг на пропускну здатність, аналізу запропонованих нововведень в дорожньо-транспортній мережі. Також у продукти реалізовані функції фіксації часу

проїзду маршруту, виникнення заторів, визначення довжини черги, рівня шуму, витрати палива, вихлопів шкідливих речовин тощо. Також дана система дозволяє проводити моделювання на реальних перехрестях за допомогою ГІС-карт. Отже, застосування методів імітаційного моделювання та відповідного програмного забезпечення дозволяє фахівцям планувати, створювати, вдосконалювати та досліджувати моделі систем масового обслуговування.



РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1. Специфіка функціонування ланцюгів поставок виробничого підприємства.

Під системою масового обслуговування (далі СМО) розуміють складну систему, що складається з одного або декількох джерел запитів (заявок, вимог) на виконання певних дій (обслуговування), декількох приладів обслуговування (ліній обслуговування, каналів обслуговування), що виконують ці дії відповідно до певних правил (дисципліни обслуговування) за запитами, що надійшли в систему. Характерною особливістю СМО є імовірність процесів, що відбувається, і можливість утворення черги запитів на обслуговування. Розглянемо базові поняття СМО.

Джерело запитів. Джерело запитів визначається як зовнішня щодо СМО система, із якої запити надходять в неї для обслуговування. Джерело називають нескінченним або кінцевим залежно від того, нескінченна чи кінцева кількість запитів міститься в ньому. Якщо джерело містить кінцеву, але досить велику кількість запитів, то його зазвичай вважають нескінченним. Наприклад, хоча кількість користувачів інформаційно-пошукової системи Google кінцева, припускають, що вони утворюють нескінченне джерело [3].

Канали обслуговування. СМО може мати один або більше каналів (ліній, приладів) обслуговування. СМО з одним каналом називаються одно-канальними або однолінійними, тоді як системи обслуговування, що містять більше каналів обслуговування, називаються багатоканальними або багатолінійними. Прилади обслуговування можуть бути однорідними й неоднорідними. У СМО з однорідними приладами всі прилади обслуговують запити однаково. У СМО з неоднорідними приладами прилади відрізняються один від одного деякими параметрами, наприклад інтенсивністю обслуговування.

Дисципліна обслуговування. Правило, згідно з яким запити вибираються для обслуговування, складають дисципліну обслуговування. Умовно всі дисципліни обслуговування по наданих переваг в обслуговуванні діляться на дві групи: без пріоритетні і пріоритетні. Кожна з цих груп ділиться на ряд підгруп [1]. Без пріоритетні дисципліни обслуговування поділяються на дисципліну обслуговування в порядку надходження, у зворотному порядку, із випадковим вибором з черги та циклічну дисципліну обслуговування.

Дисципліна обслуговування в порядку надходження (у міжнародній нотації FIFO – First Input First Output) є найпоширенішою, більшість досліджень щодо теорії масового обслуговування виконуються для цієї дисципліни. Вона широко використовується в операційних системах. Циклічні дисципліни обслуговування використовуються під час обробки інформації в режимі поділу часу. При пріоритетних дисциплінах обслуговування з черги на обслуговування спочатку вибираються заявки з вищим пріоритетом. Вони поділяються на дисципліни з фіксованими й динамічними пріоритетами.

При дисципліні обслуговування з відносним пріоритетом не дозволяється переривання обслуговування запиту на каналі. Якщо в систему з дисципліною обслуговування з абсолютним пріоритетом надійде запит з пріоритетом вищим, ніж той що обслуговується, то він припинить обслуговування цього запиту й надійде на обслуговування. Системи з абсолютним пріоритетом розрізняють за кількістю рівнів пріоритету, а також за алгоритмами для обслуговування перерваних запитів. При дисциплінах обслуговування з динамічним пріоритетом пріоритет конкретних запитів змінюється залежно від змінювання деяких величин, наприклад часу очікування в черги. За наявності певної ознаки системи масового обслуговування можна класифікувати так:

1. *За кількістю вимог, що надходить за одиницю часу,* на системи з ординарним і неординарним потоками вимог. Якщо імовірність надходження двох і більше вимог одночасно дорівнює нулю або має настільки мале значення, що ним можна знехтувати, то отримаємо систему з ординарним

потоким вимог. Наприклад, потік вимог – літаки, що надходить на злітно-посадкову смугу аеродрому, можна вважати ординарним.

2. *За зв'язком між вимогами* – на системи без післядії і з післядією. Якщо ймовірність надходження вимог у систему в деякий момент часу не залежить від того, скільки вимог уже надійшло, тобто не пов'язана з передісторією досліджуваного процесу, то отримаємо систему без післядії, в іншому разі – із післядією. Прикладом системи з післядією може слугувати потік студентів, що здають залік викладачу.

3. *За реакцією вимоги на зайнятість каналів* – на системи з відмовами й очікуваннями. Якщо вимога, яка надійшла на обслуговування, застала всі канали зайнятими і змушена залишити систему, то отримаємо систему з відмовами.

4. *Системи з очікуванням* розподіляються на системи з обмеженим і необмеженим очікуванням. Якщо вимога залишає систему, коли черга набула певного розміру, то отримаємо систему з обмеженим очікуванням. Прикладом може слугувати самоскид з розчином. Якщо час очікування настільки великий, що розчин може затвердіти, то самоскид доречно розвантажити в іншому місці. Якщо вимога, яка надійшла, застала всі канали зайнятими і змушена очікувати своєї черги доти, доки вона не буде обслужена, то отримаємо систему з очікуванням без обмежень. Приклад: літак, що перебуває на аеродромі й очікує звільнення злітної смуги.

5. *За способом вибору вимог на обслуговування* розподіляються так:

- із пріоритетом вимог;
- у процесі надходження вимог;
- із випадковим вибором вимог;
- остання вимога обслуговується першою.

Якщо система масового обслуговування охоплює декілька категорій вимог і за якимись ознаками визначається порядок їх вибору на обслуговування, то отримаємо систему з пріоритетом вимог. Приміром, під час надходження виробів на будівельний майданчик насамперед монтують ті, що обумовлені

будівельною технологією [1]. Якщо канал, що звільнився, обслуговує вимогу, яка надійшла в систему раніше за інші, то отримаємо систему обслуговування вимог у процесі їх надходження. Наприклад, покупець, що підійшов першим до продавця, обслуговується першим. Якщо вимоги з черги в канал обслуговування надходить випадково, то отримаємо систему з випадковим вибором вимог на обслуговування. Приклад: вибір слюсарем-сантехніком однієї з декількох заявок від мешканців, із часом надходження яких він не ознайомлений. Якщо для обслуговування обирається остання вимога, що надійшла, то отримаємо систему з вибором «останній обслуговується першим». Приміром, під час укладання будівельних виробів штабелями зручніше обирати зі штабеля (черги) виріб, покладений останнім.

6. *За часом обслуговування вимоги* – на системи з детермінованим і випадковим часом обслуговування. Якщо інтервал часу між моментом надходження вимоги в канал обслуговування і моментом виходу вимоги з каналу постійний, то отримаємо систему з детермінованим часом обслуговування, в іншому разі – із випадковим. Наприклад, миття автомобілів становить систему обслуговування з детермінованим часом обслуговування.

7. *За кількістю каналів обслуговування* – на одно- та багатоканальні системи. Приміром під час монтажу будинку може використовуватися один підймальний кран (один канал обслуговування) або декілька (багато каналів обслуговування).

8. *За кількістю етапів обслуговування* – на одно- та багатозафазні системи. Якщо канали обслуговування розташовуються послідовно й неоднорідні, то отримаємо багатозафазну систему обслуговування. Прикладом такої системи може слугувати обслуговування автомобілів на СТО (миття, діагностика, заміна фільтрів тощо).

9. *За однорідністю вимог* – на системи з однорідними й неоднорідними потоками вимог. Приміром, якщо під навантаження прибувають фургони

однієї вантажопідйомності, то отримаємо систему з однорідним потоком вимог, якщо різної – із неоднорідним.

10. *За завантаженістю каналів* – на впорядковані й неупорядковані системи.

У впорядкованих системах обслуговуючі канали завантажені нерівномірно.

Вимога, що надійшла, обслуговується чіткого визначеним каналом із наявних вільних, а саме каналом з найменшим номером (вважається, що всі канали пронумеровані).

У неупорядкованих системах усі канали однакові й вимога,

що надійшла, обслуговується одним із вільних каналів без будь-яких переваг

[6]. Головним завданням дослідження СМО є встановлення залежностей

базових характеристик, а саме: середній час очікування, імовірність відмови

обслуговування від параметрів системи – інтенсивностей обслуговування на

приладах, кількості приладів обслуговування, дисципліни обслуговування.

Різноманітність СМО унеможлиблює використання для аналізу одного

методу. Хоча на практиці для певної групи СМО зазвичай використовується

один метод, що дає змогу мінімізувати обчислення й скоротити час

визначення базових залежностей.

2.2. Розробка діаграм взаємодій.

На етапі побудови концептуальної моделі системи і її формалізації

формується модель і будується її формальна схема. Основним призначенням

цього етапу є перехід від змістовного описання об'єкта до його математичної

моделі, іншими словами, процес формалізації. Формалізуючи реальну

систему за допомогою Q-схеми, необхідно побудувати структуру такої

системи.

Елементи структури:

- Д - джерело;
- Н - накопичувач;
- К - канал.

Зв'язки, що відображають рух заявок, позначені суцільною лінією. Керуючі

зв'язку - пунктирні лінії. Клапани використовуються для блокування каналу.

Блокування по входу - канал відключається від вхідного потоку заявок.

Блокування по виходу - обслужених заявка залишається в каналі до моменту зняття блокування. Якщо перед накопичувачем немає клапана - при його переповненні матиме місце втрата заявок.

Аналіз умови задачі і структурної схеми дозволяє зробити висновок, що в процесі перевезення виробів зі складу можливі наступні ситуації:

- 1) Брак виробів А або В. При цьому прибула машина відразу їде без вантажу.
- 2) Навантаження виробів. При цьому знову прибувають машини очікують своєї черги на навантаження і їдуть по завершенні навантаження.

На Рис. 2. показана структурна схема завантаження готової продукції в автомашини.

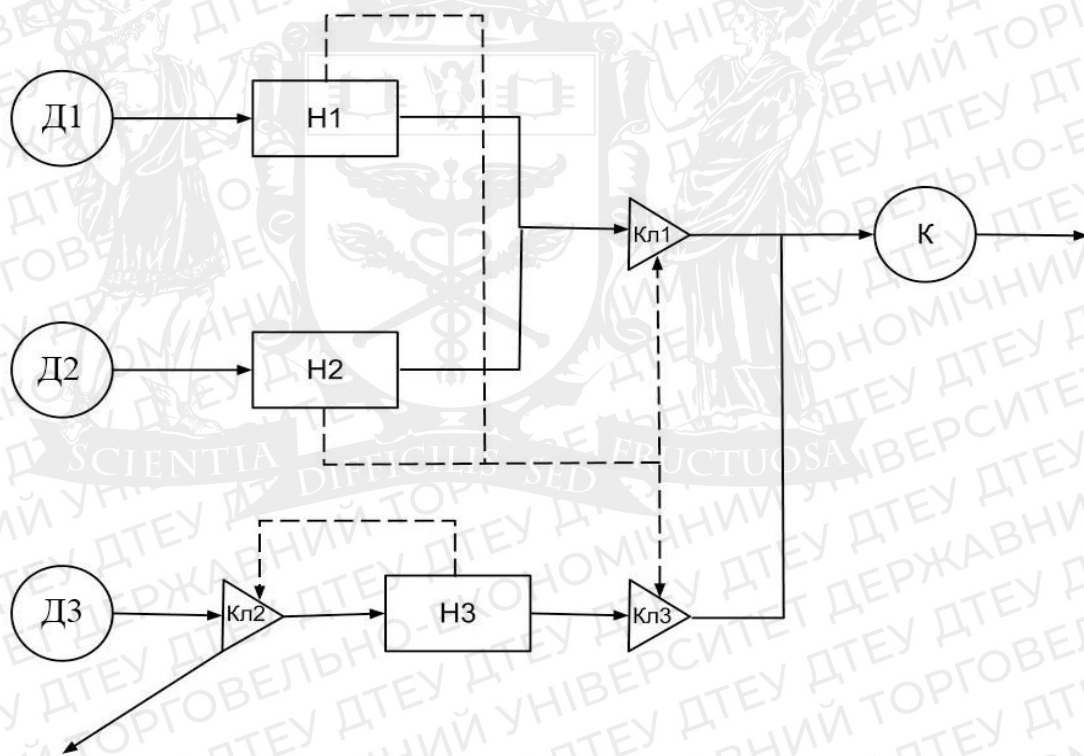


Рис. 2. Структурна схема завантаження готової продукції в автомашини.

Позначення, застосовувані на Рис. 2.

Д1 - джерело, що імітує надходження виробів типу А на склад.

Д2 - джерело, що імітує надходження виробів типу В на склад.

Д3 - джерело, що імітує надходження автомашин до складу.

Н1 - накопичувач, що імітує кількість виробів типу А, які перебувають на складі.

Н2 - накопичувач, що імітує кількість виробів типу В, що знаходяться на складі.

Н3 - накопичувач, що імітує кількість автомашин, що знаходяться біля складу.

К - канал, що імітує навантаження продукції в автомашини.

Кл1 - клапан, який контролює щоб вироби обох типів були на складі по 1000 штук кожна.

Кл2 - клапан, який контролює щоб кількість автомашин, що одночасно знаходяться біля складу, не перевищувало трьох, включаючи автомашину, що стояла під навантаженням.

Кл3 - клапан, який контролює, щоб машина не під'їжджала під навантаження поки на складі не набереться 1000 штук продукції кожного типу.

2.3 Розробка імітаційної моделі ланцюгів поставок виробничого підприємства.

Застосування методів імітаційного моделювання та відповідного програмного забезпечення дозволяє фахівцям планувати, створювати, вдосконалювати та досліджувати моделі систем масового обслуговування. В наступному розділі на прикладі розв'язання задачі дорожнього руху ми з'ясуємо роль імітаційного моделювання в дослідженні систем масового обслуговування. З розвитком автоматизованих систем управління, розширенням сфер застосування засобів обчислювальної техніки значно різноманітніше стає коло економічних і управлінських завдань, які необхідно вирішувати. Практика вимагає постановки і вирішення все більш складних (комплексних) завдань. У цих умовах побудова адекватних моделей завдань і розробка методів їх рішення стають все більш насущними проблемами [2]7. Особливо це стосується таких завдань, в яких необхідно одночасно враховувати фактори невизначеності, динамічну взаємну обумовленість поточних рішень, наступних подій, комплексну взаємозалежність між

досліджуваними факторами. Як правило, такі практичні завдання мають велику розмірність, мають велику кількість внутрішніх взаємозв'язків, тому їх не вдається звести до відомих моделей типу математичного програмування або застосувати для їх вирішення інші традиційні методи математичного моделювання [2]. Для вирішення таких завдань розробляється, а останніми роками отримав особливо широкий розвиток метод імітаційного моделювання на ЕОМ.

Так, за одним із визначень, імітація – це чисельний метод проведення на ЕОМ експериментів з математичними моделями, що описують поведінку складних систем протягом тривалих періодів часу. Таке уявлення про метод імітації в економіко-математичному аналізі засноване на використанні властивості наслідування, тобто відтворення процесів, що протікають у досліджуваній складній системі, штучними засобами за допомогою математичних моделей, що реалізуються на ЕОМ [3]. Математичні моделі, які використовуються в імітації, можуть суттєво відрізнятися від традиційних. Позначимо ці відмінності детальніше. При цьому виходитимемо з того, що дослідження реальної системи за допомогою математичних методів є реалізацією низки послідовних етапів і пов'язується, як правило, з досягненням певної мети досліджень: вивчення діючої реальної системи, аналізу гіпотетичної системи або проектування досконалішої системи. Можна виділити декілька основних етапів моделювання:

1. Постановка задачі дослідження, вивчення модельованої системи, збирання емпіричної інформації, виділення основних проблем моделювання.
2. Формування математичної моделі, вибір структури і принципів опису моделі та її підмоделей, допустимих спрощень, вимірюваних параметрів і критеріїв оцінки якості моделі.
3. Розробка програмного забезпечення розв'язання моделі або імітаційного алгоритму, генерація чи складання машинних програм.

4. Оцінка адекватності математичної моделі і перевірка достовірності та придатності моделюючого алгоритму за ступенем погодженості і допустимості результатів контрольних експериментів з вхідними даними.
5. Планування багатоваріантних експериментів, вибір функціональних характеристик системи, що вивчається, для дослідження, визначення методів обробки результатів експериментів.
6. Робота з моделлю, проведення розрахунків і експериментів.
7. Аналіз результатів, формулювання висновків за даними моделювання і практичне використання результатів.

Під імітаційною системою розуміють програмний або апаратно-програмний комплекс, призначений для рішення завдань із використанням методу імітаційного моделювання. При виділенні різновидів імітаційних систем виходять із того, що вони є інструментальними засобами, що забезпечують автоматизовану підтримку певних видів діяльності користувача[2]. Імітаційна система реалізує алгоритм рішення завдання і надає користувачеві сервісні можливості по керуванню обчислювальним процесом. Автоматизована підтримка інших етапів системного аналізу засобами імітаційної системи не є обов'язковою. Однак саме ступінь їхньої автоматизації визначає можливості імітаційної системи і є основою їхньої класифікації. З урахуванням етапності системного аналізу і технологічних завдань, що розв'язуються на них, виділимо можливий набір засобів імітаційної системи, що автоматизують виконання ряду функцій, реалізованих на цих етапах.

Створення моделі може бути підтримано наступними засобами:

- частково готовою моделлю або моделями;
- компіляторами з алгоритмічної мови високого рівня, спеціалізація якого полегшує процес складання алгоритмів імітації;
- спеціальною мовою високого рівня, що дозволяє виконати інформаційний або математичний опис моделі системи;

- конверторами моделей, що дозволяють здійснювати перетворення моделей одного виду в моделі іншого виду (інформаційної в математичну, математичної в імітаційну, інформаційної в імітаційну);
- засобами контролю погодженості різних видів моделей з концептуальним поданням моделі.

Перевірка адекватності та технічної реалізованості може виконуватися з використанням [6]:

- програм обчислення показників адекватності;
- автоматизованої технології проведення обмеженого експерименту з імітаційною моделлю;
- програм обчислення характеристик складності моделі;
- програм обчислення ресурсних показників методу рішення завдання.

Корекція моделі може забезпечуватися:

- автоматизованими технологіями редагування текстів моделей;
- програмами еквівалентних перетворень математичних і алгоритмічних моделей заданого класу.

Створення алгоритму рішення завдання може підтримуватися:

- методоорієнтованими бібліотеками та пакетами програм;
- конструкторами алгоритмів рішення завдань;
- інформаційними системами підтримки прийняття рішень тощо.

Функціонування будь-якої СМО полягає в обслуговуванні потоку вимог, які одна за одною або групами надходять до неї в деякі, як правило, випадкові моменти часу. Вимоги, які надійшли до СМО, обробляються протягом певного часу, після чого залишають систему [6]. У будь-якій системі обслуговування передбачена наявність пристроїв для обслуговування (інші назви: прилади для обслуговування, сервери, канали) і вимог (інші назви: заявки, виклики, клієнти), які потребують обслуговування. Правила або алгоритми взаємодії пристроїв і вимог називатимемо дисциплінами поставлення в чергу та обслуговуванням.

Для кожної СМО задається режим роботи. Слід відзначити, що для вимоги може бути потрібно кілька обслуговувань одним або кількома пристроями. Звичайно термін «пристрій для обслуговування» (англійською - «server») використовується для відносно простих моделей, в яких кожна вимога може обслуговуватись тільки одним пристроєм. Якщо ж вимоги обслуговуються кількома пристроями в певній послідовності, переміщаючись за заданим маршрутом, то має місце «мережа обслуговування» (англійською — «queueing network»). Зазвичай за допомогою методів теорії масового обслуговування розв'язують задачі з проектування та експлуатації однотипних елементів обслуговування - наприклад, розраховують кількість контрольно-пропускного обладнання, місць для ремонту, бензоколонки, обслуговуючого персоналу, ліній зв'язку, одиниць обладнання обчислювальної техніки тощо.

Окремим типом завдань у теорії масового обслуговування є визначення місць накопичування вимог у системі обслуговування, наприклад, визначення місць на стелажах на складі або в багатоповерховому гаражі, кількості пристроїв введення-виведення інформації комп'ютера та ін. [6]. Реальні складні системи, до числа яких відносяться і сучасні АСУ, можна досліджувати за допомогою двох типів моделей: аналітичних та імітаційних. В аналітичних моделях поведінку складних систем записується у вигляді деяких функціональних відносин або логічних умов. Для побудови аналітичних моделей є потужний математичний апарат (алгебра, функціональний аналіз, теорія автоматичного управління і т.д.), наявність якого значно полегшує побудову моделей такого роду. Однак, при аналітичному описі складних систем часто доводиться йти на спрощення уявлення реальних явищ, що трохи знижує точність аналітичних моделей.

Коли явища в складних системах настільки складні і різноманітні, що аналітична модель стає занадто грубим наближенням до дійсності, то дослідник повинен використовувати імітаційне моделювання. В імітаційній моделі поведінка компоненту складної системи описується набором

алгоритмів, які потім реалізують ситуації, що виникають в реальній системі. При дослідженні операцій часто доводиться стикатися з системами, призначеними для багаторазового використання при вирішенні однотипних завдань. Виникаючі при цьому процеси отримали назву процесів обслуговування, а системи - систем масового обслуговування (СМО). Прикладами таких систем є телефонні системи, ремонтні майстерні, обчислювальні комплекси, квиткові каси, магазини, перукарні і т.д. Заявка (запит, вимога, виклик, клієнт, повідомлення, пакет) - об'єкт, що надходить в СМО і потребує обслуговування в приладі. Сукупність послідовних заявок, розподілених у часі, утворюють вхідний потік заявок. При цьому заявки виконуються за допомогою наявних у розпорядженні системи каналів обслуговування. З позиції моделювання процесу масового обслуговування ситуації, коли утворюються черги заявок (вимог) на обслуговування, виникають таким чином. Вимога, надходячи в обслуговуючу систему, приєднується до черги з тих, що надійшли раніше. Канал обслуговування вибирає вимогу з наявних у черзі і розпочинає її обслуговування. Після завершення обслуговування чергової вимоги канал обслуговування приступає до обслуговування наступної вимоги, якщо вона є у блоці очікування.

Даний цикл функціонування системи масового обслуговування повторюється багаторазово протягом всього періоду роботи обслуговуючої системи. При цьому передбачається, що перехід системи на обслуговування чергової вимоги після завершення обслуговування попередньої вимоги відбувається миттєво, у випадковий момент часу. Для опису вхідного потоку вимог потрібно задати ймовірнісний закон, що визначає послідовність моментів надходження вимог на обслуговування і вказати кількість таких вимог у кожному черговому надходженні. При цьому, як правило, оперують поняттям «ймовірнісний розподіл моментів надходження вимог». Тут можуть надходити як одиничні, так і групові вимоги (вимоги надходять групами в

систему). В останньому випадку мова йде про систему обслуговування з паралельно-груповим обслуговуванням.

Дисципліна черги – це важливий компонент системи масового обслуговування, він визначає принцип, відповідно до якого вимоги, що надходять на вхід обслуговуючої системи, підключаються з черги до процедури обслуговування. Найчастіше використовуються дисципліни черги, зумовлені правилами:

- першим прийшов – першим обслуговується;
- прийшов останнім – обслуговується першим;
- випадковий відбір заявок;
- відбір заявок за критерієм пріоритетності;
- обмеження часу очікування моменту настання обслуговування (має місце черга з обмеженим часом очікування обслуговування, що асоціюється з поняттям «допустима довжина черги»).

Механізм обслуговування визначається характеристиками самої процедури обслуговування і структурою обслуговуючої системи. До характеристик процедури обслуговування відносяться: тривалість процедури обслуговування і кількість вимог, що задовольняються в результаті виконання кожної такої процедури. Для аналітичного опису характеристик процедури обслуговування оперують поняттям «ймовірнісний розподіл часу обслуговування вимог». Слід зазначити, що час обслуговування заявки залежить від характеру самої заявки або вимог клієнта і від стану та можливостей обслуговуючої системи. У ряді випадків доводиться також ураховувати ймовірність виходу обслуговуючого приладу після закінчення деякого обмеженого інтервалу часу.

Структура обслуговуючої системи визначається кількістю і взаємним розташуванням каналів обслуговування (механізмів, приладів і т. п.). Причому система обслуговування може мати не один канал обслуговування, а декілька; система такого роду здатна обслуговувати одночасно кілька вимог. У цьому випадку всі канали обслуговування пропонують одні й ті ж

послуги і, отже, можна стверджувати, що має місце паралельне обслуговування. Система обслуговування може складатися з декількох різнотипних каналів обслуговування, через які має пройти кожна обслуговувана вимога, тобто в обслуговуючій системі процедури обслуговування вимог реалізуються послідовно. Механізм обслуговування визначає характеристики вихідного потоку вимог.

Предметом теорії масового обслуговування є встановлення залежності між факторами, що визначають функціональні можливості системи масового обслуговування, та ефективністю її функціонування. У більшості випадків усі параметри, що описують системи масового обслуговування, є випадковими величинами або функціями, тому ці системи відносяться до стохастичних систем.

Випадковий характер потоку заявок, а також тривалості обслуговування приводить до того, що в системі масового обслуговування (СМО) відбувається випадковий процес. За характером випадкового процесу, що відбувається в СМО, розрізняють системи марковські і немарковські. У марковських системах вхідний потік вимог і вихідний потік обслугованих вимог (заявок) є пуасонівськими. Пуасонівські потоки дають змогу легко описати і побудувати математичну модель системи масового обслуговування. Дані моделі мають досить прості рішення, тому більшість відомих додатків теорії масового обслуговування використовують марківську схему. Незалежно від характеру процесу, що відбуваються в системі масового обслуговування, розрізняють два основних види СМО:

- системи з відмовами, в яких заявка, що надійшла в систему в момент, коли всі канали зайняті, отримує відмову і відразу ж залишає чергу;
- системи з очікуванням (чергою), в яких заявка, що надійшла в момент, коли всі канали обслуговування зайняті, стає в чергу і чекає, поки не звільниться один з каналів.

Системи масового обслуговування з очікуванням поділяються на системи з обмеженим очікуванням і системи з необмеженим очікуванням у системах з обмеженим очікуванням може обмежуватися:

- довжина черги;
- час перебування в черзі.

У системах з необмеженим очікуванням заявка, що стоїть у черзі, чекає обслуговування необмежено довго, тобто поки не підійде черга. Всі системи масового обслуговування розрізняють за кількістю каналів обслуговування:

- одноканальні системи;
- багатоканальні системи.

Наведена класифікація СМО є умовною. На практиці найчастіше системи масового обслуговування виступають як змішані системи.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Специфіка побудови імітаційних моделей ланцюгів поставок

Як показує практика, саме імітаційне моделювання, а також лінійне програмування та регресійний аналіз за діапазоном та частотою використання є часто використовуваними методами дослідження операцій, в тому числі і операцій систем масового обслуговування. Наразі існують ґрунтовно розроблені теоретико-методологічні основи імітаційного моделювання транспортних систем. Щодо українського досвіду застосування методів імітаційного моделювання для дорожнього руху, то можна зазначити наступне. В Україні, як і в усьому світі, застосування систем імітаційного моделювання є доволі поширеним, хоча в основному для цього використовують іноземні програмні продукти.

3.2 Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

Створюємо нову модель, вибравши пункт меню Файл > Створити > Модель.

Даємо ім'я моделі «Робота_ділянки» та задаємо хвилини в якості модельного часу (Рис. 3.).

Рис. 3. Створення нової моделі

На графічне поле Main додаємо початковий блок діаграми процесу Source, який знаходиться на палітрі «Бібліотека моделювання процесів», та даємо йому назву «НадходженняАгрегатів». У властивостях задаємо такі параметри (Рис. 4):

- Прибувають згідно: часу між прибуттям;
- Час між прибуттям: $\text{exponential}(30)$; через функцію неперервного розподілу $\text{exponential}()$ задаємо середній час надходження агрегатів зі значенням 30 хвилин
- Одиниці часу: хвилини;
- За 1 раз створюється декілька агентів: ставимо прапорець;
- Кількість агентів, що прибувають за раз: 2;

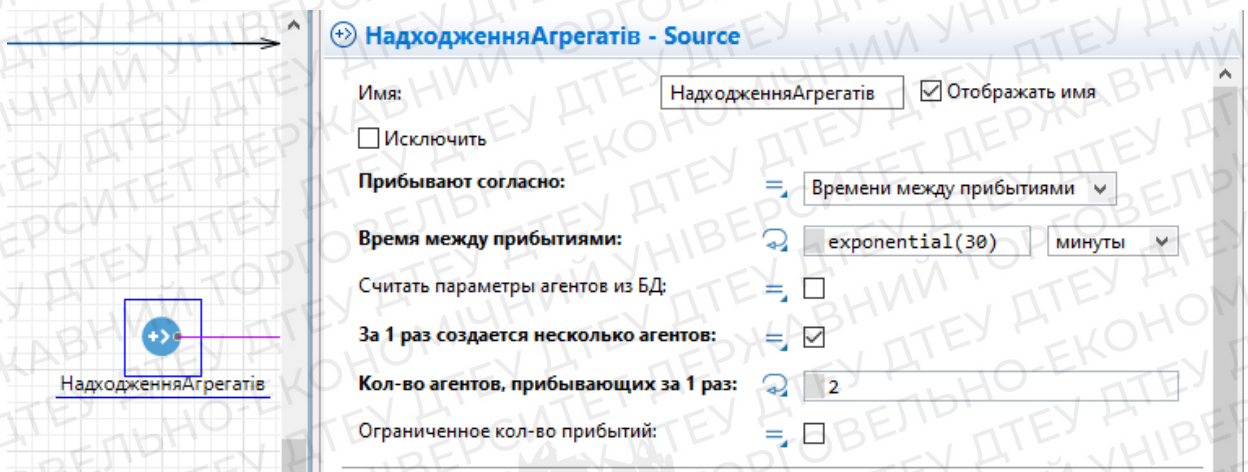


Рис. 4 Створення блоку Source

Наступним блоком діаграми процесу є SelectOutput. Даємо йому назву «Розподілення1». У властивостях встановлюємо прапорець навпроти параметру «Вихід true обирається: при виконанні умови. Умова: ПервиннеРегулювання.size()==0. Де «ПервиннеРегулювання» - це назва нашого наступного блоку діаграми (прим. блок створюється на наступному кроці), для якого буде перевірятись умова, size()==0 – задає умову, якщо блок «ПервиннеРегулювання» буде вільний, то агрегати будуть поступати туди, а якщо зайнятий, то буде направлений до іншого виходу (Рис. 5).

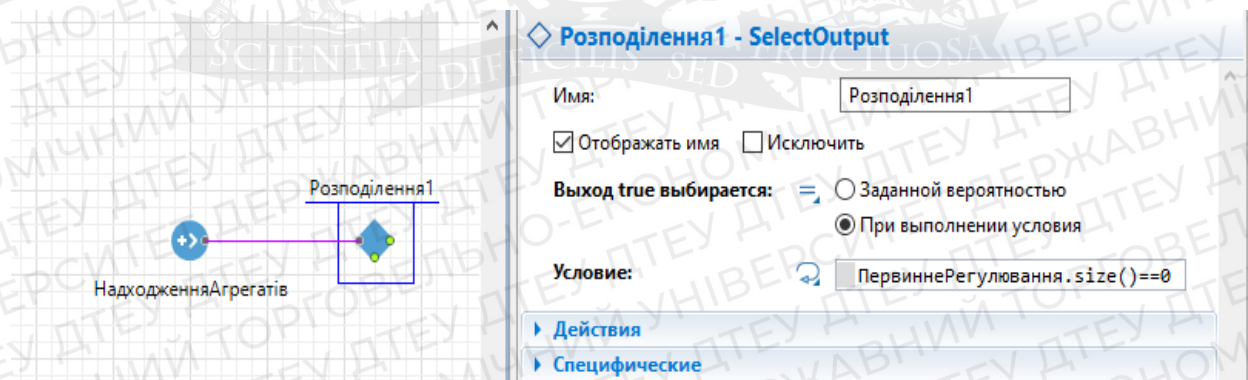


Рис.5. Створення блоку «Розподілення1»

Далі додаємо на графічне поле блок Delay та з'єднуємо його з виходом блоку SelectOutput. Встановлюємо для нього наступні властивості (Рис. 6.):

- Ім'я: ПервиннеРегулювання;
- Тип затримки: встановлений час;
- Час затримки: exponential(30);
- Одиниці часу: хвилини;

– Сміність: 2;

Цей блок відповідає за затримку агрегатів для первинного регулювання і в середньому займає 30 хвилин часу.

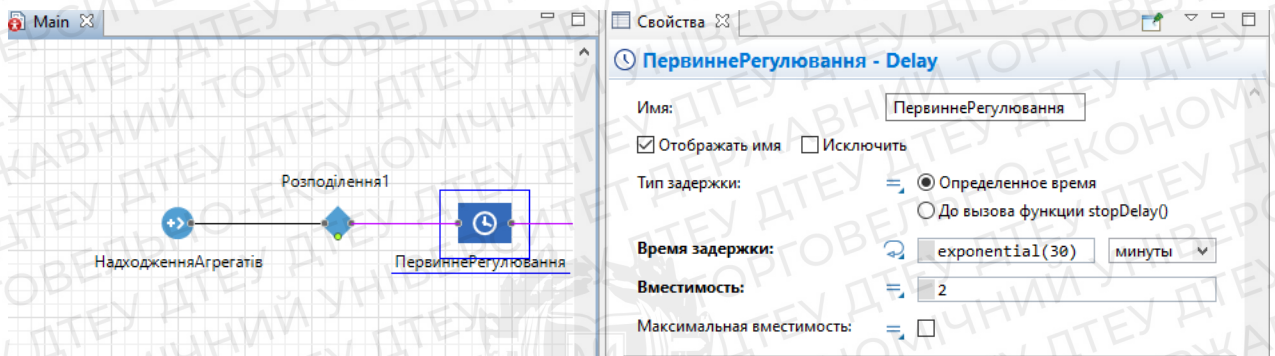


Рис. 6. Створення блоку «ПервиннеРозподілення»

Створюємо блок Sink на ім'я «Відмова» та з'єднуємо його з другим виходом блоку SelectOutput. Сюди будуть надходити агрегати, що не змогли потрапити у блок «ПервиннеРозподілення» (Рис. 7).

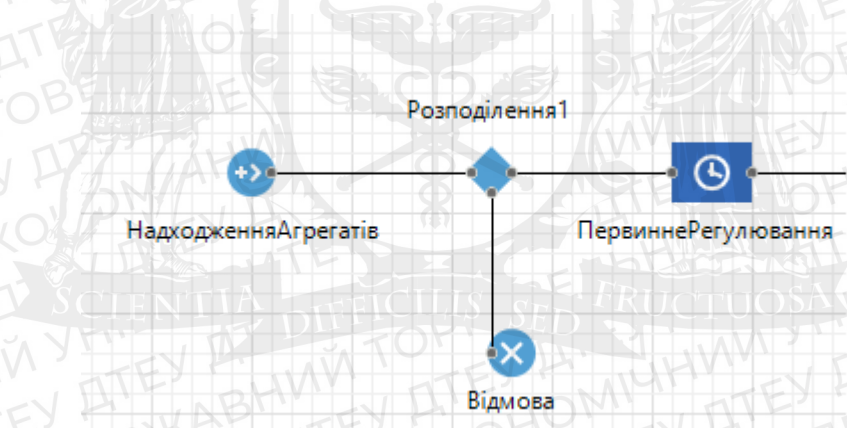


Рис. 7. Блок «Відмова»

Наступний елемент - ще один блок SelectOutput з назвою «Розподілення2» (Рис. 8.). У властивостях встановлюємо прапорець навпроти параметру «Вихід true обирається: при виконанні умови. Умова: ВториннеРегулювання.size()==0. «ВториннеРегулювання» - назва блоку, який буде проходити перевірку на умову, (прим. блок буде створений на наступних кроках).

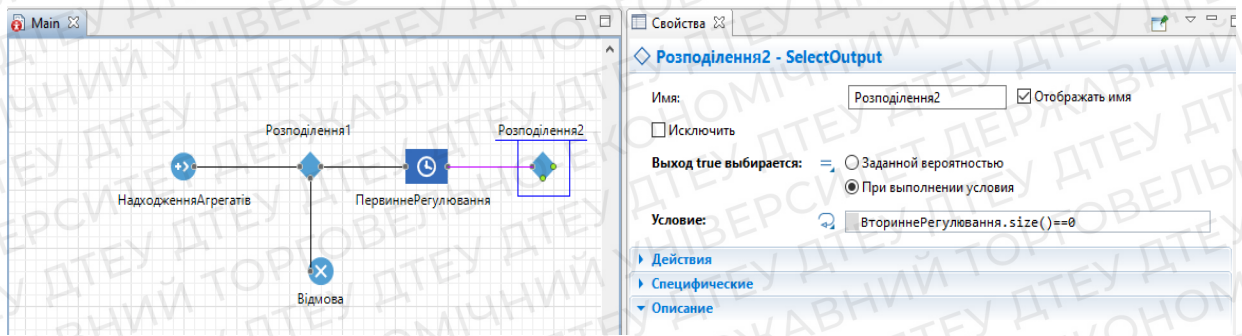


Рис. 8. Створення блоку «Розподілення2»

Згідно задачі додаємо проміжний накопичувач, куди будуть надходити агрегати, які отримали відмову на другому розподіленні та чекати своєї черги на повне розподілення. Додаємо до діаграми блок Queue, який відповідає з назвою «ПроміжнийНакопичувач». У властивостях задаємо максимальну ємність (Рис. 9.).

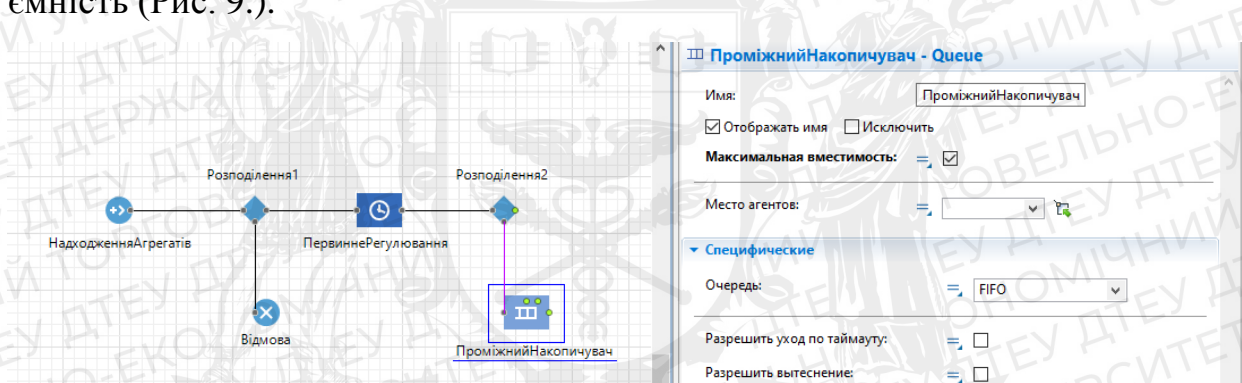


Рис. 9. Створення блоку «ПроміжнийНакопичувач»

Тепер перетягуємо на графічне поле два блоки Delay з назвами «ВториннеРегулювання» та «ПовнеРегулювання». З'єднуємо їх з елементами діаграми згідно Рис. 10. На цих блоках буде відбуватись регулювання агрегатів.

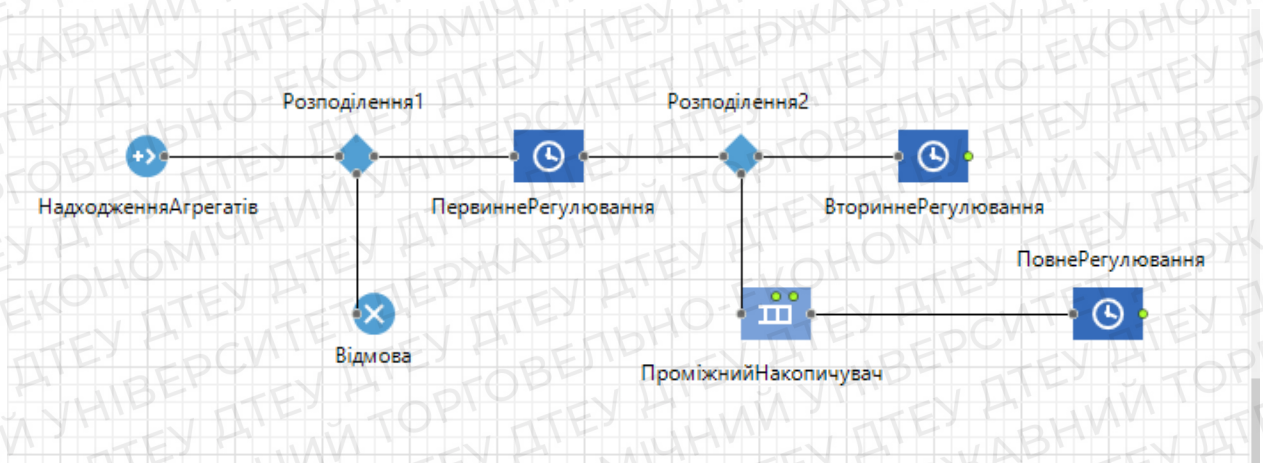


Рис. 10. Додавання блоків Delay

Для блоку «ВториннеРегулювання» задаємо такі властивості (Рис. 11):

- Тип затримки: встановлений час
- Час затримки: exponential(30); Функція задає середній час регулювання агрегатів 30 хвилин;
- Одиниці часу: хвилини;
- Ємність: 2;

ВториннеРегулювання - Delay

Имя: ВториннеРегулювання Отображать имя

Исключить

Тип задержки: Определенное время
 До вызова функции stopDelay()

Время задержки: exponential (30) минуты

Вместимость: 2

Максимальная вместимость:

Рис. 10. Властивості блоку «ВториннеРегулювання»

Властивості для блоку «ПовнеРегулювання» (Рис. 11):

- Тип затримки: встановлений час;
- Час затримки: exponential(100); Функція задає середній час регулювання агрегатів 100 хвилин;
- Одиниці часу: хвилини;
- Ємність: 1;

ПовнеРегулювання - Delay

Имя: Отображать имя

Исключить

Тип задержки: Определенное время
 До вызова функции stopDelay()

Время задержки:

Вместимость:

Максимальная вместимость:

Рис. 11. Властивості блоку «ПовнеРегулювання»

Завершуємо побудову діаграми процесу додаванням двох кінцевих блоків sink, sink1 (Рис.12).

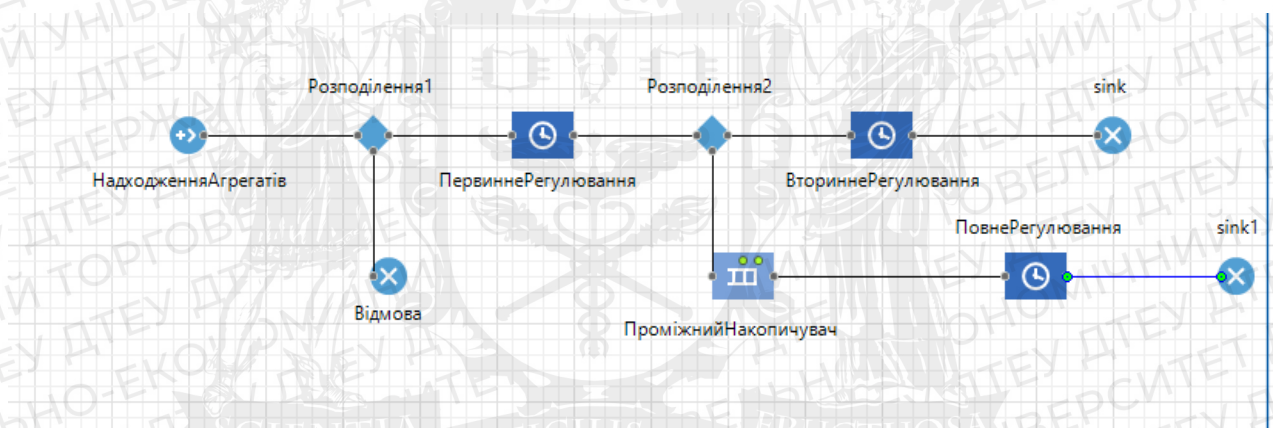


Рис.12 Завершення діаграми процесу

Змінюємо модульний час побудови моделі. Переходимо до вкладки Проекти>Робота_ділянки>Simulation:Main та у властивостях задаємо кінцевий час 600 хвилин. При побудові моделі ми побачимо розрахунок показників протягом 10 годин.

Перевіряємо модель на відсутність помилок та запускаємо (Рис.13).

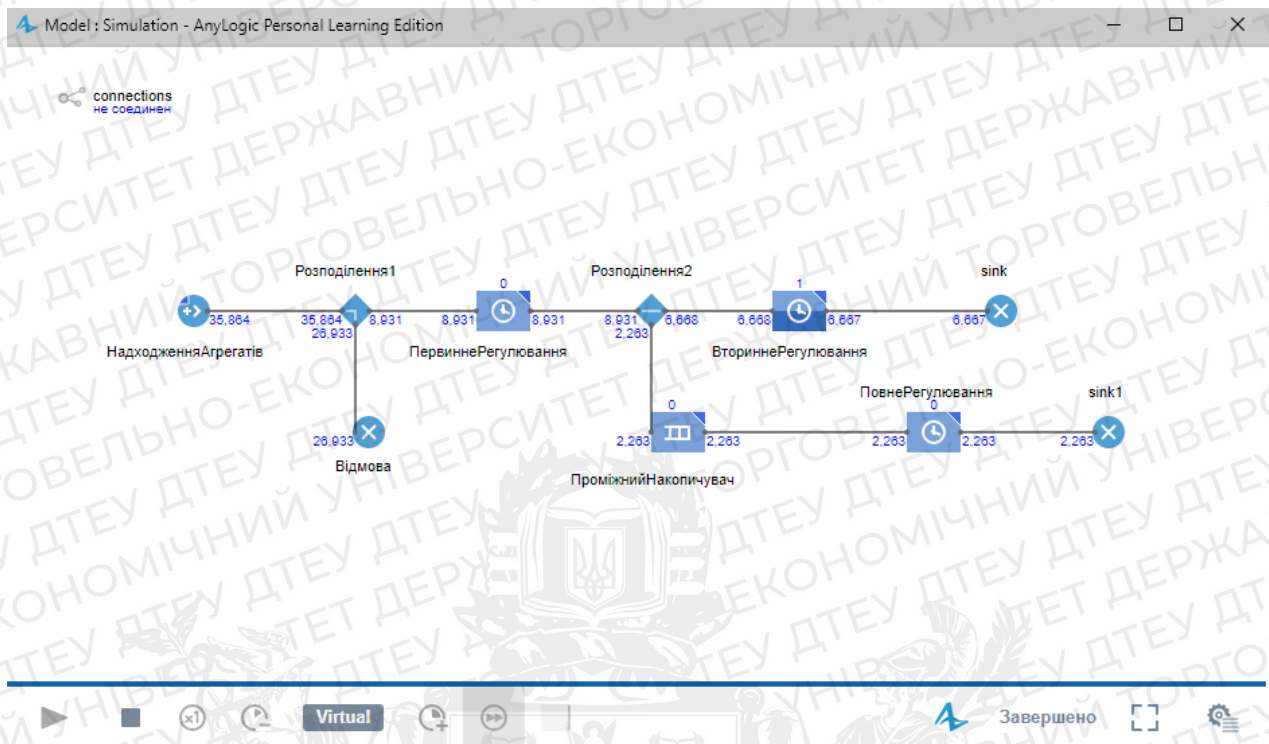


Рис. 13 Побудова моделі

Переходимо до палітри «Статистика» та перетягуємо на графічне поле агента Main елемент візуалізації «Кругова діаграма», який буде відображати кількість агрегатів які отримали відмову, пройшли вторинне регулювання та повне регулювання. У властивостях діаграми робимо активною опцію «Оновлювати дані автоматично». Переходимо у секцію властивостей Дані та тричі натискаємо кнопку «+», щоб задати дані для діаграми. Змінюємо заголовок першого рядка на «Отримали відмову», в полі «Значення» вводимо «Відмова.count()». Тут count() – використовується для виведення кількості агрегатів. Заголовок другому рядку задаємо «Пройшли вторинне регулювання» та значення встановлюємо «sink.count()». Для третього рядка заголовок буде «Пройшли повне регулювання» та значення «sink1.count()» (Рис. 14).

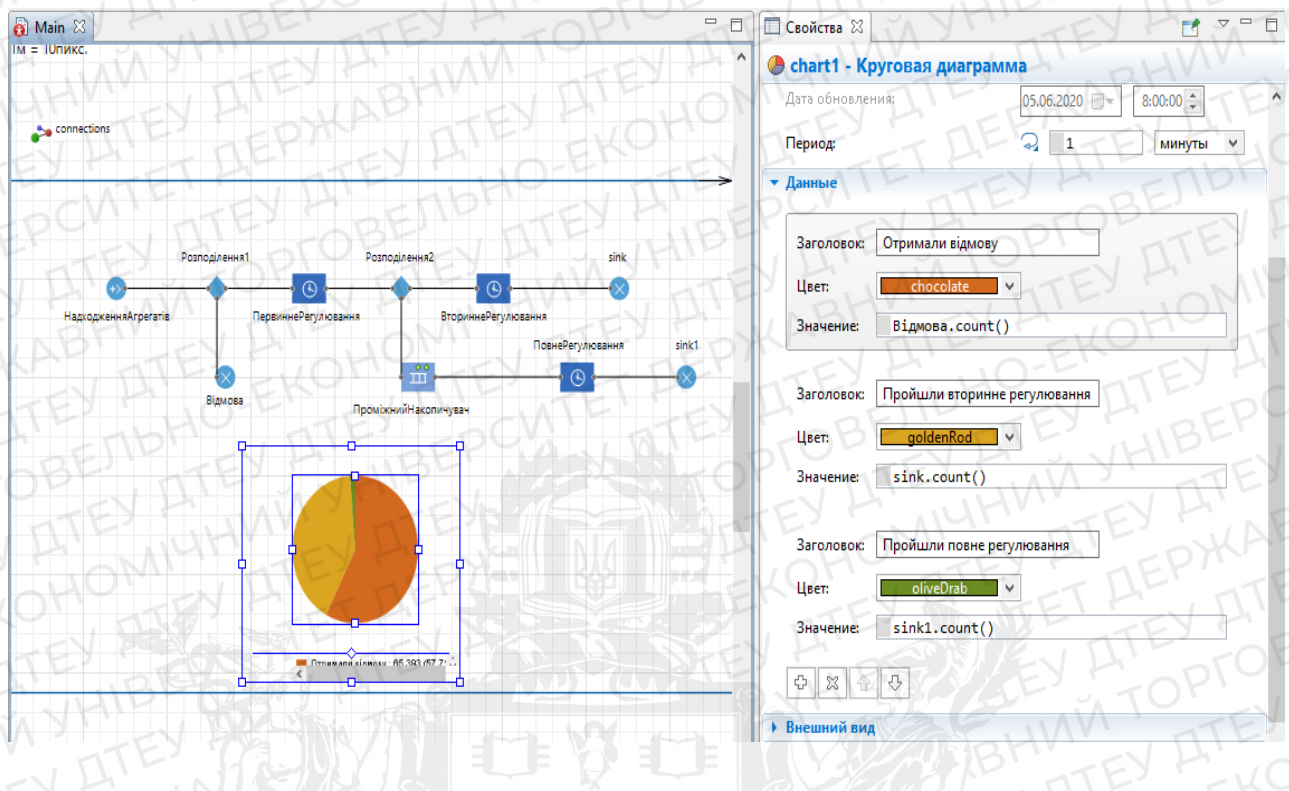


Рис. 14. Додавання діаграм

В результаті модель працює та дає коректні результати обчислень.

3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

Після проведених експериментів можна зробити висновок про те, що обрані вхідні параметри є оптимальними. А якщо, наприклад, збільшити час навантаження автомобілів, то на складах виробу будуть збиратися у великих кількостях, а також буде велика кількість автомобілів, які виїхали зі складу без вантажу тому, що не знайдуть там місця (Рис.15).

ВИСНОВКИ

В результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи було реалізовано імітаційну модель ланцюгів поставок виробничого підприємства, проаналізовано процеси функціонування ланцюгів поставок виробничого підприємства. В умовах розвитку ринкової економіки дана задача є актуальною, оскільки вимоги, що пред'являються до подібних СМО, досить високі. У зв'язку з цим на перший план виходить питання оптимізації роботи ланцюгів поставок. Подібні завдання дозволяють проаналізувати роботу системи і вжити відповідних заходів щодо її поліпшення.

Також в процесі роботи було реалізовано імітаційну модель, що дозволяє розрахувати число машин, які виїхали зі складу без вантажу, а також дозволяє визначити середнє і максимальне кількість виробів кожного типу, що зберігаються на складі.

Результат, отриманий в роботі, є відносним, оскільки в реальному світі відбувається облік технологічних факторів. На сьогоднішній день існує безліч програм, що дозволяють створити імітаційні моделі різної складності. Програмне забезпечення Anylogic є інструментом імітаційного моделювання, який підтримує всі підходи до створення імітаційних моделей: процесно-орієнтований, системно-динамічний і агентний, а також будь-яку їх комбінацію.

Викладені також питання побудови моделі у вигляді багаторівневої ієрархічної структури, що включає в загальному випадку рівень взаємодії з чітко визначеним для кожного з них функціональним призначенням. Описано особливості побудови моделі та аналіз її результатів, що дає змогу стверджувати про правильність та коректність роботи побудованої моделі. В результаті було отримано працездатну модель яка була побудована на основі виробничого підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. В.В. Курдеча Електронний підручник «Імітаційне моделювання систем та процесів». Київ. 2012. 115 с.
2. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: навч. посіб. [для студентів техн. спец. вищ. навч. закл.] / [В. Б. Толубко, А. Д. Кожухівський, В. В. Вишнівський та ін.]. – Київ, 2018. – 175 с.
3. Шевчук Я. В. Імітаційне моделювання транспортних систем / Я. В. Шевчук. // International Scientific Journal. – 2016.
4. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – Київ: Видавнича група ВНУ, 2015. – 352 с.
5. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: навч. посіб. [для студентів техн. спец. вищ. навч. закл.] / [В. Б. Толубко, А. Д. Кожухівський, В. В. Вишнівський та ін.]. – Київ, 2018.
6. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум / Ю. В. Жерновий. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2017.
7. Войнарченко Михайло Петрович. Управління матеріально-технічним забезпеченням: Менеджмент постачально-збутових процесів : Навч. посібник. - Хмельницький : ХДУ, 2003. - 111с.
8. Мороз Олег Васильович, Музика Оксана Владиславівна. Системні фактори ефективності логістичної концепції постачання на підприємствах / Вінницький національний технічний ун-т. - Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. - 165с.
9. Планування діяльності виробничого підприємства: Підручник / Орлов О.О. - К.: Скарби, 2002. - 336 с.
10. Савченко Лідія Володимирівна. Оптимізація рішень в логістиці: теорія і практика: навч. посібник / Українська логістична асоціація. - К. : ТУ, 2007. - 248с.
11. Чейз Річард Б., Еквілайн Ніколас, Дж. Якобс Робер. Виробничий операційний менеджмент, 8-е видання. : Пер. з англ. : М. : Видавничий дім "Вільямс", 2014. - 704 с.