

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні
технології»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Проблемні питання при використанні концепції ЛІТ в
промисловому виробництві і способи їх вирішення»

Виконав:

студент ІV курсу, групи ПІ-72

Берлоус Валерій Олександрович _____

Керівник:

доцент кафедри ІТМ, к.т.н

Штогріна Олена Сергіївна _____

Рецензент:

професор кафедри ТК, к.т.н

Якорнов Євгеній Аркадійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Берлоусу Валерію Олександровичу

1. Тема роботи «Проблемні питання при використанні концепції ЛІТ в промисловому виробництві і способи їх вирішення», керівник роботи Штогріна Олена Сергіївна, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж ІТС, к.т.н., затверджені наказом по університету від «14» квітня 2021 р. № 1007-с

2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: матриця відстаней, технічні характеристики ТЗ інфраструктура та виробничі процеси підприємства.

4. Зміст роботи:

1. Провести аналіз реалій сучасного виробництва, принципів ощадливого виробництва, системи менеджменту Канбан та методології поставок ЛІТ;

2. Провести огляд існуючих методів побудови опорних маршрутів та їх оптимізації;

3. Запропонувати систему організації поставок, що задовольняла би вимоги ЛІТ;

4. Зробити програмну реалізацію моделі інфраструктури підприємства в якій би замірялась ефективність методів та схем поставок.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Тема, актуальність, мета та задачі;
2. Порівняльні графіки попиту на напівпровідники до та під час карантину;
3. Порівняльні графіки прибутку малого ІТ-виробництва та великого класичного;
4. Схеми існуючих методів поставок;
5. Запропонована схема поставок;
6. Блок-схема алгоритму роботи моделі;
7. Скріншот роботи програми;
8. Отримані результати;
9. Загальні висновки.

6. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Проведення огляду виробництва, чії поставки організовані за концепцією ІТ. Виведення проблематики	26.10.2020 – 26.11.2020	Виконано
2	Проведення огляду методів побудови опорного плану поставок та їх оптимізація	27.12.2020 – 27.01.2021	Виконано
3	Розробка системи організації поставок по методології ІТ	28.01.2021 – 12.03.2021	Виконано
4	Розробка моделі для порівняння ефективності методів та схем поставок	13.03.2021 – 15.05.2021	Виконано

Студент

Валерій БЕРЛОУС

Керівник

Олена ШТОГРІНА

РЕФЕРАТ

Робота містить 55 сторінок та 21 рисунок. Було використано 9 джерел.

Мета роботи: зменшити об'єм транспортних засобів при якому партії прибувають на виробництво до того як на його складі закінчиться сировина та мінімізувати процент поїздок з пустим причепом, відповідно збільшивши часову та паливну ефективність, на етапі побудови опорного плану поставок, за рахунок об'єднання маршрутів в кільце.

Проведено аналіз поточного стану ринку, ощадливого виробництва, існуючих методів побудови опорних маршрутів та їх оптимізації. Визначені проблемні питання та критерії за якими оцінюється ефективність методів поставок. Поставлена задача мінімізації штабу транспортних засобів за рахунок збільшення частоти поставок. Пропонується система організація поставок, що у відповідності з методологією ЛІТ:

- уникає простою ТЗ на пунктах відправлення пов'язаних з очікуванням повної заповненості вантажного простору цього самого ТЗ;
- підвищується ефективність кожного окремого ТЗ за рахунок об'єднання маршрутів поставок у єдиний кільцевий маршрут, що завжди буде давати виграш по відстані;
- так як в одному маршруті охоплюються декілька заводів, зменшується вага партії для кожного окремого заводу, відповідно пришвидшується рух потенційної черги на розвантаження в пункті прийому, проте збільшується частота відправлень, що тим не менш дозволяє меншим об'ємом ТЗ охопити більший попит, в чому й полягала поставлена задача.

Була розроблена та реалізована модель інфраструктури виробництва, що дозволяє наочно порівняти ефективність систем організації поставок на підприємстві.

Ключові слова: ощадливе виробництво, ЛІТ, метод побудови опорних маршрутів, система організації поставок, імітаційна модель

ABSTRACT

The work contains 55 pages and 21 drawings. Was it used 9 sources.

Goal: to reduce the minimum required volume of vehicles at which batches arrive at production before it runs out of raw materials and to minimize the percentage of trips with an empty trailer, respectively, increasing time and fuel efficiency, at the stage of building a supply plan, due to connection of routes in a ring.

The analysis of the current state of the market, lean production, existing methods of construction of reference routes and their optimization is carried out. Problematic issues and criteria for assessing the effectiveness of supply methods are identified. The task is to minimize the headquarters of vehicles by increasing the frequency of deliveries. The system of the organization of deliveries which according to JIT methodology is offered:

- avoids downtime of vehicles at points of departure associated with the expectation of full occupancy of the cargo space of the same vehicle;
- the efficiency of each individual vehicle is increased by combining supply routes into a single ring route, which will always give a distance gain;
- as one route covers several plants, the weight of the batch for each individual plant decreases, the movement of the potential queue for unloading at the point of reception is accelerated, but the frequency of shipments increases, which nevertheless allows less vehicles to cover greater demand and the task was set.

A model of production infrastructure was developed and implemented, which allows to visually compare the efficiency of supply organization systems at the enterprise.

Keywords: lean production, JIT, method of construction of reference routes, supply organization system, simulation model

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
РОЗДІЛ 1	
ОГЛЯД СУЧАСНИХ РЕАЛІЙ ВИРОБНИЦТВА.....	10
1.1. Напівпровідникова криза.....	10
1.2. Ощадливе виробництво на прикладі Porsche та VAG.....	11
1.3. Огляд ощадливого виробництва, Канбан та JIT.....	14
1.4. Характеристика побудови опорного плану поставок.....	15
1.4.1. Метод північно-західного кута.....	15
1.4.2. Метод північно-східного кута.....	16
1.4.3. Метод південно-західного кута.....	16
1.4.4. Метод південно-східного кута.....	17
1.4.5. Метод найменшого елемента строки ТТ.....	17
1.4.6. Метод найменшого елемента стовпця ТТ.....	18
1.4.7. Метод найменшого елемента ТТ.....	18
1.4.8. Метод найменшого вузла відправлення вантажу ТТ.....	19
1.4.9. Метод мінімального вузла призначення вантажу ТТ.....	19
1.4.10. Метод мінімального вузла відправлення-призначення вантажу ТТ.....	20
1.4.11. Метод випадкового значення (рандомізації).....	20
1.4.12. Метод апроксимації Фогеля.....	21
1.5. Характеристика методів оптимізації поставок.....	21
1.5.1. Симплексний метод оптимізації перевезень.....	21
1.5.2. Оптимізація транспортних перевезень методом потенціалів.....	22
1.6. Характеристика Угорського методу про призначення рухомого складу.....	22
1.7. Характеристика методу Кларка-Райта.....	23
Висновки.....	24

РОЗДІЛ 2

ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ

ПОСТАВОК.....26

Висновки.....30

РОЗДІЛ 3

ОПИС МЕХАНІЗМУ ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ

ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАВОК.....31

3.1. Критерій ефективності.....31

3.2. Постановка задачі побудови імітаційної моделі інфраструктури підприємства.....32

3.3. Перелік умовностей допущених при побудові імітаційної моделі.....33

3.4. Опис модулів імітаційної моделі...юю.....33

3.4.1. Модуль десеріалізації та серіалізації.....34

3.4.2. Модуль генерації зовнішніх замовлень.....35

3.4.3. Імітаційний модуль.....36

3.4.3.1. Модуль отримання вхідних та розсилання вихідних замовлень.....38

3.4.3.2. Модуль роботи складу.....40

3.4.3.3. Модуль виробництва.....41

3.4.3.4. Модуль постачання.....41

3.4.4. Модуль збору даних.....43

Висновки.....44

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....45

4.1. Опис предметної області.....45

4.2. Засоби розробки імітаційної програми.....45

4.3. Формат вхідних даних.....45

4.4. Діаграма класів.....47

4.5. Структура файлів.....48

4.6. Логіка роботи програми.....	49
Висновки.....	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- DUV** – Deep Ultrawave Violet (літографічний процес з використанням глибокого ультрафіолетового випромінювання)
- EUV** – Extreme Ultrawave Violet (літографічний процес з використанням наджорсткого ультрафіолетового випромінювання)
- VAG** – Volkswagen Aktiengesellschaft (автомобільний концерн)
- JIT** – Just-In-Time (концепція виробництва за якої товар реалізується лише тоді коли на нього існує замовлення)

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СУЧАСНИХ РЕАЛІЙ ВИРОБНИЦТВА

1.1. Напівпровідникова криза

На сьогоднішній день виробництво телекомунікаційних приладів, як й будь-яких електроприладів, ускладнене напівпровідниковою кризою [1]. Загалом, епідемія COVID-19 вимушує скорочувати активний персонал заводів, що веде до зменшення потужності виробництв. Зокрема, пропозиція ринку напівпровідників не може задовольнити величезний попит, що продовжує зростати у зв'язку з:

- карантинними заходами, із-за яких населення опинилось “зачинене” вдома й багато у кого з'явилась потреба в оновлені техніки (комп'ютери, ноутбуки, смартфони, планшети, телевізори і т.д.);
- різким підйомом цінності криптовалют, який привів до нової хвилі майнинг-ферм;
- зростанням ринку електрокарів пов'язаним з вступом у 2025 екологічного стандарту Євро-7, за дотримані якого ДВС стає не конкурентоспроможним.

Як й будь-який інший дефіцит, напівпровідникова криза вирішується по двом напрямкам: пришвидшення виробничого процесу та збільшення кількості виробничих ліній. Тенденція така, що передові виробники мікропроцесорів (Intel, TSMC) відмовляються від тупикового DUV з множинним експонуванням, де складність, брак, дороговизна й що головне тривалість зростають в геометричній прогресії з кожним новим шаром маски та переходять на ще більш складну EUV, бо літографія вдруковується плазмою, однак при якому технічному процесі виготовлення напівпровідників в 5 нм, є більш дешевшим, менш бракованим й головне – швидшим. У зв'язку з експлуатаційними особливостями EUV, як правило на новому заводі. Власне, всі інші виробники тривіально будують нові заводи зі старим DUV-обладнанням, бо EUV-установка коштує 120,000,000\$ й

виробляється тиражом 10 штук в рік [2]. Тому питання накопичення потужностей для задоволення усього попиту – це лише питання часу.

Проблеми виникають на питанні утримання цих величезних потужностей. По-перше, велике виробництво втрачає свою гнучкість до змін на ринку. По-друге, неминуча модернізація ускладнюється пропорційно виробничим масштабам. По-третє, чим більше оборот продукції, тим більші втрати від її простою на складі, від перебоїв з постачанням та від кожної зайвої дії. Якщо виробничий процес буде недостатньо оптимізованим, із-за розширення чистий прибуток може зменшитись.

1.2. Ощадливе виробництво на прикладі Porsche та VAG

Приведений приклад був взятий з відеоматеріалу Астаф'єва С. «Геніальна афера Porsche та VW» [3].

В 2004 та 2005 роках увесь автоконцерн Volkswagen Auto Group з продажів більше 5 млн автомобілів заробляв менше ніж сімейна компанія Porsche, що за ті роки продала трохи менше 80 тис машин.



Рис. 1.1. Порівняльний графік чистих прибутків (млн євро) та об'єму продажів Porsche та VAG за 2002-2005 роки

Що показово, ще в 1993, Porsche побив свій антирекорд по продажам (14 тис.), причому продаючи кожен автомобіль з збитком в 9% від його вартості, втрачаючи по 150 млн. євро в рік. Компанія була близька к банкрутству, тому були найняті спеціалісти з консалтингової фірми Shingijutsu, що кваліфікуються на реорганізації виробничих процесів під принципи ощадливого виробництва.

“Це було жахливо. “Де ж автомобільний завод? - спитав я себе. - Це схоже на склад двигунів!” Там не було робітників, замість них були мавпи, що лазили по стеллажам вгору та вниз.”

Якіші Івато, після інспекції виробництва Porsche

Через 2 роки, в 1995 реорганізація була завершена з наступними результатами:

- Виробничі площі скоротились на 32,8% з 640 до 430 кв. м.;
- Довжина складальної лінії скоротилась на 73,8% з 416 до 108 м.;
- Кількість браку зменшилась в 2 рази;
- Склад запчастин скоротився на 81,2% з 8490 до 1600 шт.;
- Тривалість складання автомобіля скоротилась на 40% з 120 до 72 год.;
- Персонал скоротився на 31%.

Вже в 1996 Porsche почав продавати автомобілі з прибутком. В тей же рік відбувається дебют оновленого модельного ряду, що проектувався з урахуванням нової системи виробництва. Ще через рік, в 1997 об'єм продажів виріс з 20 до 32 тис. автомобілів й з тих пір стабільно тільки ріс.

Всього за 7 років Porsche із складу двигунів стала точною та ефективною компанією, з самим найбільшим показником прибутку на одиницю товару - більше 12%.

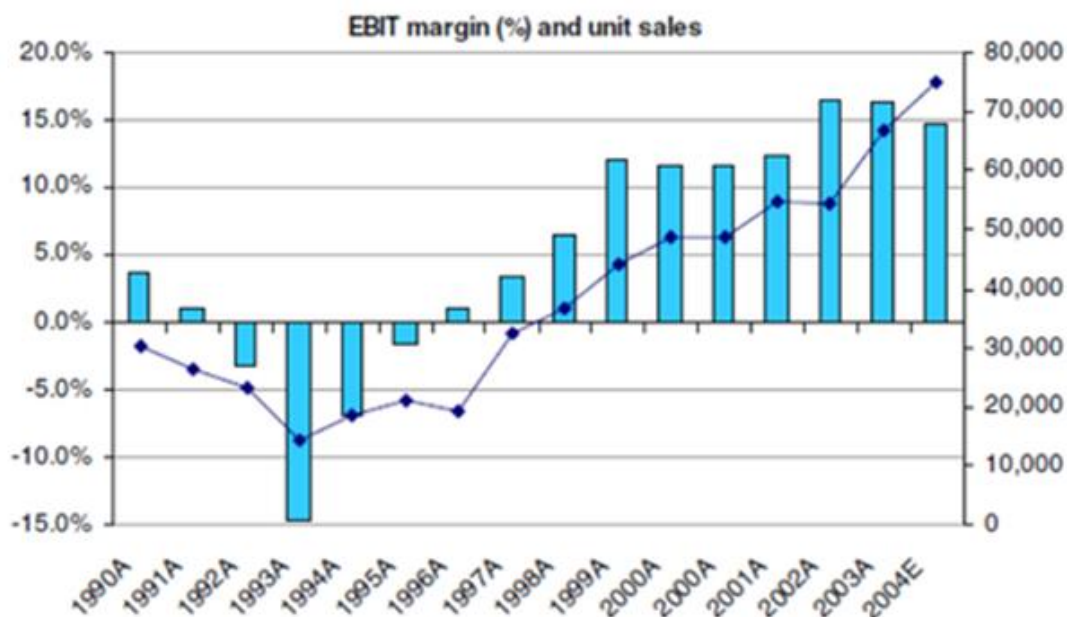


Рис. 1.2. Графік продажів та прибутку на одиницю товару Porsche за 1990-2004 роки

Одночасно й незалежно, з 1993 по 2003 в VAG йшла реструктуризація по результатам якої були звільнені всі неефективні менеджери та керівники відділів, були зупинені звільнених, були зачинені 8 з 12 виробничих площадок, а також запроваджений 4-х денний робочий тиждень. Після чого відразу почалось запровадження ощадливого виробництва, що почало давати зримий результат приблизно на початку 2010-х. Саме з тих пір, появилась можливість замовити свій індивідуальний “народний автомобіль”, що в найближчий тиждень будет зібраний з нуля та доставлений до місцевого дилеру.

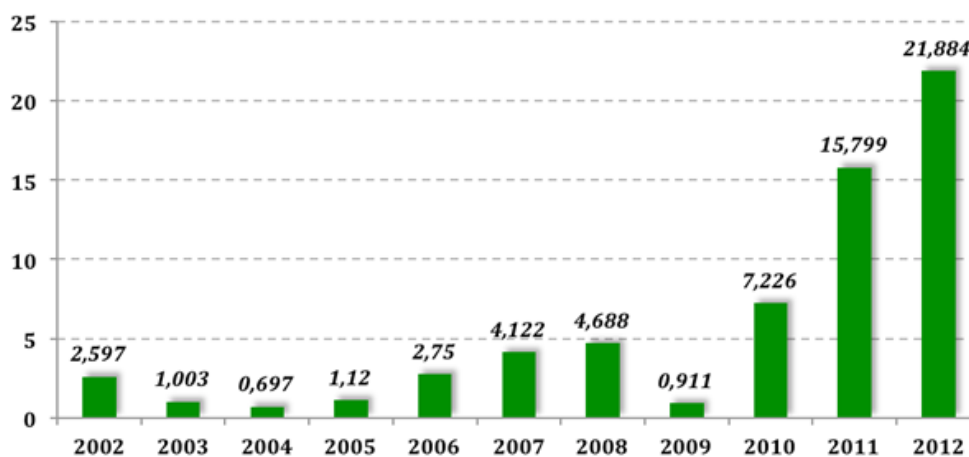


Рис. 1.3. Чистий прибуток VAG за 2002-2012 роки, млрд євро

Отож ощадливе виробництво є рішенням назріваючого питання оптимальної організації великого та складного виробництва. Однак що саме є ощадливим виробництвом та які труднощі можуть виникнути на підприємстві при запровадженні його принципів?

1.3. Огляд ощадливого виробництва, Канбан та JIT

Ощадливе виробництво – це система виробництва орієнтована на максимальну гнучкість виробництва під потреби ринку, а її основні заходи спрямовані на усунення витрат на сам перед пов'язаних зі зберіганням та перевиробництвом. В систему ощадливого виробництва входить вище згадана концепція менеджменту Канбан та методологія організації поставок Just-In-Time.

Канбан – концепція менеджменту за якою на кожну сировину та деталь чіпляється RFID (Radio Frequency IDentification) в якому насамперед зберігається інформація про виріб якому вона належить. Кожен двигун суворо закріплений за автомобілем з конкретним VIN-номером. Склад на виробництві виконує не стільки функцію зберігання, скільки точку розподілу – приміщення з великою пропускною здатністю при відносно малій місткості. Запаси зводяться до мінімуму. Їх рівно стільки, щоб була можливість швидко замінити браковану деталь. Відповідно немає потреби доставляти та зберігати сировини більше, ніж це потрібно в даний час. Тобто необхідно доставляти якраз вчасно, чому й присвячена методологія поставок JIT. Середня тривалість перебування сировини на точці розподілу – 6 годин [4]. Зростає залежність від постачальників, зокрема продуктивність заводу починає пряму корегувати з ефективністю системи поставок. Якщо нова партія сировини буде надходити з запізненнями, після того як сировина закінчиться на точках розподілу, то завод буде вимушений тимчасово припинити виробництво. Система ощадливого виробництва принципово уникає практики поставок сировини заздалегідь, бо вона

неминуче приводить до перевиробництва. Поставки й виробництво реалізуються виключно за наявності замовлення. [5, 6, 7]

Важливо відмітити, що ЛІТ – це саме методологія, що задає ціль не розкриваючи питання безпосередньої реалізації. В наступних двох підрозділах, 1.4 та 1.5, наведена характеристика побудови опорного плану поставок та характеристика методів їх оптимізації. В окремі підрозділи виведена характеристика угорського методу про призначення рухомого складу (1.6) та методу Кларка-Райта (1.7). Характеристика наведена в розділів 1.4, 1.5 та 1.6 була взята з навчального посібника Кунда Н.Т. «Дослідження операцій у транспортних системах» [8], а 1.7 – з електронного ресурсу Infostart.ru «Метод Кларка-Райта. Оптимальне планування маршрутів вантажоперевезень» [9].

1.4. Характеристика побудови опорного плану поставок

1.4.1. Метод північно-західного кута

Ідея методу північно-західного кута полягає в тому, що заповнення таблиці починають, не враховуючи вартостей поставок, з лівого верхнього (північно-західного) кута. Спочатку, не враховуючи вартості поставок, завжди задовольняють потреби першого споживача В1, використовуючи запаси першого постачальника А1. У випадку, якщо потреби споживача не задоволені, використовують місткість другого постачальника А2. Якщо ж вимоги до постачання першого постачальника не задовольняються повністю, використовують місткість другого споживача В2. Далі переходять до наступної клітини в цьому ж рядку або у стовпчику і заповнюють її, і т. д. Закінчують заповнення таблиці у правій нижній клітинці. У такий спосіб значення поставок будуть розташовані по діагоналі таблиці. Заповнення таблиці повинне проводитися до тієї пори, поки усі потреби споживачів та всі вимоги постачальників не будуть задоволені.

1.4.2. Метод північно-східного кута

Суть методу полягає в тому, що заповнення транспортної таблиці розпочинають з правого верхнього кута. Не враховуючи вартості поставок, заповнюють клітинку на перетині першого постачальника та останнього споживача, намагаючись максимально задовольнити пропозицію постачальника та попит споживача. У протилежному випадку, за умови незадоволення постачальника, переходять до наступного за рядком споживача, за умови незадоволення споживача, — до наступного за стовпчиком постачальника. Заповнення таблиці продовжують до тих пір, доки не буде задоволення усю пропозицію постачальника, та увесь попит споживача. Таким чином, враховуючи закритість транспортної таблиці, повинно бути $(m + n - 1)$ завантажених клітин.

1.4.3. Метод південно-західного кута

Ідея методу південно-західного кута полягає в тому, що заповнення таблиці починаються, не враховуючи вартостей поставок, лівого нижнього (південно-західного) кута. Спочатку, не враховуючи вартості поставок, завжди задовольняють потреби першого споживача $B1$, використовуючи запаси останнього постачальника $A3$ (за умови, що максимальна кількість постачальників $i = 3$). У випадку, якщо потреби споживача не задоволені, використовують клітинку попереднього $(i-1)$ -го постачальника. Якщо ж вимоги до постачання останнього постачальника не задовольняються повністю, використовують клітинку наступного $(j+1)$ -го споживача. Далі переходять до наступного рядка в цій таблиці і заповнюють його. Закінчують заповнення таблиці у правій верхній клітинці. У такий спосіб значення поставок будуть розташовані по діагоналі таблиці. Заповнення ТТ повинне проводитися до тієї пори, доки усі потреби споживачі та усі вимоги постачальників не будуть задоволені.

1.4.4. Метод південно-східного кута

Суть методу полягає в тому, що заповнення транспортної таблиці розпочинають з правого нижнього кута. Не враховуючи вартості поставок, заповнюють клітинку на перетині останнього постачальника та останнього споживача, намагаючись максимально задовольнити пропозицію постачальника та попит споживача. У протилежному випадку, за умови незадоволення постачальника, переходять до попереднього $(i-1)$ -го за рядком споживача, за умови незадоволення споживача, — до $(j-1)$ -го за стовпчиком постачальника. Заповнення таблиці продовжують до тих пір, доки не буде задоволення усю пропозицію постачальника, та увесь попит споживача. Таким чином, враховуючи закритість транспортної таблиці, повинно бути $(m + n - 1)$ завантажених клітин, після чого розраховується транспортна робота ТТ:

$$L = \sum (x_{ij} \cdot c_{ij})$$

1.4.5. Метод найменшого елемента строки ТТ

Ідея методу найменшого елемента строки полягає в тому, що на кожному кроці заповнюють клітинку рядка таблиці, яка має найменшу вартість перевезення одиниці продукції. Такі дії повторюють доти, доки не буде розподілено всю продукцію між постачальниками та споживачами. Очевидно, що у разі побудови опорного плану, враховуючи вартості поставок, сумарна вартість всіх постачань може бути зменшена, і отриманий опорний план буде ближчим до оптимального, на відміну від опорних планів, отриманих за допомогою попередньо описаних методів побудови опорного плану. Після закінчення розподілу завантаження, обраховують значення затрат на перевезення за побудованим опорним планом, тобто транспорту роботу, яка визначається наступним чином:

$$L = \sum (x_{ij} \cdot c_{ij})$$

1.4.6. Метод найменшого елемента стовпця ТТ

Ідея методу найменшого елемента строки полягає в тому, що на кожному кроці заповнюють клітинку стовпця таблиці, яка має найменшу вартість перевезення одиниці продукції. Такі дії повторюють доти, доки не буде розподілено всю продукцію між постачальниками та споживачами. Розподілення завантаження між споживачами та постачальниками слід виконувати, опираючись на мінімальні значення у стовпцях таблиці, при цьому ігноруючи мінімальні значення рядків транспортної таблиці. Очевидно, що у разі побудови опорного плану, враховуючи вартості поставок, сумарна вартість всіх поставок може бути зменшена, і отриманий опорний план буде ближчим до оптимального, на відміну від опорних планів, отриманих за допомогою попередньо описаних методів побудови опорного плану.

1.4.7. Метод найменшого елемента ТТ

Метод мінімального елемента ТТ дає змогу побудувати відразу достатньо економічний опорний план, що скорочує загальне число ітерацій при його наступній оптимізації (порівняно з методом північно-західного кута). Це досягає тим, що в опорному плані обирають такі додатні перевезення, яким відповідає найменша вартість. Користуючись матрицею поставок, на першому кроці визначаємо таке значення x_{ij} , для якого величина c_{ij} є мінімальною, тоді $x_{ij} = \min(a_i, b_j)$. При цьому можливі три випадки: якщо $a_i < b_j$, то решту клітинок i -го рядка заповнюємо нулями; якщо $a_i > b_j$, то решту клітинок j -го стовпця заповнюємо нулями; якщо $a_i = b_j$, то решту клітинок i -го рядка та j -го стовпця заповнюємо нулями. Далі цей процес повторюємо з незаповненою частиною таблиці. Отриманий план є опорним, оскільки з його клітинок, заповнених додатними перевезеннями, не можна скласти цикл.

1.4.8. Метод найменшого вузла відправлення вантажу ТТ

Якщо розмірність задачі досить велика, то перебір методом мінімальної вартості ускладнюється. В такому разі слід спростити пошук клітин за найменшими вартостями. Для цього використовують метод найменшого вузла відправлення вантажу. Він полягає в тому, що, враховуючи вартість вузла відправлення, знаходять суму усіх споживачів по постачальнику для кожного рядка транспортної таблиці. У виділеному стовпці вартість вузлів відправлення нумерують індексами відповідно до зростання вартості перевезення. Наступним кроком є заповнення транспортної таблиці з найменшою вартістю вузла відправлення. В даному вузлі знаходять клітинку на перетині споживачів та постачальників, яка має найменшу вартість перевезення, та заповнюють її максимально. У разі неповного заповнення, звертаються до інших клітинок даного вузла відправлення. Таким чином, враховуючи визначені індекси зростання вартості перевезення одиниці вантажу, заповнюють усю ТТ.

1.4.9. Метод мінімального вузла призначення вантажу ТТ

Якщо розмірність задачі досить велика, то перебір методом мінімальної вартості ускладнюється. В такому разі слід спростити пошук клітин за найменшими вартостями. Для цього використовують метод найменшого вузла призначення вантажу. Він полягає в тому, що, враховуючи вартість вузла призначення, знаходять суму усіх споживачів по постачальнику для кожного стовпця транспортної таблиці. У виділеному рядку вартість вузлів призначення нумерують індексами відповідно до зростання вартості перевезення. Наступним кроком є заповнення транспортної таблиці з найменшою вартістю вузла призначення. В даному вузлі знаходять клітинку на перетині споживачів та постачальників, яка має найменшу вартість перевезення, та заповнюють її максимально. У разі неповного заповнення, звертаються до інших клітинок даного вузла призначення. Таким чином,

враховуючи визначені індекси зростання вартості перевезення одиниці вантажу, заповнюють усю ТТ.

1.4.10. Метод мінімального вузла відправлення-призначення вантажу ТТ

Для максимального враховування вартості перевезення одиниці вантажу та оптимального розподілу обсягів поставок використовують метод мінімального вузла відправлення-призначення вантажу транспортної таблиці. великої розмірності перебір методом мінімальної вартості ускладнюється. Він полягає в тому, що, враховуючи вартість вузлів призначення та відправлення, знаходять суму усіх споживачів по постачальнику для кожного стовпця та усіх постачальників по споживачах для кожного рядка транспортної таблиці. У виділених рядках та стовпцях вартість вузлів призначення нумерують індексами відповідно до зростання вартості перевезення. Наступним кроком є заповнення транспортної таблиці з найменшою вартістю вузла відправлення-призначення. В даному вузлі знаходять клітинку на перетині споживачів та постачальників, яка має найменшу вартість перевезення, та заповнюють її максимально. Враховуючи визначені індекси, заповнюють усю ТТ.

1.4.11. Метод випадкового значення (рандомізації)

Ідея методу рандомізації полягає у тому, порядок заповнення клітинок обсягами поставок генерується у комп'ютерному середовищі, ігноруючи при цьому вартості поставок одиниці вантажу. За своїм алгоритмом метод випадкового значення схожий до методу північно-східного кута з відмінністю у тому, що вищезгаданий метод має симетричне розташування заповнених клітин. Комп'ютерне середовище, використане для генерування випадкової послідовності чисел, вибирається користувачем на власний розсуд, враховуючи обов'язкові умови та обмеження, які стосуються особливостей побудови транспортної таблиці. Алгоритм генерування

рандомних чисел виконується до того часу, поки не буде виконана умова $(m + n - 1)$. Після того обраховують витрати на здійснення поставок:

$$L = \sum (x_{ij} \cdot c_{ij})$$

1.4.12. Метод апроксимації Фогеля

Спершу для кожного рядка та стовпця обчислюється різниця (штраф) між значеннями найменшої вартості та вартості, наступної за величиною. Потім обчислені штрафи записують у додаткові стовпці та рядки. Виокремлюємо рядок чи стовпець з найбільшим штрафом (якщо їх декілька, то обираємо довільний з них). У виділеному рядку/стовпці обираємо клітинку з найменшою вартістю. Для обраної клітинки встановлюємо величину перевезення (аналогічно методу мінімального елемента), намагаючись максимально задовольнити вимоги/потреби постачальника/споживача. Викреслюємо рядок і/або стовпець. Далі цей процес повторюємо з незаповненою частиною транспортної таблиці. Процес повторюється до тих пір, доки кількість заповнених клітинок не буде дорівнювати $(m + n - 1)$. Після чого розраховують вартість виконання такого опорного плану поставок вантажів, або транспорту роботу за формулою:

$$L = \sum (x_{ij} \cdot c_{ij})$$

1.5. Характеристика методів оптимізації поставок

1.5.1. Симплексний метод оптимізації транспортних поставок

Основою симплекс-методу є лінійне програмування, тому опорний план трансформується математичну модель з урахуванням всіх обмежень цільової функції. Складається симплекс-таблиця, у яку вводяться базисні змінні, на основі заміни яких у процесі оптимізації симплекс-таблиць формується оптимальний план перевезення вантажів. Шляхом заповнення симплекс-таблиці обирається вирішальна колонка, для якої значення індексу $\Delta_i = \max$. Для отриманої колонки розраховуємо всі відношення b/a_{ik} , при додатних значеннях, обираючи найменше значення (ключовий рядок), і

записуємо нову базисну змінну, а стара x_e переводиться в неосновні. На перехресті ключового рядка та стовпця знаходиться ключовий елемент. При цьому складається нова симплекс-таблиця, нові значення якої розраховуються за формулою:

$$\text{Новий елемент} = \text{Старий елемент} - \frac{\text{Елемент ключового рядка} \cdot \text{Елемент ключового стовпця}}{\text{Ключовий елемент}}$$

Наступні ітерації проводяться до тієї пори, доки індексний рядок не міститиме додатних елементів.

1.5.2. Оптимізація транспортних поставок методом потенціалів

Оптимізація починається з розрахунку потенціалів зайнятих клітин постачальників A_i (потенціал першого рядка вважається рівним нулю) за формулою: $v_j = c_{ij} - u_i$, де v_j — потенціали вантажотримувачів B_j , u_i — потенціали вантажовідправників, c_{ij} — вартість перевезення одиниці вантажу. Для незайнятих клітин перевіряємо рівність:

$$u_i + v_j < c_{ij}$$

У клітинку з від'ємною різницею проставляємо значення різниці між вартістю перевезення та сумою, вважаючи це значення потенціалом, а клітину — потенційною. Обираючи найбільшу потенційну клітину, починаємо з неї побудову замкнутого контуру з вершинами у завантажених клітинах, нумеруючи вершини знаками «+» та «-» по чергово, виконуючи перерозподіл вантажу відповідно до знаків. Продовжувати, доки потенційні клітини не зникнуть.

1.6. Характеристика угорського методу про призначення рухомого складу

Основна ідея угорського методу полягає у переході від початкової матриці вартостей C до еквівалентної матриці C^* з невід'ємними елементами і системою n незалежних нулів (сукупністю нульових телеметрів матриці, з яких жодних два не належать одному і тому ж рядку або одному і тому ж

стовпцю). Алгоритм угорського методу складається з попереднього етапу і не більше, ніж $p-2$ ітерацій основного етапу. В попередній етап входять наступні дії: у матриці вартостей у кожному рядку визначити найбільшу вартість і відняти її від усіх елементів цього рядка; в отриманій матриці у кожному стовпці визначити найбільшу вартість і відняти її від усіх елементів цього стовпця; визначити систему незалежних нулів (якщо система незалежних нулів має p нулів, то отримано оптимальний розв'язок; якщо ні — перейти до основного етапу). Основний етап складається з наступних послідовних кроків: в останній матриці виділити мінімальну кількість елементів на перетині рядків і стовпців; знайти найменший невиділений елемент, відняти його від невиділених елементів і додати до елементів, які стоять на перетині виділених рядків і стовпців; визначити систему незалежних нулів; якщо система містить p незалежних нулів, то отримано оптимальний розв'язок, якщо ні — перейти до першого кроку.

1.7. Характеристика методу Кларка-Райта

Основна ідея методу полягає в об'єднанні декількох маршрутів поставок в один маршрут кільцеподібної форми. В найпростішому випадку, при інфраструктурі база, пункт 1 та пункт 2, кільцевий маршрут буде складатися з відстаней:

- від бази до пункту 1 (d_{01});
- між пункт 1 та пунктом 2 (d_{12});
- від пункту 2 до бази (d_{20}), яку ТЗ проїжджає з пустим вантажним простором.

$$S_{\text{кільця}} = d_{01} + d_{12} + d_{20}$$

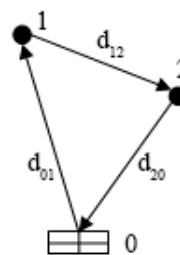


Рис. 1.4. Запропонована кільцева схема поставок

Однак не кожне об'єднання маршрутів буде виправданим й існує необхідність в відборі об'єднань по критерію найбільшого виграшу по дистанції (S_{ij}), що обраховується за формулою:

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$$

S_{ij} – виграш по дистанції від об'єднання маршрутів поставок заводів-замовників i та j ;

d_{0i} – відстань від бази до замовника i ;

d_{0j} – відстань від бази до замовника j ;

d_{ij} – відстань між замовниками i та j .

Після чого складається матриця виграшів, та знаходиться об'єднання маршрут з найбільшим значенням S_{ij} , що задовольняє наступні умови:

- 1) пункти i та j не входять до одного маршруту;
- 2) пункти i та j є початковими або кінцевими на своїх маршрутах.

Маршрути об'єднуються в кільце доти, поки сумарний попит на пунктах менше вантажопідйомності транспортного засобу. Кільце розширюється на пункт якщо:

- 1) послідовність маршруту до пункту i не змінюється;
- 2) зберігається зв'язність пунктів i та j ;
- 3) послідовність маршруту після пункту j не змінюється.

Один кільцевий маршрут відповідає одному ТЗ й якщо ним не покривається увесь попит, формується нове кільце для іншого ТЗ.

Висновки

1. Актуальною є задача організації поставок таким чином, щоб щонайбільше заводів могли працювати одночасно при застосуванні щонайменшої кількості ТЗ.

2. Існуючі методи, окрім методу Кларка-Райта, оперують до зіркоподібної схеми поставок, коли ТЗ завантажуються виключно одним замовленням й відповідно їх маршрут охоплює лише одного замовника. Як видно з рисунку 1.2., маршрут поставки зіркової схеми поставок складається з відстаней:

- від бази до замовника 1 (d_{01});
- зворотного шляху від замовника 1 до бази (d_{10});
- від бази до замовника 2 (d_{02});
- зворотного шляху від замовника 2 до бази (d_{20}).

Сумарна довжина маршруту складатиме:

$$S = d_{01} + d_{10} + d_{02} + d_{20} \approx 2(d_{01} + d_{02})$$

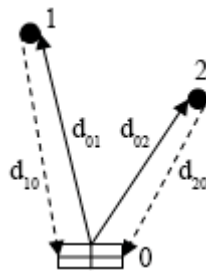


Рис. 1.5. Зіркова схема поставок

Лише на половині дистанції, на d_{01} та d_{02} виконується корисна робота що не є ефективним в масштабі кожного окремого ТЗ. Також це приводить до нерівномірного навантаження на склади заводів: довгий час відсутні поставки, а потім в один день така велика кількість ТЗ, що склад не може їх водночас обслуговувати й утворюються черги.

РОЗДІЛ 2

ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАВОК

В даному розділі описується розроблена система організації поставок на підприємстві, що працює за принципами ощадливого виробництва, системи Канбан і зокрема методології JIT.

В основі запропонованої системи лежить метод Кларка-Райта, що підвищує ефективність кожного окремого ТЗ, тим самим зменшуючи мінімально необхідну кількість ТЗ для постійної наповненості складів при якій заводи можуть безперервно працювати за рахунок об'єднання декількох маршрутів поповнень в один. Умовно кажучи, по завершенню одного такого об'єданого маршруту, транспортним засобом будуть поповнені два заводи, замість одного, однак лише на половину із-за чого для повного заповнення складів необхідно буде в два рази частіше розвозити партії.

Так як, в вантажний простір ТЗ займається замовленнями з декількох заводів, очевидно, що вага партії для кожного окремого заводу зменшується, а разом з тим й час розвантаження, що пришвидшує рух потенційної черги на розвантаження вантажу в склад заводу.

$$T_{роз} = t_{роз} * m_{\epsilon} + t_{\epsilon}$$

$T_{розвантаження}$ – сумарний час розвантаження ТЗ;

$t_{роз}$ – час розвантаження одиниці продукції на заводі;

m_{ϵ} – вага вантажу в ТЗ;

t_{ϵ} – час очікування розвантаження ТЗ попереду в черзі, що розраховується по формулі:

$$t_{\epsilon} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^n T_{роз\ i}$$

N – пропускна здатність складу;

n – кількість ТЗ попереду в черзі;

$T_{роз\ i}$ – час розвантаження ТЗ, що займає i -те місце в черзі; 0-ве місце в черзі – це ТЗ, що в даний час розвантажуються й відповідно у нього $t_q = 0$.

По виготовленню заводом продукції, перевіряється повнота виконання замовленого об'єму продукції. Якщо замовлення виконано лише частково, виготовлена продукція відправляється на склад, очікувати поки завод виготовить увесь замовлений об'єм. Якщо замовлення виконано в повному обсязі, то виготовлена продукція відправляється на склад, де об'єднується з іншою замовленою продукцією у вантаж, що потім відправляється у пункт відправки. Тобто, встає у чергу на завантаження. Важливо відмітити, що вантаж, він же замовлення, не може розділятися й перевозиться виключно цільно. Цей алгоритм схематично відображений на рисунку 2.1.

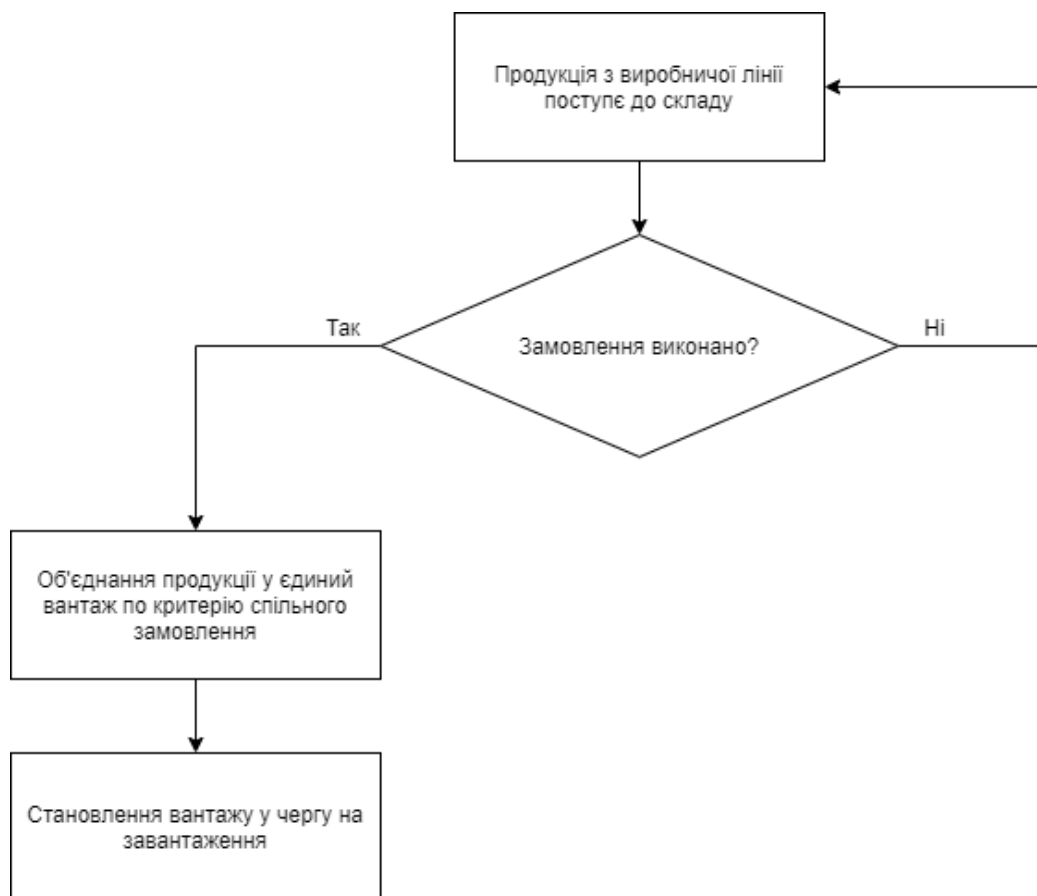


Рис. 2.1. Алгоритм створення черги на завантаження

По прибуттю, або наявності вільного ТЗ на пункті відправлення організується процес завантаження, що схематично відображений на рисунку 2.2.

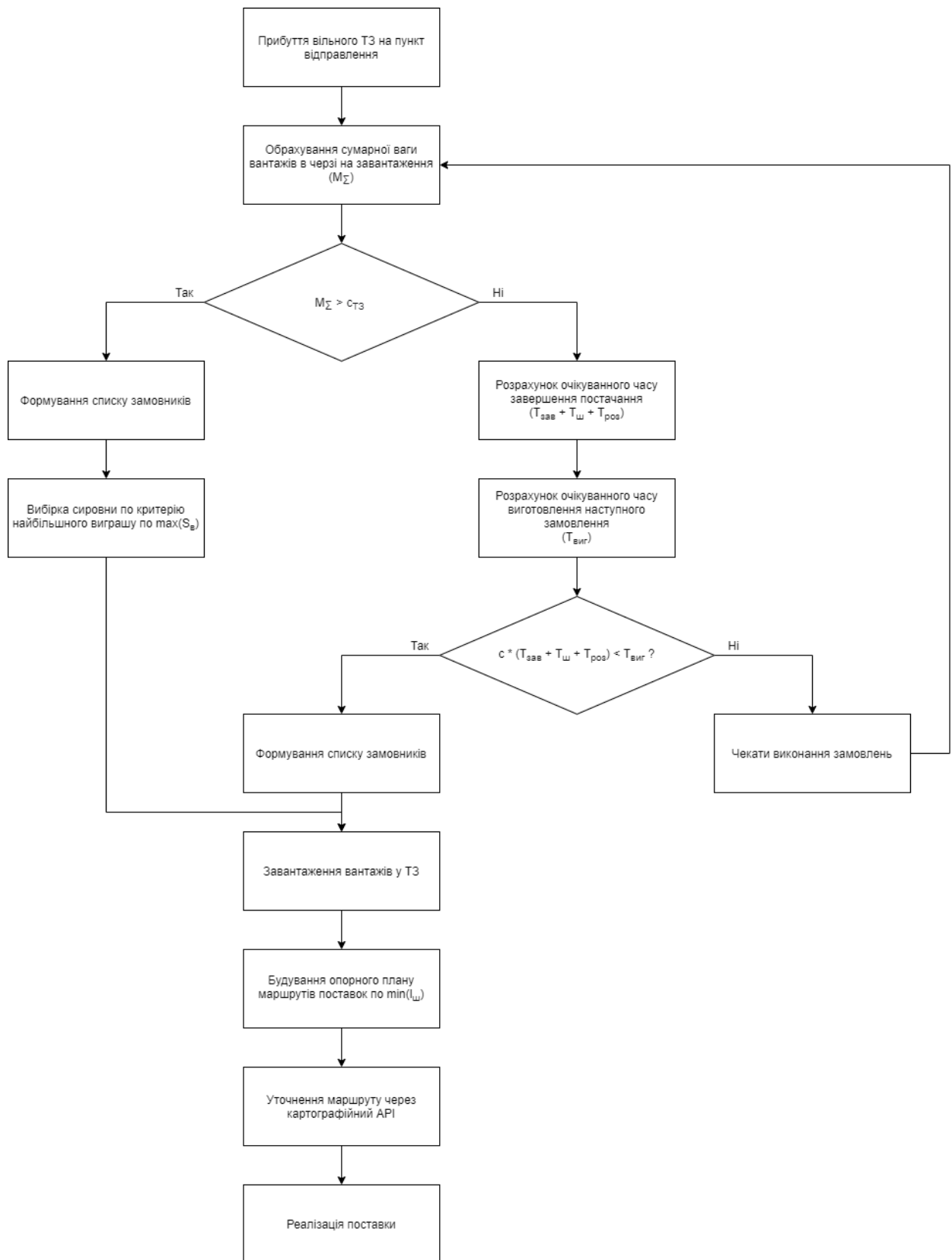


Рис. 2.2. Алгоритм завантаження ТЗ

Спершу обраховується сумарна вага вантажів в черзі на завантаження (M_{Σ}). Якщо вантажопідйомність ТЗ (c_{T3}) не дозволяє завантажити усі вантажі з пункту відправлень ($M_{\Sigma} > c_{T3}$), то відбувається вибірка вантажів на основі критерію виграшу по дистанції (S_6). Тобто в ТЗ завантажуються ті вантажі, при об'єднанні маршрутів поставок яких виходить найбільший виграш по дистанції. Виграш по дистанції обраховується по алгоритму Кларка-Райта, що описаний вище, в розділі 1.7.

Якщо ж вантажопідйомність ТЗ дозволяє завантажити усі вантажі з пункту відправлення, то розраховується очікуваний час завершення постачання по формулі:

$$T_{\Pi} = c * \left(\sum_{i=1}^n (T_{\text{зав } i} + T_{\text{ш } i} + T_{\text{роз } i}) + t_{\text{зв}} \right)$$

T_{Π} – очікуваний час завершення поставки;

c – поправочний коефіцієнт;

n – кількість замовників, чиї вантажі будуть завантажені в ТЗ;

$T_{\text{зав } i}$ – час завантаження вантажів замовника i ;

$T_{\text{зав } i}$ – час затрачений на подолання шляху до замовника i ;

$T_{\text{роз } i}$ – час розвантаження вантажів у замовника i ;

$t_{\text{зв}}$ – час повернення від останнього замовника до бази.

Обраховується очікуваний час виготовлення найближчого замовлення ($T_{\text{виг}}$), по тій ж формулі, що й T_n тільки для сировини, та просумований з часом на безпосереднє виготовлення замовленої продукції заводом.

Якщо $c * T_n < T_{\text{виг}}$, то розпочитається завантаження вантажем ТЗ, після чого той відправляється у дорогу. Інакше, ТЗ очікує завершення виготовлення замовлення й увесь вище описаний процес заново повторюється.

По завершенню завантаження ТЗ, будується кільцевий маршрут поставки, де кожен наступний пункт вибирається по критерію найменшої відстані до нього.

Отриманий кільцевий маршрут являє собою опорний план поставки, що далі уточнюються від рівня «на який завод поставляти замовлення» до «якою дорогою добиратися до заводу-замовника» з супутнім урахуванням поточної дорожньої ситуації (затори, ремонтні роботи і т.д.). Уточнення кільцевого маршруту відбувається через сервіси на зразок Google Maps, після чого ТЗ власне відправляється реалізовувати поставку замовлень.

Висновки

Запропонована система оперує мало партійними поставками – в ТЗ завантажуються штучні партії з декількох заводів, а не одне велике замовлення з одного заводу. По завершенню маршруту поставок, завод буде мати менший запас сировини у порівнянні з зірковою схемою, однак одночасно зможуть працювати більше заводів. Середній час поповнення заводів загалом зменшується за рахунок зведення до мінімуму зворотних поїздок з пустим причепом, а також охопленням маршрутом декількох точок. Охоплюється більший попит й відповідно зменшується час очікування накопичень замовлень на обраний маршрут. Скоріше можна відправляти транспортний засіб по маршруту доставки. Партії швидко закінчуються але й швидко поповнюються, що відповідає концепції ЛІТ.

РОЗДІЛ 3

ОПИС МЕХАНІЗМУ ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАВОК

3.1. Критерій ефективності

Для побудови опорного маршруту поставок будь-яким методом, завжди необхідні наступні дані: матриця відстаней між замовниками та поставником, кількість доступних ТЗ на складі.

За критерій ефективності поставок було взято відношення:

$$K = \frac{T_{\text{ср.а}}}{N_{\text{ТЗ}}}$$

$N_{\text{ТЗ}}$ – кількість задійяних ТЗ;

$T_{\text{ср.а}}$ – середньо арифметичний час виготовлення кінцевого продукту:

$$t_{\text{ср.а}} = \frac{\sum T_a}{N}$$

Час виготовлення кінцевої продукції складається з:

$$T_a = \sum_1^{n_{\text{поставників}}} \left(\sum_1^{n_{\text{поставок}}} (T_{\text{зав}} + T_{\text{ш}} + T_{\text{роз}}) + t_{\text{в}} \right) + t_{\text{с}}$$

$n_{\text{поставників}}$ – кількість поставників деталей та сировини, які були використані для виготовлення конкретного автомобіля;

$n_{\text{поставок}}$ – кількість реалізованих поставок;

$T_{\text{роз}}$ – сумарний час розвантаження вантажу;

$T_{\text{зав}}$ – сумарний час завантаження вантажу;

$t_{\text{в}}$ – час виготовлення деталей постачальниками;

$t_{\text{з}}$ – час складання автомобіля.

Сумарний час розвантаження (завантаження) обраховується за формулою:

$$T = \sum_{1}^{n_{\text{типів}}} t * n$$

$n_{\text{типів}}$ – кількість типів продукції в партії;

t – час розвантаження (завантаження) одиниці продукції вказаного типу на даному виробництві;

n – кількість продукції.

3.2. Постановка задачі створення імітаційної моделі інфраструктури підприємства

Системи виробництва та поставок тісно пов'язані між собою й неможливо провести об'єктивну оцінку ефективності однієї без іншої. Постає потреба в побудові імітаційної моделі інфраструктури підприємства, де система виробництва генерувала би замовлення й тільки після того як вони будуть задоволені система поставок, починалось би виробництво продукції.

Перелік основних задач імітаційної моделі:

1. Обрахувати та вивести сумарного затраченого часу та загальної кількості застосованих ТЗ по завершенню кожного етапу виконання замовлення;
2. Створити механізм оброблення вхідної інформації;
3. Створити механізм генерації та розсилання замовлень по заводам
4. Створити механізм оброблення заводом поставленої сировини у замовлену продукцію;
5. Механізм розподілу замовленої продукції по ТЗ та подальшої її поставки замовнику зі складу поставника.

3.3. Перелік допущених умовностей при побудові імітаційної моделі

1. Замовлення клієнтів підприємства надходять тільки на готову продукцію;
2. Опущені часові витрати пов'язані з зовнішнім імпортом сировини та експортом продукції підприємства;
3. Опущена ємність складів;
4. Опущена габаритна характеристика сировини та продукції;
5. Час розвантаження, виготовлення та завантаження вважаються константами;
6. Виробничі лінії не закріплюються за конкретним виробом, якщо звільняється лінія – на ній може бути виготовлений увесь спектр продукції заводу.

3.4. Опис модулів імітаційної моделі

Імітаційна модель за своїм функціоналом розподіляється на 5 основних модулів, кожен з яких може використовуватися ізольовано від інших. Для більш наглядної демонстрації роботи моделі було побудовано схему, що відображена на рисунку 3.1.



Рис. 3.1. Схема послідовності роботи імітаційної моделі

Вхідна інформація моделі:

- економічність ($e_{TЗ}$) та вантажопідйомність ($c_{TЗ}$) ТЗ;
- вага (m_c) та поставник сировини;
- вага (m_n) та сировина, що необхідна для виготовлення продукції;
- координати, виробнича потужність (P), спектр виготовляємої продукції з часом їх виготовлення ($t_{виз}$), завантаження ($t_{зав}$) та розвантаження з ТЗ ($t_{роз}$), вхідна пропускна здатність складу ($v_{вх}$), вихідна пропускна здатність складу ($v_{вих}$) та парк ТЗ заводу;
- матриця відстаней (l) та часових витрат ($t_{и}$) між заводами.

Вихідна інформація моделі:

- підсумковий коефіцієнт ефективності;
- записи о виконаних діях для реалізації кінцевої продукції.

3.4.1. Модуль десеріалізації та серіалізації

Даний модуль надає зручний інтерфейс для управління вхідними та вихідними даними, їх конвертація з текстового об'єкта до об'єкта моделі. Такі конвертації виконуються при первинному зчитанні вхідних даних, та при виводі результатів імітації.

В вхідних даних вага задається в кілограмах, відстань в кілометрах, час в хвилинах, а виробнича потужність в одиницях. Також важливо відмітити, що маршрут між однаковими точками, але з різними напрямками як правило мають різні показники, що по дистанції, що по часу й тому вважаються різними маршрутами.

Вхідна інформація модуля:

- символічний рядок у текстовому об'єкті для конвертації до об'єкту моделі;
- об'єкт моделі для конвертації у текстовий об'єкт.

Вихідна інформація модуля:

- помилка з відповідним повідомленням при конвертації символьного рядка, якщо він не відповідає стандартизованій нотації;
- об'єкт моделі отримані при десеріалізації символьного рядка текстового об'єкту;
- символьний рядок текстового об'єкту отриманий при серіалізації об'єкту моделі.

3.4.2. Модуль генерації зовнішніх замовлень

Цей модуль аналізує увесь спектр виготовляємої продукції підприємством та генерує зовнішні замовлення на зазначений об'єм випадкової продукції (зовнішні замовлення – це замовлення, що надходять ззовні, від клієнтів підприємства), після чого розсилає їх по заводам.

Якщо вказану у замовленні специфікацію продукції можуть виробити декілька заводами, то робиться вибірка на основі критерію їх завантаженості ($C_{зав.}$), що розраховується по формулі:

$$C_{зав.} = \frac{N}{P}$$

N – кількість замовлень, взятих заводом; за замовчуванням, на початку імітації рівна 0;

P – потужність заводу, кількість замовлень яку завод може оброблювати одночасно.

У зовнішньому замовленні вказується ID, замовник та об'єм замовленої продукції.

Вхідна інформація модуля:

- Масив продукції;
- Масив заводів.

Вихідна інформація модуля:

- Масив зовнішніх замовлень.

3.4.3. Імітаційний модуль

Даний модуль імітує роботу систем виробництв та поставок на заводах підприємства, тобто процеси:

- оброблення заводами вхідних замовлень на продукцію;
- розсилки вихідних замовлень на сировину по постачальникам;
- розвантаження сировини на склад;
- очікування на прибуття усієї необхідної сировини та звільнення виробничої лінії для початку виробництва продукції
- виробництва продукції;
- побудови опорного плану маршрутів поставок;
- завантаження продукції в ТЗ;
- реалізації поставок продукції до замовника.

В свою чергу цей модуль розділяється ще на 4 ізольованих модулів, чия схема взаємодії продемонстрована на рисунку 3.2.

Вхідна інформація модуля:

- масив ТЗ;
- масив сировини;
- масив поставників підприємства;
- масив продукції;
- масив заводів;
- масив маршрутів між заводами.

Вихідна інформація модуля:

- час простою ТЗ у чергах, простою сировини та продукції на складах, час виробництва продукції та загальний час постачання;
- загальна кількість задіяних ТЗ для реалізації кінцевої продукції;
- записи по виконаних діях для реалізації кінцевої продукції.

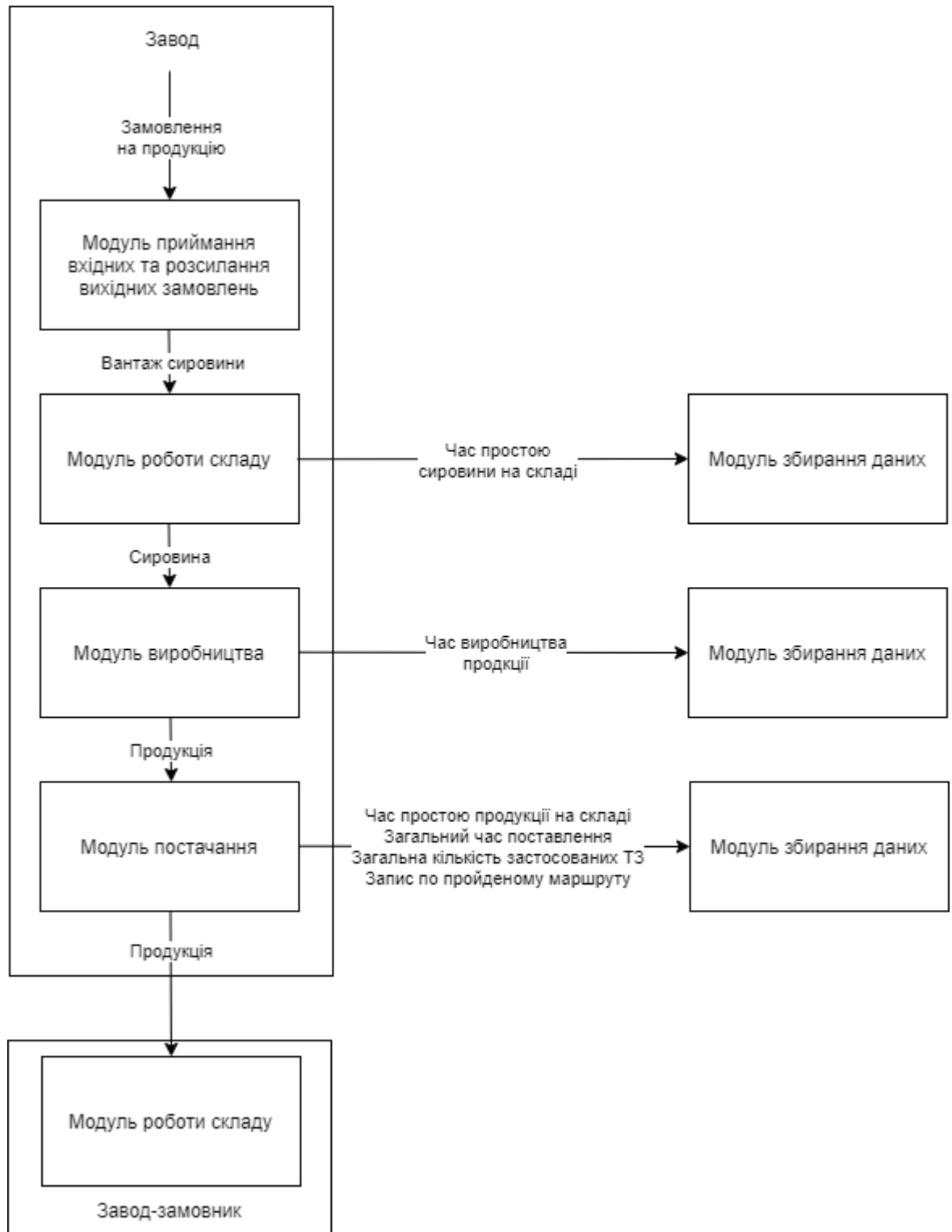


Рис. 3.2. Схема реалізації замовленої продукції заводом

3.4.3.1. Модуль приймання вхідних та розсилання вихідних замовлень

Цей модуль відповідає за розсилку замовлень між внутрішніми виробництвами підприємства, які додатково розділяються на вхідні – ті що приймає завод та вихідні – ті що завод розсилає по своїм постачальникам.

На основі вхідного замовлення, завод створює дочірні, вихідні замовлення, в яких окрім власного ID, заводу-замовника та необхідного для виробництва об'єму сировини також додатково вказується ID батьківського замовлення.

Завод аналізує вхідне замовлення на предмет кількості сировини, що необхідна для реалізації свого продукту та розсилає вихідні замовлення по своїм постачальникам. Вихідне замовлення між постачальникам розподіляються по критерію найменшого добутку завантаженості ($C_{\text{зав.}}$) на відстань між завод та постачальником (S):

$$C = C_{\text{зав.}} * S$$

В свою чергу заводи-постачальники також аналізуються замовлення на предмет необхідної сировини й у разі необхідності, розсилають вже свої вихідні замовлення, що також розподіляються по критерію найменшого добутку. Й так далі, до замовлення на первину сировину, що закуповується у зовнішніх постачальників.

Так як робота зовнішніх постачальників й часові витрати з ними пов'язані не відіграють вирішальної ролі на роботу внутрішньої логістики підприємства, то в даній моделі вся первина сировина відразу ж поставляється єдиним імпортером, як тільки йому було надіслано замовлення.

Відлік часу виготовлення автомобіля починається з початком виробництва-обробки первинної сировини.

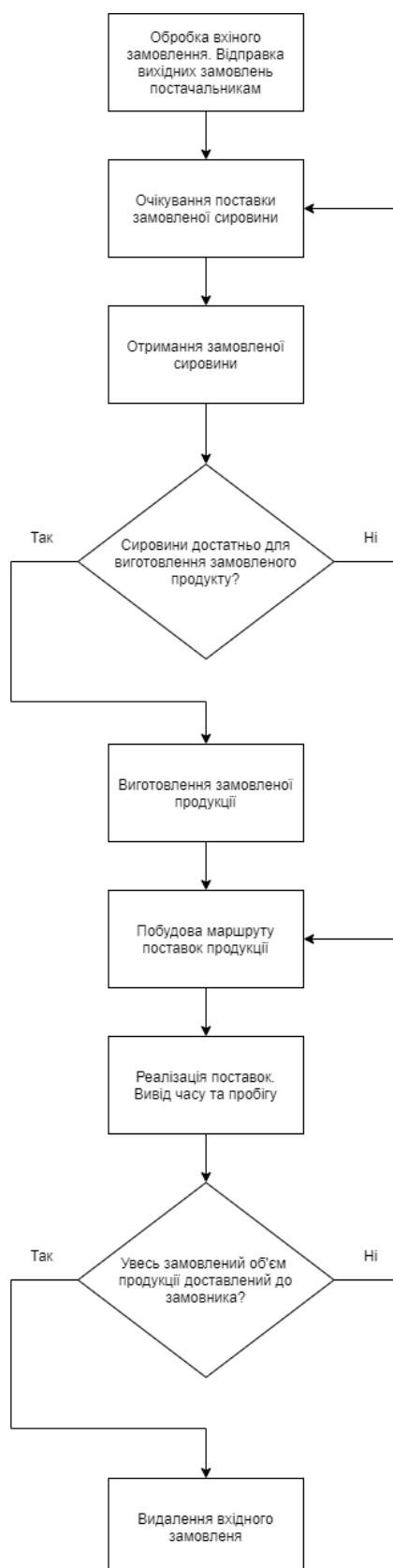


Рис. 3.3. Загальний алгоритм обробки замовлень заводом



Рис. 3.4. Більш детальний алгоритм обробки вхідного замовлення

Вхідна інформація модуля:

- вхідні замовлення.

Вихідна інформація модуля:

- вихідні замовлення на необхідну для виробництва сировину по поставникам.

3.4.3.2. Модуль роботи складу

По прибуттю ТЗ з сировиною на завод, перевіряється вхідна пропускна здатність складу. При відсутності вільних місць в пункті прийому, ТЗ вимушений буде встати в чергу очікування.

Час розвантаження / завантаження (t) одиниці сировини на різних заводах відрізняється.

У відповідності з системою менеджменту Канбан, по завершенню розвантаження ТЗ, перевіряється чи вистачає сировини з одного замовлення на виготовлення виробу. Якщо так – сировина встає в чергу на виробництво.

Вхідна інформація модуля:

- вхідна пропускна здатність складу ($v_{вх}$);
- час розвантаження одиниці сировини на заводі ($t_{роз}$);
- вантаж в ТЗ;
- наявна на складі сировина;
- завантаженість заводу ($C_{зав.}$).

Вихідна інформація модуля:

- черга на виготовлення продукції;
- сумарний час розвантаження сировини ($T_{роз}$)
- час простою сировини на складі (t_n).

3.4.3.3. Модуль виготовлення продукції

Завод має обмежену кількість виробничих ліній, що визначається потужністю виробництва (P). Якщо вільна виробнича лінія ($C_{зав} < P$), то вантаж сировини відправляється на виробничу лінію де починається виробництво замовленої продукції.

Виготовлена продукція відправляється на склад, в чергу на відправлення.

Вхідна інформація модуля:

- черга на виготовлення продукції;
- таблиця часу виготовлення продукції ($t_{виг}$).
- потужність виробництва (P).

Вихідна інформація модуля:

- виготовлена продукція;
- завантаженість виробничих ліній ($C_{зав}$);
- час виготовлення продукції ($t_{виг}$).

3.4.3.4. Модуль поставок

В залежності від обраного методу побудови опорного плану маршрутів поставок, виготовлена продукція простоє на складі, поки не прибуде до пункту відправлення ТЗ за яким вона закріплена. Вихідна пропускна здатність також обмежена й якщо відсутні вільні місця на завантаження, ТЗ вимушений буде стояти в черзі. Як й час розвантаження, час завантаження ($t_{зав}$) на різних заводах відрізається.

Вхідна інформація модуля:

- вихідна пропускна здатність складу ($v_{вих}$);
- вантажопідйомність ТЗ ($c_{ТЗ}$);
- таблиця часу завантаження одиниці продукції ($t_{зав}$) ;
- матриця відстаней ($l_{и}$) та часових витрат ($t_{и}$) між заводами;
- наявна на складі продукція.

Вихідна інформація модуля:

- вантаж продукції;
- сумарні часові витрати на поставку всього об'єму замовленої продукції ($T_{и}$);
- загальна кількість застосованих ТЗ на поставку всього об'єму замовленої продукції ($N_{ТЗ}$);
- записи здійснених логістичних операцій для поставки всього об'єму замовленої продукції.

3.4.4. Модуль збору даних

В цьому модулі зберігаються масиви затраченого часу, кількості задіяних ТЗ та записи логістичних операцій окремо по кожній виготовленій продукції. На їх основі відбувається обчислення коефіцієнту ефективності системи поставки.

По виготовленню вказаного об'єму кінцевої продукції, підраховується середній час виготовлення кінцевої продукції, середня кількість застосованих ТЗ й з їх відношення виводиться коефіцієнт ефективності поставок, що разом з записами, конвертуються у вихідний текстовий об'єкт в модуль серіалізації.

В записах логістичних операцій міститься наступна інформація:

- Звідки реалізується поставка;
- Куди;
- ТЗ яким реалізується поставка;
- Продукція що поставляється;
- Об'єм поставляємої продукції;
- Загальний об'єм замовленої продукції;
- ID замовлення.

Вхідна інформація модуля:

- сумарні часові витрати на поставку всього об'єму замовленої продукції ($T_{\text{ш}}$);
- загальна кількість застосованих ТЗ на поставку всього об'єму замовленої продукції ($N_{\text{ТЗ}}$);
- записи здійснених логістичних операцій для поставки всього об'єму замовленої продукції.

Вихідна інформація модуля:

- коефіцієнт ефективності системи поставок;
- записи здійснених логістичних операцій для поставки всього об'єму замовленої продукції.

Висновки

В даному розділі була виведена формула обрахування коефіцієнту ефективності, за яким будуть порівнюватись методи та схеми організації поставок, а також була описана модель інфраструктури підприємства в якій ці порівняння будуть відбуватись. Описана модель враховує різницю між маршрутами з протилежними напрямками, індивідуальність часових витрат на розвантаження та завантаження ТЗ на різних виробництвах, різницю між різними моделями ТЗ та особливості виготовлення різної продукції. Згідно з постулатами ощадливого виробництва, в моделі виробництво реалізується виключно за наявності замовлення, а склади організовані по системі менеджменту Канбан й кожна сировина закріплюється за конкретним виробом.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

4.1. Опис предметної області

За предметну область взято виробництво автомобілів, а за середовище поставок – структура автоконцерну VAG на територіях Німеччини.

Для виготовлення кінцевого продукту, автомобіля необхідно, щоб на складі виробництва були наявні деталі (двигун, коробка передач, шасі і т.д.), що чітко зазначаються в специфікації автомобіля. В свою чергу, деталі можуть виготовлятися з інших деталей. Ланцюг продукт-деталі доходить до первинної сировини (метал, пластик і т.д.), що закуповується підприємством у зовнішнього поставника (шахти).

Існують заводи, що тільки виробляють деталі, ті що тільки складають автомобілі та ті що можуть і те, і те.

4.2. Засоби розробки імітаційної програми

В якості середовища розробки був обраний рушій Unity за його простоту візуалізації та багатофункціональність. Unity працює у зв'язці з IDE Visual Studio 2019 на мові програмування C#.

4.3. Формат вхідних даних

Програма зчитує вхідні дані з текстових файлів. В одному файлі міститься увесь масив об'єктів моделі як-то ТЗ (Vehicles.txt), сировини (Raw.txt), продукція (Products.txt) та маршрути (Routes.txt). Інформація по заводам зчитується з окремої теки (Factories) в якій кожен файл містить інформацію лише по однойменному з ним заводом.

Об'єкти всередині одного файлу відокремлюється пустим рядком. Якщо властивість об'єкту являє собою масив даних, то після двокрапок вказується кількість елементів масиву та з нового рядку, через табуляцію починається їх перелік.

```

Ford F-MAX :
    economy: 27.5
    capacity: 9450

```

Рис. 4.1. Формат задания ТЗ (Vehicles.txt)

```

Metal :
    weight: 1

```

Рис. 4.2. Формат задания сировини (Raw.txt)

```

Volkswagen Golf :
    weight: null
    raw: 7
        1 x Engine
        1 x Gearbox
        1 x Battery
        1 x Exhaust
        1 x Chassis
        1 x Body
        1 x VAG-Plastic

```

Рис. 4.3. Формат задания продукту (Products.txt)

```

Volkswagen AG
52.43712 10.76593

power: 70
inputCells: 31
outputCells: 31
vehicles: 1
    62 x Ford F-MAX

products: 8
Chassis :
    productionTime: 300
    loadTime: 5
    unloadTime: 5

Body :
    productionTime: 10
    loadTime: 5
    unloadTime: 5

VAG-Plastic :
    productionTime: 10
    loadTime: 1
    unloadTime: 1

Volkswagen Golf :
    productionTime: 100
    loadTime: null
    unloadTime: null

Volkswagen Golf Sportsvan :
    productionTime: 200
    loadTime: null
    unloadTime: null

```

Рис. 4.4. Формат задания заводу

Volkswagen AG	Volkswagen AG Emden	323	180
Volkswagen AG	Volkswagen Osnabruck GmbH	228	136
Volkswagen AG	Volkswagen AG Hannover	93.3	68
Volkswagen AG	Volkswagen AG Salzgitter	55.5	37
Volkswagen AG	Volkswagen AG Braunschweig	38.4	32
Volkswagen AG	Volkswagen AG Baunatal	185	122
Volkswagen AG	Zwickau Volkswagen Sachsen GmbH	317	180
Volkswagen AG	Dresden Volkswagen Sachsen GmbH	310	174
Volkswagen AG	Chemnitz Volkswagen Sachsen GmbH	331	181
Volkswagen AG	Audi AG Werk Neckarsulm	487	296
Volkswagen AG	Audi AG	527	299
Volkswagen AG	Porsche AG	527	326
Volkswagen AG	Porsche AG Leipzig	207	93

Рис. 4.5. Формат задання маршрутів (Routes.txt)

4.4. Діаграма класів

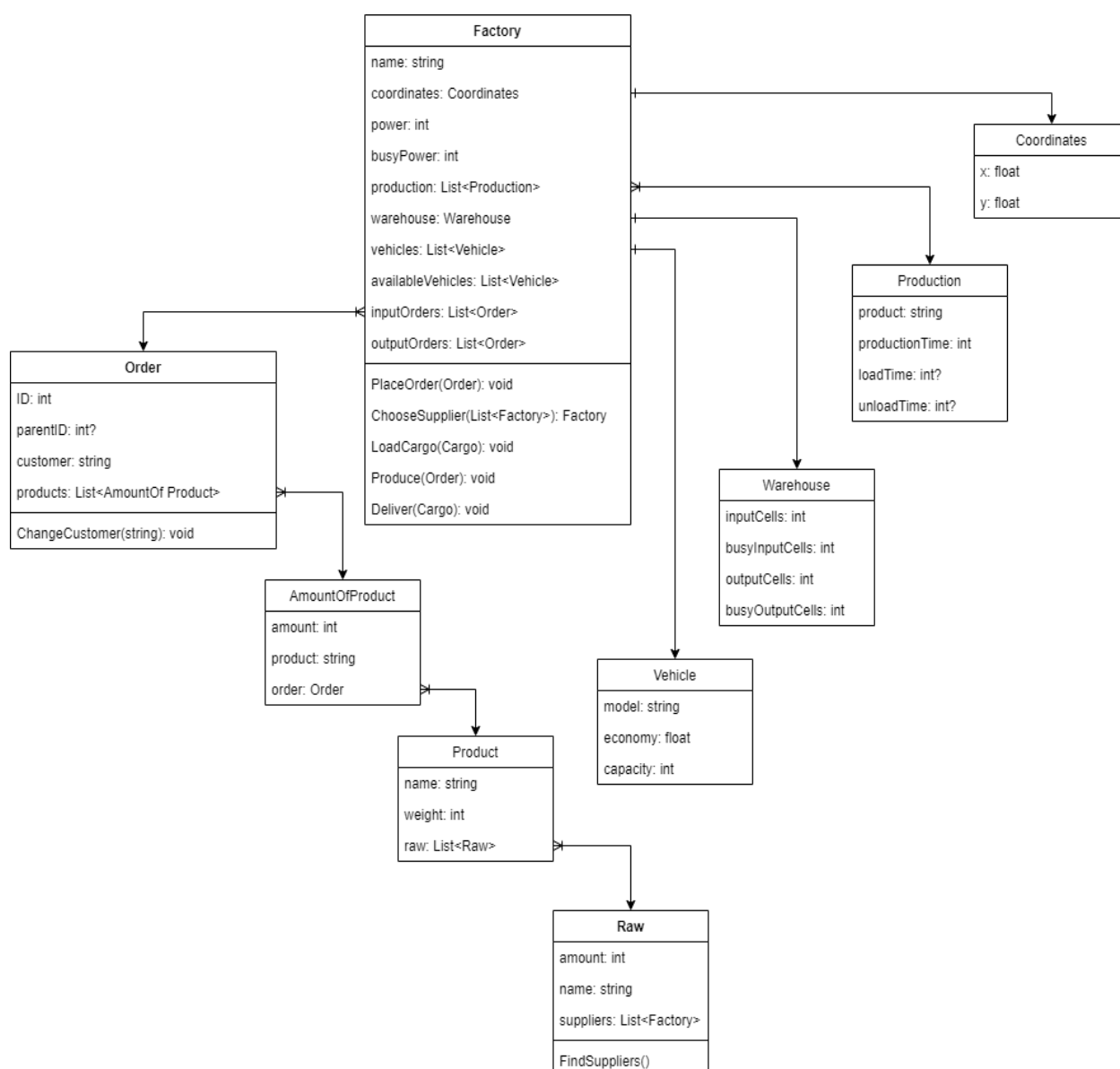


Рис. 4.6. Діаграма класів імітаційного модуля

Діаграма класів — це такий тип діаграм, які використовуються для моделювання систем, побудованих за об'єктно-орієнтованим принципом. Елементи даної діаграми класів пов'язані ієрархічними зв'язками, тобто від класу наслідника до батьківського класу. Зображення діаграми класів наведено на рисунку 4.6.

4.5. Структура файлів

Загальна кількість файлів з програмним кодом складає 7 файлів. Весь проект займає 56,9 Мб на дисковому накопичувачі.

Характеристика файлів:

- NewDataType.cs – визначає структуру об'єкту ТЗ, сировини, продукції, об'єму продукції та замовлення;
- Supplier.cs – визначає об'єкт поставник;
- Factories.cs – визначає об'єкт завод;
- Data.cs – містить усі наявні ТЗ, сировини, продукцію, замовлення, поставники та заводи;
- Main.cs – визначає сценарій виконання програми;
- Map.cs – будує карту та визначає її роботу;
- CameraController.cs – містить механіку роботи камери.

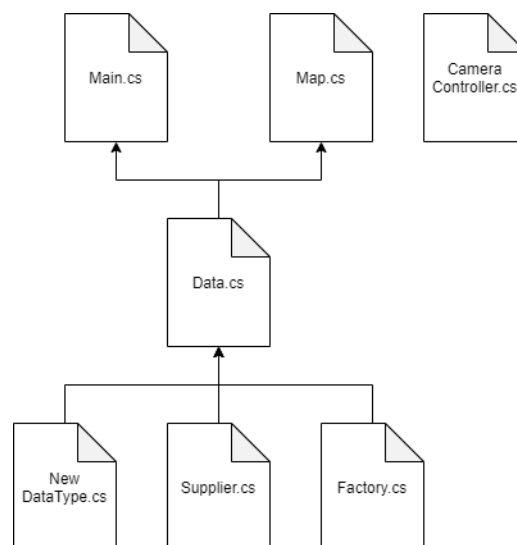


Рис. 4.7. Структура файлів програми

4.6. Логіка роботи програми

Спочатку по рядку зчитуються вхідні дані методами класу `StreamReader` та створюються об'єкти, що вносяться в однойменні списки в `Data.cs` у наступній послідовності:

1. ТЗ;
2. Сировина;
3. Продукція;
4. Поставник;
5. Завод;
6. Маршрут.

```
public static void SetVehicle()
{
    var factoryDataPath = "Input/Vehicles.txt";
    using (StreamReader sr = new StreamReader(factoryDataPath, System.Text.Encoding.Default))
    {
        string model;
        float economy;
        int capacity;

        string line;
        while ((line = sr.ReadLine()) != null)
        {
            if (line != "")
            {
                line = line.Trim();
                model = line.Split(new string[] { " :" }, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];

                line = sr.ReadLine();
                line = line.Trim();
                economy = StringToFloat(line.Split(new string[] { "economy: " }, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0]);

                line = sr.ReadLine();
                line = line.Trim();
                capacity = Convert.ToInt32(line.Split(new string[] { "capacity: " }, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0]);

                vehicles.Add(new Vehicle(model, economy, capacity));
            }
        }
    }
}
```

Рис. 4.8. Метод зчитування та ініціалізації об'єкту ТЗ

По завершенню первинної ініціалізації об'єктів, будується карта заводів, на якій візуально відображається їх актуальний стан:

- Завантаженість виробничих потужностей;
- Завантаженість парку ТЗ;
- Кількість вхідних замовлень;
- Кількість вихідних замовлень;

- Спектр виготовляємої продукції;
- Завантаженість приймального пункту складу;
- Завантаженість відправного пункту складу;
- Кількість вантажу на складі.

Карта заводів оновлюється по приймані вхідного замовлення, отримання вантажу, виготовленні продукції та її відправленні.

```

ССЫЛКА: 1
void CreateMap()
{
    foreach (Factory factory in Data.factories)
    {
        Instantiate(factoryGO, new Vector3(10 * factory.coordinates.y, 0, 10 * factory.coordinates.x), transform.rotation, transform);
    }
}

ССЫЛКА: 1
public void UpdateMap()
{
    for (int i = 0; i < Data.factories.Count; i++)
    {
        info = transform.GetChild(i).GetChild(0).GetComponent<TextMesh>();

        info.text = "";
        info.text += Data.factories[i].name + '\n';
        info.text += "[" + Data.factories[i].busyPower + "|" + Data.factories[i].power + "]\n";
        int busyVehicle = Data.factories[i].vehicles.Count - Data.factories[i].availableVehicles.Count;
        info.text += "Vehicles load [" + busyVehicle + "|" + Data.factories[i].vehicles.Count + "]\n";
        info.text += "Input orders: " + Data.factories[i].inputOrders.Count + '\n';
        info.text += "Input orders: " + Data.factories[i].outputOrders.Count + '\n';
        info.text += '\n';
        info.text += "-----PRODUCTION-----\n";
        foreach (Production production in Data.factories[i].production)
        {
            info.text += production.product + '\n';
        }
        info.text += "\n";
        info.text += "-----WAREHOUSE-----\n";
        info.text += "Input [" + Data.factories[i].warehouse.busyInputCells + "|" + Data.factories[i].warehouse.inputCells + "]\n";
        info.text += "Input [" + Data.factories[i].warehouse.busyOutputCells + "|" + Data.factories[i].warehouse.outputCells + "]\n";
        info.text += "Cargo: " + Data.factories[i].warehouse.cargo.Count;
    }
}

```

Рис. 4.9. Метод створення та оновлення карти заводів

В класі Main генеруються зовнішні замовлення на кінцеву продукцію, після чого вони відправляються в клас Data, де вони розподіляються по заводам.

Так як на заводі працює система менеджменту інвентарю Канбан, то на складі не може опинитись вільна сировина, тому як тільки завод отримує вхідне замовлення, він відразу ж формує вихідні замовлення на сировину, що йому необхідна для виробництва замовленої продукції.

ссылка: 1

```

public void PlaceOrder(Order order)
{
    Factory supplier;
    List<Order> preOrders = new List<Order>();
    List<AmountOfProduct> demandProductList = new List<AmountOfProduct>();
    AmountOfProduct demandProducts;
    inputOrders.Add(order);

    foreach (AmountOfProduct orderedProducts in order.products)
    {
        Product orderedProduct = Data.products.Find(item => item.name == orderedProducts.product);

        foreach (Raw raw in orderedProduct.raw)
        {
            demandProducts.amount = raw.amount;
            demandProducts.product = Data.products.Find(item => item.name == raw.name).name;
            demandProductList.Add(demandProducts);

            if (raw.suppliers.Count > 1) supplier = ChooseSupplier(raw.suppliers);
            else supplier = raw.suppliers[0];

            preOrders.Add(new Order(order.id, supplier.name, demandProductList));
        }

        demandProductList = new List<AmountOfProduct>();
    }

    for (int i = 0; i < preOrders.Count; i++)
    {
        for (int j = 0; j < preOrders.Count; j++)
        {
            if (preOrders[i].customer == preOrders[j].customer)
            {
                foreach (AmountOfProduct demandProduct in preOrders[j].products)
                {
                    preOrders[i].products.Add(demandProduct);
                }
                preOrders.RemoveAt(j);
            }
        }
    }

    foreach (Order outputOrder in preOrders)
    {
        foreach (Factory factory in Data.factories)
        {
            if (factory.name == outputOrder.customer)
            {
                outputOrder.ChangeCustomer(name);
                factory.PlaceOrder(outputOrder);
                break;
            }
        }
    }
}

```

Рис. 4.10. Метод оброблення вхідного замовлення заводом

```

ссылка: 1
public Factory ChooseSupplier(List<Factory> suppliers)
{
    Route route;
    float rate;
    List<float> rateList = new List<float>();
    float minRate = 40000;
    int index;

    foreach (Factory supplier in suppliers)
    {
        route = Data.routes.Find(item => (item.from == name) && (item.to == supplier.name));
        rate = route.distance * supplier.busyPower / supplier.power;
        rateList.Add(rate);
        if (rate < minRate) minRate = rate;
    }

    index = rateList.FindIndex(item => item == minRate);
    return suppliers[index];
}

```

Рис. 4.11. Метод вибору найбільш вигідного поставника

Ланцюг замовлень спускається до заводу, що оброблює первину сировину. Він розміщує замовлення у зовнішнього поставника підприємства. Так як питання імпорту та експорту в імітаційній моделі опущені, то як тільки зовнішній поставник отримує замовленням від заводу, він відразу ж відправляє замовлену сировину єдиним вантажем.

```

void Deliver(Order order)
{
    Cargo cargo;
    Factory customer = Data.factories.Find(item => item.name == order.customer);
    foreach (AmountOfProduct productList in order.products)
    {
        cargo = new Cargo(productList.amount, productList.product, order);
        customer.LoadCargo(cargo);
    }
}

```

Рис. 4.12. Метод поставки вантажу первинної сировини зовнішнім поставником

Висновки

В даному розділі представлена предметна область, застосовані засоби розробки, формат вхідних даних, діаграма класі, структура файлів та логіка роботи програмної реалізації імітаційної моделі інфраструктури виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведений огляд поточного стану підприємств. Проаналізована методологія постачання ЛТ, філософії ощадливого виробництва, до якої вона відноситься, методи побудови опорних маршрутів та їх оптимізація;

2. Визначена необхідність розробки системи організації поставки при якому партії прибували б на виробництво до того як на його складі закінчиться сировина, мінімізувався процент поїздок з пустим причепом, згладжувалося навантаження на склади;

3. Розроблена система організації поставок на підприємстві, що оперує мало партійними доставками – в транспортний засіб завантажуються штучні партії з декількох заводів, а не одне велике замовлення з одного заводу. По завершенню маршруту поставок, завод буде мати менший запас сировини у порівнянні з зірковою схемою, однак одночасно зможуть працювати більше заводів. Середній час поповнення заводів загалом зменшується за рахунок зведення до мінімуму зворотних поїздок з пустим причепом, а також охопленням маршрутом декількох точок. Охоплюється більший попит й відповідно зменшується час очікування накопичень замовлень на обраний маршрут. Скоріше можна відправляти транспортний засіб по маршруту доставки. Партії швидко закінчуються але й швидко поповнюються, що відповідає концепції ЛТ;

4. Описана формула критерія ефективності поставок, що базується на відношенні середньо арифметичного часу виготовлення кінцевої продукції до кількості задіяних ТЗ;

5. На основі інфраструктури автоконцерну VAG розроблено імітаційну модель інфраструктури підприємства, що дозволяє порівнювати ефективність систем поставок;

6. Прийнято участь у 2-х міжнародних наукових конференціях: «ПРІТС-2020» та «ПТ-2021».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Японія та США спільно шукатимуть шляхи виходу із кризи напівпровідників». [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://tech.24tv.ua/kryza-napivprovidnikov-yaponiya-ssha-shukatimut-novini-tehnologiy_n1589448
2. «Как создаются процессоры?». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://youtu.be/Wq-NJUNV4y8>
3. «Гениальная афера Porsche и VW». [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://youtu.be/5W_rAzoPOLs
4. «Richard Hammond's BIG! World's Biggest Car Factory». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://youtu.be/vPga4qD2c78>
5. «Внедрение системы точно в срок на примере. Быть вовремя во всем Just-In-Time (JIT)». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://avtopilot-center.ru/vnedrenie-sistemy-tochno-v-srok-na-primere-byt-vovremya-vo.html>
6. «Об эффективности модели работы фирмы «Тойота». Реалии современного мирового автомобилестроения». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.avtomash.ru/guravto/2005/20051137.htm>
7. «Что такое система Канбан и в чем ее основной смысл». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://rdv-it.ru/company/press-center/blog/sistema-proizvodstva-kanban/>
8. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. / Н.Т. Кунда // Навчальний посібник для студентів напрямку «Транспортні технології» вищих навчальних закладів. – К.: Видавничий дім «Слово», 2008. – 400 с.
9. «Метод Кларка-Райта. Оптимальное планирование маршрутов грузоперевозок». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://infostart.ru/1c/articles/443585/>