

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.10 – КР. 280 “С” 2021.02.11. 010 ПЗ

**ЗИМИ ВЛАДИСЛАВА ВІКТОРОВИЧА**

2025 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет механіко технологічної**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри  
транспортних технологій та  
(назва кафедри)**

**засобів у АПК**

\_\_\_\_\_ Савченко Л.А.  
(підпис) ПІБ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему «Оптимізація маршруту доставки молочної продукції на агрофірмі»  
Спеціальність 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»  
(код і назва)**

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ К. Т. Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Савченко Л.А.  
(ПІБ)

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ Д. Т. Н., професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Прокудін Г.С.  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Зима В.В  
(ПІБ студента)

**КИЇВ - 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет механіко технологічний**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**транспортних технологій та засобів у АПК**

Савченко Л. А.  
(ПІБ)  
2025 р.

\_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, вчене звання)      \_\_\_\_\_  
(підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту**

Зимі Владиславу Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)  
(код і назва)

Тема випускної бакалаврської роботи «Оптимізація маршруту доставки молочної продукції на агрофірмі» затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.11.2024 р. № 2099 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15 травня 2025 р.  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до випускної бакалаврської роботи:

1. Короткі відомості та географічне розміщення об'єкту дослідження – ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».
2. Основні показники роботи підприємства ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».
3. Довідкові дані про об'єкт, що досліджується.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Загальна характеристика та аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».
2. Теоретичні відомості щодо розв'язання транспортних задач оптимальної маршрутизації, знаходження оптимального плану вантажних перевезень, оптимального закріплення рухомого складу.
3. Застосування транспортних задач оптимальної маршрутизації, знаходження оптимального плану вантажних перевезень, оптимального закріплення рухомого складу у ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Дата видачі завдання «1» вересня 2025 р.

Керівник випускної бакалаврської роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Прокудін Г.С.  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

Зима В.В.  
(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи – оптимізація маршруту доставки молочної продукції на агрофермі (на прикладі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»).

У першому розділі проведено характеристику та SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА», основним видом діяльності якого є вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур та насіння олійних культур, виробництво молочної продукції. Підприємство має потужний сучасний рухомий склад. Проведено аналіз статистичних даних обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України за 2020-2024 роки. та прогноз на 2025-2026 рр. показав зростання обсягів молока та молочних продуктів, як експорту (на 29,9% з 2024 до 2026 року) так і імпорту (на 17,1% з 2024 до 2026 року).

У другому розділі на прикладі транспортної мережі, перетвореної на неорієнтований граф, розглянуто алгоритм Дейкстри знаходження найкоротших відстаней від транспортного вузла-джерела до решти, причому розрахунки були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel. Знаходження оптимального плану перевезень вантажу було виконано за допомогою симплексного методу. Розрахунки також були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel. Також у розділі покроково описано технологію роботи програмного комплексу розв'язання транспортного завдання симплексним методом (PTSM). Програмний комплекс PTSM реалізований серед об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi.

У третьому розділі було розглянуто питання – побудови транспортної мережі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції; оптимальної маршрутизації вантажних перевезень ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції; знаходження оптимального плану перевезень молочної продукції на ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» за допомогою програмного комплексу

вирішення транспортного завдання симплексним методом (РТСМ); оптимального закріплення рухомого складу ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» при виконанні перевезень молочної продукції.

Метою роботи є оптимізація процесу доставки молочної продукції на прикладі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Об'єктом дослідження є транспортний процес доставки молочної продукції на прикладі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Предметом дослідження є використання моделей та методів дослідження операцій у процесі доставки молочної продукції на прикладі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Основними завданнями бакалаврської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз виробничої діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»;
- прогнозування обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України на 2025-2026 роки. на основі статистичних даних за 2020–2024 рр.;
- наведення теоретичних відомостей щодо вирішення транспортних завдань оптимальної маршрутизації, знаходження оптимального плану вантажних перевезень, оптимального закріплення рухомого складу;
- застосування транспортних завдань оптимальної маршрутизації, знаходження оптимального плану вантажних перевезень, оптимального закріплення рухомого складу у ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Кваліфікаційна робота містить 70 сторінок, 17 малюнків, 12 таблиць, 2 формули та 4 додатки. Список посилань налічує 31 найменування.

Ключові слова: молоко та молочна продукція, автомобільний транспорт, маршрут перевезення, оптимальний план, метод Дейкстри, рухомий склад, угорський метод, симплексний метод, транспортна мережа, транспортна таблиця.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	4	
<b>ЗМІСТ</b> .....	6	
<b>ВСТУП</b> .....	8	
<b>РОЗДІЛ 1</b>		
<b>ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ</b>		
<b>ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»</b> .....	10	
1.1. Загальна характеристика ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».....	10	
1.2 SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».....	13	
1.3 Рухомий склад ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».....	14	
1.4 Характеристика та аналіз зовнішньоекономічної діяльності України з обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами. ....	16	
1.5 Висновки до розділу 1 .....	21	
<b>РОЗДІЛ 2</b>		
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО РОЗВ’ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ, ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ</b> .....		24
2.1 Задача оптимальної маршрутизації вантажних перевезень.....	24	
2.2. Симплексний метод знаходження оптимального плану перевезень вантажу.....	30	
2.3 Програмний комплекс розв’язання транспортної задачі симплексним методом (РТЗСМ).....	35	
2.4 Угорський метод розв’язання транспортної задачі про призначення	37	
2.5 Висновки до розділу 2 .....	43	

## **РОЗДІЛ 3**

### **ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ, ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВАНТАЖНИХ ПЕРВЕЗЕНЬ, ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ У ТОВ «АГРОФІРМА «КЛАДЬКІВКА» .....44**

3.1 Побудова транспортної мережі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції..... 44

3.2 Задача оптимальної маршрутизації вантажних перевезень ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції..... 46

3.3 Знаходження оптимального плану перевезень молочної продукції на ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» за допомогою програмного комплексу розв'язання транспортної задачі симплексним методом (РТЗСМ)..... 49

3.4 Оптимальне закріплення рухомого складу ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» при виконанні перевезень молочної продукції..... 53

3.5 Висновки до розділу 3.....56

**ВИСНОВКИ ..... 58**

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 62**

**ДОДАТКИ ..... 66**

## ВСТУП

Аграрний сектор України – стратегічна галузь, яка забезпечує продовольчу безпеку країни, значні валютні надходження та зайнятість населення. В умовах глобалізації та швидких змін в економічному середовищі аграрний сектор стикається з низкою викликів, включаючи обмеженість фінансових ресурсів, зміну клімату, нестачу кваліфікованої робочої сили та нерозвиненість інфраструктури.

Особливу увагу слід приділити аналізу ролі технологічних інновацій та технологій як перспективних напрямів розвитку аграрного сектора, що сприяють підвищенню ефективності виробництва та посиленню стійкості до зміни клімату. Виділено основні перспективи розвитку аграрного сектору України: 1) формування нової моделі розвитку аграрної галузі в умовах війни або після воєнного стану, яке буде орієнтоване на підвищення ефективності розвитку цієї галузі; 2) посилення інвестицій та державної підтримки, тобто аграрний сектор України має збільшити інвестиції, зокрема, у модернізацію технологій, обладнання та розвиток інфраструктури; 3) розвиток інноваційних технологій та точного землеробства; 4) адаптація до зміни клімату та розвиток іригаційних систем; 5) поліпшення інфраструктури та логістики. Розвиток транспортної інфраструктури, будівництво нових елеваторів та розподільчих центрів має велике значення для підвищення конкурентоспроможності української сільськогосподарської продукції на міжнародному ринку; 6) розвиток людського капіталу та підготовка кадрів; 7) посилення експортних можливостей та інтеграція у міжнародні ринки. Висновки та рекомендації будуть корисними при формуванні стратегічних рішень у сфері державної політики, спрямованої на підтримку аграрного сектору України та адаптацію підприємств до сучасних викликів.

Сучасний аграрний сектор стикається з низкою викликів, пов'язаних як із внутрішніми проблемами, так і зовнішніми факторами. Глобалізація ринку,

зміна клімату, обмеженість природних ресурсів та залежність від зовнішніх інвестицій та фінансових ресурсів потребують нових підходів до управління аграрним сектором. Іншим ключовим питанням є сталість сільськогосподарського виробництва та екологічні міркування, які у свою чергу впливають на продуктивність, якість продукції та конкурентоспроможність на міжнародних ринках. Недостатня увага до цих питань може сповільнити розвиток аграрного сектору та призвести до економічних втрат.

Актуальність теми дослідження обумовлена зростаючим попитом на продукцію аграрного сектора, як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку.

Метою даного дослідження є оптимізація процесу доставки молочної продукції за рахунок застосування моделей та методів дослідження операцій, що ґрунтуються на використанні сучасних інформаційних технологій.

Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані результати можуть використовуватись підприємствами аграрного сектору України, зокрема агрофірмами, для оптимізації процесів доставки продукції їх виробництва та сприяння розвитку зовнішньоекономічної діяльності України.

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

### 1.1 Загальна характеристика ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» є досить молодого компанією, вона була заснована 25 жовтня 2020 року. Її місцезнаходження Чернігівська область, Ніжинський район, село Вертіївка, вулиця Польова, будинок 3-Б. Також компанія має другорядний офіс, який знаходиться в селі Кладьківка, а також у цьому ж селі розташована вагова станція.

Основний вид діяльності агрофірми – вирощування зернових культур (крім рису), бобових та насіння олійних культур, виробництво молочної продукції.

Суміжні види діяльності – оптова торгівля зерном, необробленим тютюном, насінням та кормами для тварин, молочною продукцією. Гуртова торгівля хімічними продуктами.

Компанія поки що займається перевезеннями по Україні, але минулого року вже були договори та постачання до Польщі.

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» станом на 01.01.2024 року має у своєму користуванні 3025 га землі:

- орендовані землі у фізичних осіб – 2124 га (рілля – 746 га, пасовища – 600 га, сіножаті – 778 га);
- суборенда у ПП «Агрофірма Кладьківка» – 57 га (пасовища);
- суборенда у ФОП «Шрам Віктор Федорович» – 571 га (рілля – 485 га, пасовища – 31 га, сіножаті – 55 га);
- успадковані землі – 7 га (рілля);
- невитребовані землі – 266 га (рілля – 83 га, пасовища – 59 га, сіножаті – 124 га).

Не успадкована земельна ділянка – залишена після смерті правовласника земельна ділянка сільськогосподарського призначення, право на яку не оформлене спадкоємцями або іншими особами, які згідно із законом мають право на спадщину.

Невитребуваною земельною ділянкою є земельна частка (пай), на яку не отримано документ, що засвідчує право на нього, або земельна частка (пай), право на яку засвідчено відповідно до законодавства, але яка не була виділена у натурі (на місцевості).

А також 354 га землі за договором обміну ТОВ "Гетьманське".

Засіяно у 2024 році:

- поле 4-1 - 406,18 га соняшником;
- поле 4-2 - 335,96 га ячменем;
- поле 4-3 - 299,28 га кукурудзою;
- поле 4-4 - 55,74 га кукурудзою;
- поле 4-5 - 87,21 га ріпаком;
- Поле 4-6 – 72,10 га ріпаком;
- поле 4-7 - 117,16 га пшеницею;
- поле 4-8 – 51,41 га ріпаком;
- поле 4-9 - 228,27 га ячменем;
- Поле 4-10 - 141,45 га пшениці;
- поле 4-11 - 110,43 га пшеницею;
- поле 4-12 - 39,42 га соняшником;
- поле 4-13 - 206,60 га пшеницею;
- поле 4-14 - 215,25 га пшеницею;
- поле 4-15 - 53,93 га ріпаком;
- поле 4-16 - 300,03 га просома;
- поле 4-17 - 93,62 га затопило біля річки Десна;
- поле 4-18 - 42,24 га затопило біля річки Десна;
- поле 4-19 - 120,74 га ріпаком;
- поле 4-20 - 105,38 га ріпаком;
- поле 4-21 - 47,50 га пшеницею;
- поле 4-22 - 194,16 га соєю;
- поле 4-23 - 18,16 га пшеницею;
- поле 4-24 - 37,17 га просома.

У таблиці 1.1 наведені дані про фінансову звітність ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Таблиця 1.1 – Фінансова звітність ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

	2021 рік	2022 рік	2023 рік	2024 рік
Дохід	19 196 700 ₴	58 142 200 ₴	50 966 700 ₴	56 833 400 ₴
Чистий прибуток	166 400 ₴	34 141 200 ₴	-446 500 ₴	816 355 ₴
Активи	25 867 100 ₴	51 910 100 ₴	57 766 700 ₴	57 766 700 ₴
Зобов'язання	24 110 400 ₴	16 099 200 ₴	24 669 800 ₴	24 669 800 ₴
Кількість працівників	14	24	26	28

На рисунку 1.1 наведений виробничий процес навантаження транспортних засобів зерновими культурами.



Рисунок 1.1 – Завантаження транспортних засобів зерновими культурами

## 1.2 SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

У таблиці 1.2 наведений SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

Таблиця 1.2 – SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

<b>Сильні сторони</b>	<b>Слабкі сторони</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вигідна географічна позиція на межі районів, близькість до міст обласного значення: Чернігів та Ніжин.</li> <li>2. Наявність потужного конкурентоспроможного агрокомплексу.</li> <li>3. Наявність природно-ресурсного потенціалу (земельних, водних, лісових).</li> <li>4. Наявність природних та інфраструктурних об'єктів, привабливих для інвестицій.</li> <li>5. Наявність вільних земельних ділянок для ведення бізнесу та інвестування.</li> <li>6. Високий рівень освіти та професійно-технічної підготовки на території громади.</li> <li>7. Низьке екологічне навантаження, наявність природоохоронних територій.</li> <li>8. Зростання капіталовкладень та інвестицій.</li> <li>9. Досвід співробітництва з інвесторами у сфері переробної промисловості АПК.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Значна частка населення старше за працездатний вік.</li> <li>2. Природне старіння та скорочення населення.</li> <li>3. Високий рівень безробіття та переважна відсутність гідної оплати праці.</li> <li>4. Низький рівень інвестицій із-за кордону.</li> <li>5. Неналежна якість транспортних шляхів між населеними пунктами товариства.</li> <li>6. Недостатня інформатизація сіл, відсутність центрів відкритого доступу до Інтернету.</li> <li>7. Низький рівень суспільної активності, трудова міграція.</li> <li>8. Зношування основних виробничих потужностей.</li> <li>9. Застарілі очисні споруди у смт Куликівка</li> <li>10. Погіршення стану водних ресурсів.</li> <li>11. Відтік кваліфікованих кадрів межі суспільства.</li> </ol>
<b>Можливості</b>	<b>Загрози</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зростання попиту на продовольство на світовому ринку.</li> <li>2. Стимулювання розвитку АПК державними програмами, вдосконалення бізнес-клімату.</li> <li>3. Вихід на міжнародні ринки.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розвиток військового конфлікту Сході України.</li> <li>2. Порушення безпеки прикордонних територій Чернігівської області.</li> <li>3. Організація карантинних обмежень для бізнесу в Україні та за</li> </ol>

	її межами (повний нокдаун, червона зона).
--	---

Продовження таблиці 1.2

<p>4. Зростання попиту екологічну продукцію АПК російською та міжнародних ринках.</p> <p>5. Продовження реформ децентралізації та сприяння розвитку територіальних громад.</p> <p>6. Зростання попиту сільський, зелений, культурний туризм серед населення та Європи.</p> <p>7. Продовження євроінтеграційних процесів.</p> <p>8. Зростання зацікавленості інвесторів в Україні.</p> <p>9. Реалізація проектів міжнародної технічної допомоги, що сприяють розвитку селищних та сільських територіальних громад.</p> <p>10. Бюджетна підтримка територіальних громад.</p>	<p>4. Зниження рівня ґрунтових вод.</p> <p>5. Переведення на територіальні громади державних фінансових зобов'язань щодо підвищення соціальних стандартів.</p> <p>6. Згортання реформ.</p> <p>7. Поява нових вірусів та загроза епідеміологічної небезпеки.</p> <p>8. Погіршення природно-кліматичних умов.</p>
--	---

### 1.3 Рухомий склад ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

У таблиці 1.3 наведені технічні характеристики рухомого складу підприємства ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики рухомого складу підприємства ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

Марка та модель	MAN TGS 19.390	Молоковоз на базі Газель Next	Молоковоз на базі ГАЗ-3309
Повна маса(кг)	19000	2500	7400
Маса без навантаження(кг)	6530	1500	3200
Об'єм двигуна(см <sup>3</sup> )	10518	2690	4430
Екологічний стандарт	Євро 4	Євро 5	Євро 3
Потужність(к.с)	390	106	134
Навантаження на осі (передній/задній)(кг)	7500/13000	550/1250	2500/4500

<b>Паливний бак(л)</b>	660	90	180
<b>Кількість (шт)</b>	3	3	2



Рисунок 1.2 – Сідельний тягач MAN TGS 19.390

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика напівпричепа

<b>Марка та модель</b>	Напівпричіп Fruehauf TF34 (тентований)
<b>Вантажопідйомність(кг/л)</b>	26800
<b>Маса без навантаження (кг)</b>	7200
<b>Повна маса(кг)</b>	34000
<b>Кількість осей</b>	3
<b>Габарити кузова (м)</b>	13,6 x 2,45 x 2,8
<b>Кількість (шт)</b>	3



Рисунок 1.3 – Напівпричіп Fguehauf TF34 (тентований)



Рисунок 1.4 – Молоковоз із цистерною для молока 1000 літрів, на базі Газель Next



Рисунок 1.5 – Молоковоз із цистерною для молока 4200 літрів, на базі ГАЗ-3309

#### 1.4 Характеристика та аналіз зовнішньоекономічної діяльності України з обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами

Серйозним викликом економіки залишається негативне сальдо зовнішньої торгівлі, що свідчить про перевищення імпорту. Війна значно ускладнила реалізацію української продукції на зовнішніх ринках через руйнування виробництва, скорочення експортних можливостей та логістичні обмеження. У той же час потреба в імпорті енергоресурсів, техніки та життєво необхідних товарів залишається високою. Крім того, значна частка сировинного експорту робить економіку вразливою до коливань світових цін, що лише посилює нестабільність фінансової системи.

Спробуємо виконати прогнозування обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України на 2025 та 2026 роки з використанням 5 трендів (експоненційного, лінійного, логарифмічного, поліноміального та статечного), використовуючи математичний апарат, функції згладжування (апроксимації). За основу візьмемо статистичні дані за 2020, 2021, 2022, 2023 та 2024 р. наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Обсяг зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України за 2020-2024 рр.

№ п/п	Рік	Експорт, млн. дол. США	Імпорт, млн. дол. США
1	2020	426,5	308,4
2	2021	378,5	384,5
3	2022	452,1	248,2
4	2023	403,5	290,2
5	2024	489,3	323,9

Проводимо розрахунки за допомогою математичного забезпечення – Ехсел для експоненційного, лінійного, логарифмічного, поліноміального та статечного трендів. Отримані результати серед табличного процесора Ехсел представлені на рисунках 1.6 – 1.10.

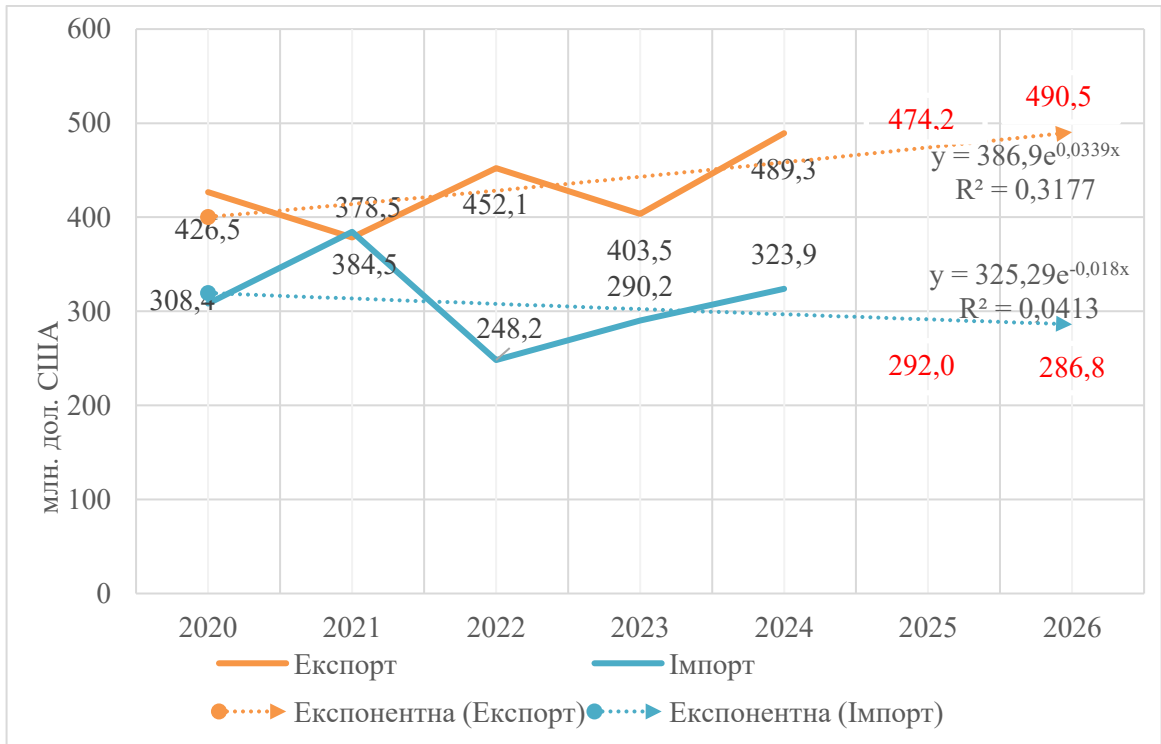


Рисунок 1.6 – Прогнозування обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами за допомогою експоненціального тренду

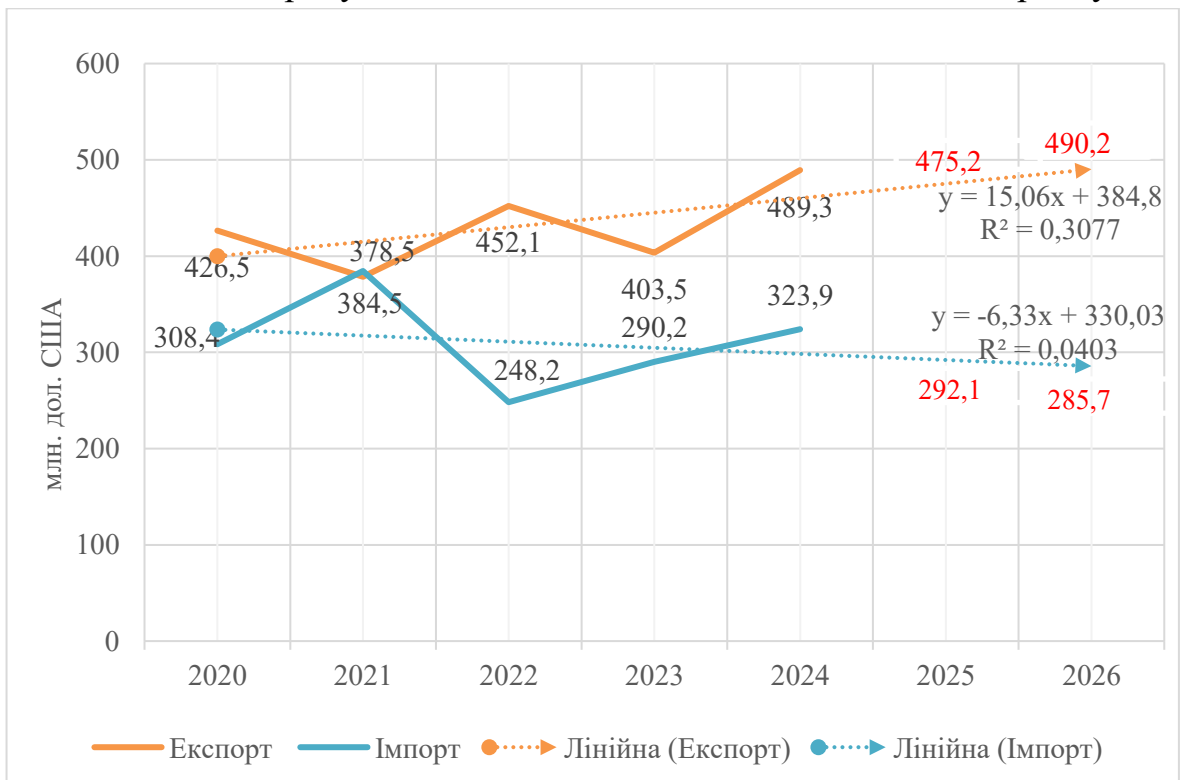


Рисунок 1.7 – Прогнозування обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами за допомогою лінійного тренду

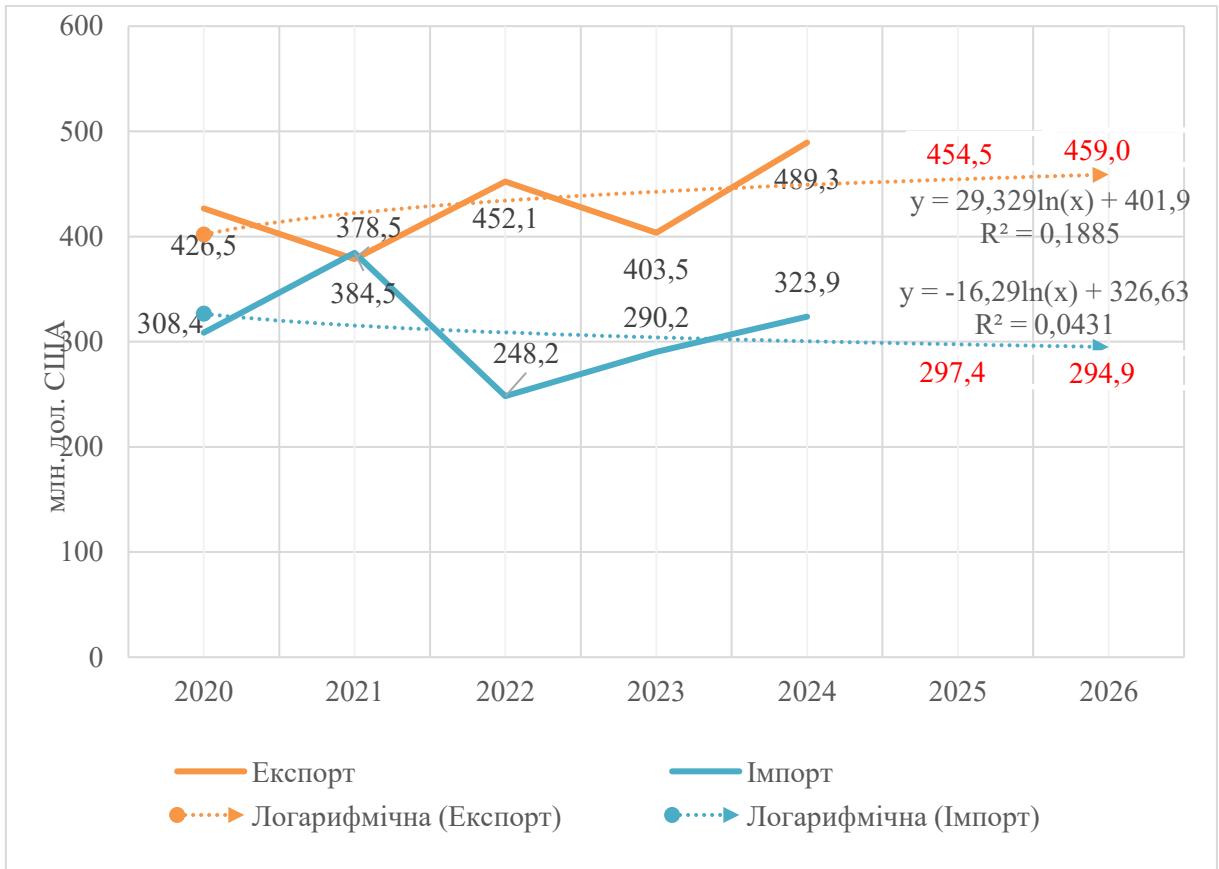


Рисунок 1.8 – Прогнозування обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами за допомогою логарифмічного тренду

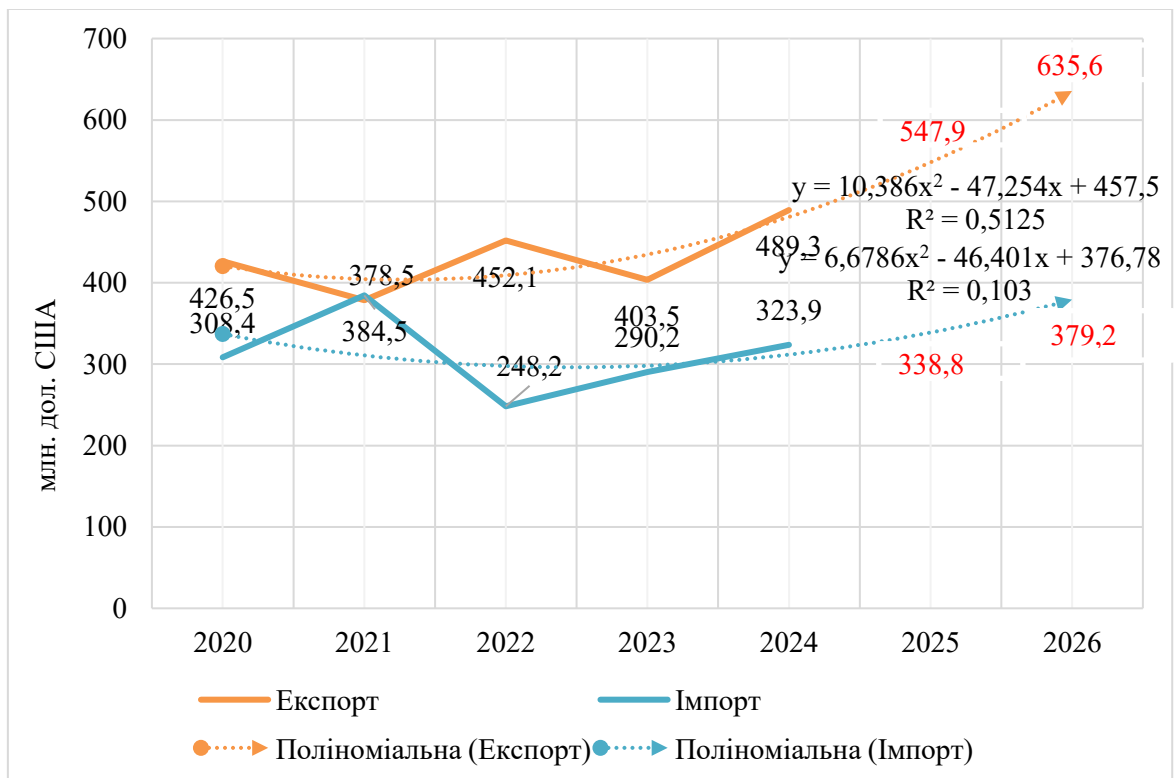


Рисунок 1.9 – Прогнозування обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами за допомогою поліноміального

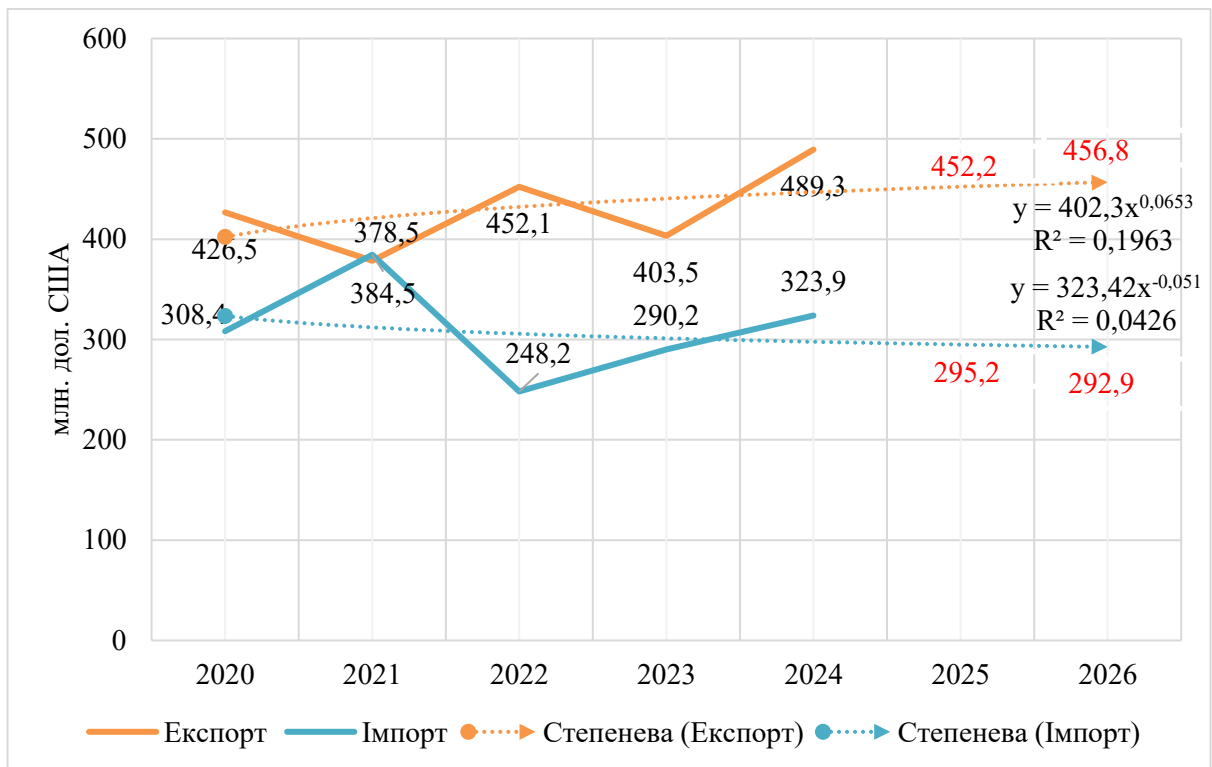


Рисунок 1.10 – Прогнозування обсягу зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами за допомогою степеневого тренду

Зведемо показники всіх трендів у загальну таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Показники всіх трендів прогнозування обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України за 2025-2026 рр.

№ п/п	Назва тренду	R <sup>2</sup>	
		Експорт	Імпорт
1	Експоненціальний	0,2903	0,033
2	Лінійний	0,3077	0,0403
3	Логарифмічний	0,1885	0,0431
4	Поліноміальний	<b>0,5125</b>	<b>0,103</b>
5	Степеневий	0,1746	0,0419

Для прогнозу на 2025-2026 роки візьмемо тренди за яких R<sup>2</sup> найбільше наближений до 1. Як експорту, так імпорту це поліноміальний тренд, відповідно, для експорту (R<sup>2</sup>=0,5125), а імпорту (R<sup>2</sup>=0,103). Отримані результати представлені у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Прогноз обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України на 2025-2026 рр.

№ п/п	Рік	Експорт, млн. дол. США	Імпорт, млн. дол. США
1	2020	426,5	308,4
2	2021	378,5	384,5
3	2022	452,1	248,2
4	2023	403,5	290,2
5	2024	489,3	323,9
6	2025	547,9	338,8
7	2026	635,6	379,2

Збудуємо загальний графік статистичних даних за 2020–2024 роки. та даних найкращого прогнозу обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України на 2025-2026 роки. (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 – Прогноз обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України на 2025-2026 рр.

Проаналізувавши результати, ми отримали дані, що показують зростання обсягів як експорту (на 29,9% з 2024 року по 2026 рік) так і імпорту (на 17,1% з 2024 року по 2026 рік), а також стійке позитивне зовнішньоторговельне сальдо.

## 1.5 Висновки до розділу 1

У цьому розділі було розглянуто такі вопросы:

- загальна характеристика ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»;
- SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»;
- рухомий склад ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»;
- характеристика та аналіз зовнішньоекономічної діяльності України,

а саме:

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» є досить молодю компанією, вона була заснована 25 жовтня 2020 року. Її місцезнаходження Чернігівська область, Ніжинський район, село Вертіївка, вулиця Польова, будинок 3-Б. Також компанія має другорядний офіс, який знаходиться в селі Кладьківка, а також у цьому ж селі розташована вагова станція. Основний вид діяльності агрофірми – вирощування зернових культур (крім рису), бобових та насіння олійних культур, виробництво молочної продукції. Суміжні види діяльності – оптова торгівля зерном, необробленим тютюном, насінням та кормами для тварин, молочною продукцією. Гуртова торгівля хімічними продуктами.

Проведений SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» показав, що підприємство має сильні сторони.

- сильні сторони, а саме: вигідна географічна позиція на межі районів, близькість до міст обласного значення: Чернігів та Ніжин; наявність потужного конкурентоспроможного агрокомплексу; наявність природно-ресурсного потенціалу (земельних, водних, лісових); наявність природних та інфраструктурних об'єктів, привабливих для інвестицій; наявність

вільних земельних ділянок для ведення бізнесу та інвестування.

- можливості, а саме: зростання попиту на продовольство на світовому ринку; стимулювання розвитку АПК державними програмами, покращення бізнес-клімату; вихід на міжнародні ринки; зростання попиту на екологічну продукцію АПК на вітчизняному та міжнародному ринку; продовження реформ децентралізації та сприяння розвитку територіальних громад; зростання попиту на сільський, зелений, культурний туризм серед населення України та Європи.

Але, у підприємства є і слабкі сторони, а саме: значна частка населення старше за працездатний вік; природне старіння та скорочення населення; високий рівень безробіття та переважна відсутність гідної оплати праці; низький рівень інвестицій із-за кордону; неналежна якість транспортних шляхів між населеними пунктами та загрози: розвиток військового конфлікту на сході України; порушення безпеки прикордонних територій Чернігівської області; організація карантинних обмежень для бізнесу в Україні та за її межами (повний нокдаун, червона зона); зниження рівня ґрунтових вод; переведення на територіальні громади державних фінансових зобов'язань щодо підвищення соціальних стандартів; згорання реформ.

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» має потужний сучасний рухомий склад, а саме: 3 сідельні тягачі MAN TGS 19.390; 3 тентовані напівпричепи Fruehauf TF34, 3 молоковози на базі Газель Next та 2 молоковози на базі ГАЗ-3309 для перевезення молока та молочних продуктів.

Проведено аналіз статистичних даних обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України за 2020-2024 роки. та прогноз на 2025-2026 рр. показало зростання обсягів молока та молочних продуктів, як експорту (на 29,9% з 2024 по 2026 рік), так і імпорту (на 17,1% з 2024 по 2026 рік), а також стійке позитивне зовнішньоторговельне сальдо.

## РОЗДІЛ 2

# ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ, ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ

### 2.1 Задача оптимальної маршрутизації вантажних перевезень

При вирішенні багатьох практичних завдань виникає потреба уявлення відносин між будь-якими об'єктами. Орієнтовані та неорієнтовані графи є природною моделлю для реалізації таких відносин.

Розглянемо завдання пошуку найкоротшого маршруту (шляху) на графі  $G$ , у якому кожному ребру приписано позитивну вагу. Довжина шляху у такій постановці дорівнює сумі довжин ребер, що становлять цей шлях. Завдання зводиться до пошуку найкоротшого шляху між двома заданими вершинами графа  $G(G=(V;E))$ , який має всі дуги мають позитивні вартості, а одна вершина визначено як джерело. Завдання полягає у пошуку вартості найкоротших шляхів від джерела до всіх інших вершин графа  $G$ . Розглянемо для цього завдання використання методу Дейкстри на прикладі конкретної транспортної мережі (ТМ) (рис. 2.1).

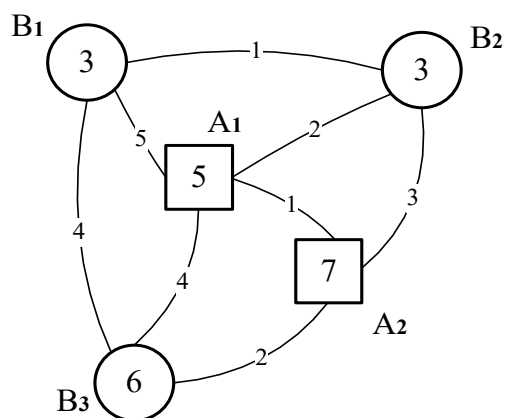


Рисунок 2.1 – Транспортна мережа

На цьому рисунку ми маємо ТМ з двома постачальниками вантажу  $A_1, A_2$  і трьома його споживачами  $B_1, B_2, B_3$ . Усі ці п'ять транспортних вузлів (ТВ) об'єднані між собою транспортними шляхами із зазначеною ними відстанню. У ТВ проставлено відповідно обсяги постачання та споживання вантажу.

Перетворимо ТМ на неорієнтований граф (рис. 2.2).

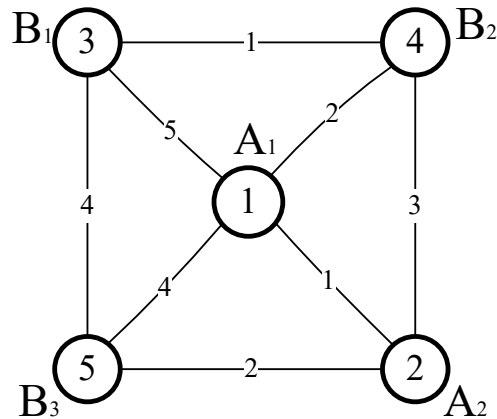


Рисунок 2.2 – Неорієнтований граф

Цей алгоритм будує безліч вершин  $S$ , котрим найкоротші шляхи від джерела (вершина  $A_1(1)$ ) вже відомі. На кожному кроці до безлічі  $S$  додається та з вершин, що залишилися, відстань до якої від джерела менше, ніж від інших вершин. Якщо вартості всіх дуг – позитивні, можна бути впевненим, що найкоротший шлях (маршрут) від джерела до вершини проходить лише через вершини множини  $S$ . Назвемо такий шлях особливим.

На кожному кроці алгоритму (методу) використовується масив  $D$ , який записуються довжини найкоротших особливих шляхів кожної вершини. Коли безліч  $S$  міститиме всі вершини графа  $G$ , тобто для всіх вершин будуть знайдені особливі шляхи, тоді масив  $D$  міститиме довжини найкоротших шляхів від джерела до кожної вершини. Представимо метод (алгоритм) Дейкстри як блок-схеми алгоритму (Додаток А). На схемі алгоритму  $Z$  – двомірний масив, що містить відстані між усіма вершинами графа,  $n$  – його розмірність, а  $P$  – одномірний масив вершин графа, у якому кожна вершина

$P[V]$  містить вершину, що безпосередньо передує вершині  $V$  у найкоротшому шляху.

	1	2	3	4	5
1	$\infty$	1	5	2	4
2	1	$\infty$	$\infty$	3	2
$C = 3$	5	$\infty$	$\infty$	1	4
4	2	3	1	$\infty$	$\infty$
5	4	2	4	$\infty$	$\infty$

Далі знайдемо найкоротші маршрути від *першої вершини* ( $A_1$ ) до інших. Для опрацювання блок-схеми алгоритму Дейкстри побудуємо наступну таблицю:

Крок	S	W	D/P			
			2	3	4	5
Початок:	1	–	1/1	5/1	2/1	4/1
1						
2						
3						
4						

Крок	S	W	D/P			
			2	3	4	5
Початок:	1	–	1/1	5/1	2/1	4/1
1 крок:	1, 2	2	–			
2			–			
3			–			
4			–			

$$D[V] = \min(D[V], D[W] + C[W, V]) \quad (2.1)$$

$$V=3: D[3] = \min(D[3], D[2] + C[2, 3]) = \min(5, 1 + \infty) = 5$$

$$V=4: D[4] = \min(D[4], D[2] + C[2, 4]) = \min(2, 1 + 3) = 2$$

$$V=5: D[5] = \min(D[5], D[2] + C[2, 5]) = \min(4, 1 + 2) = 3$$

Крок	S	W	D/P			
			2	3	4	5

2 крок:	Початок	1	–	1/1	5/1	2/1	4/1
	1	1,2	2	–	5/1	2/1	3/2
	2	1,2,4	4	–		–	
	3			–		–	
	4			–		–	

$$V=3: D[3] = \min(D[3], D[4] + C[4,3]) = \min(5, 2 + 1) = 3$$

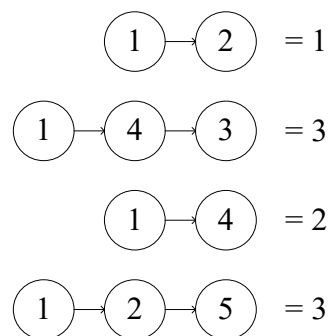
$$V=5: D[5] = \min(D[5], D[4] + C[4,5]) = \min(3, 2 + \infty) = 3$$

3 крок:	Крок	S	W	D/P			
				2	3	4	5
	Початок	1	–	1/1	5/1	2/1	4/1
	1	1,2	2	–	5/1	2/1	3/2
	2	1,2,4	4	–	3/4	–	3/2
	3	1,2,4,3	3	–	–	–	
4			–	–	–		

$$V=5: D[5] = \min(D[5], D[3] + C[3,5]) = \min(3, 3 + 4) = 3$$

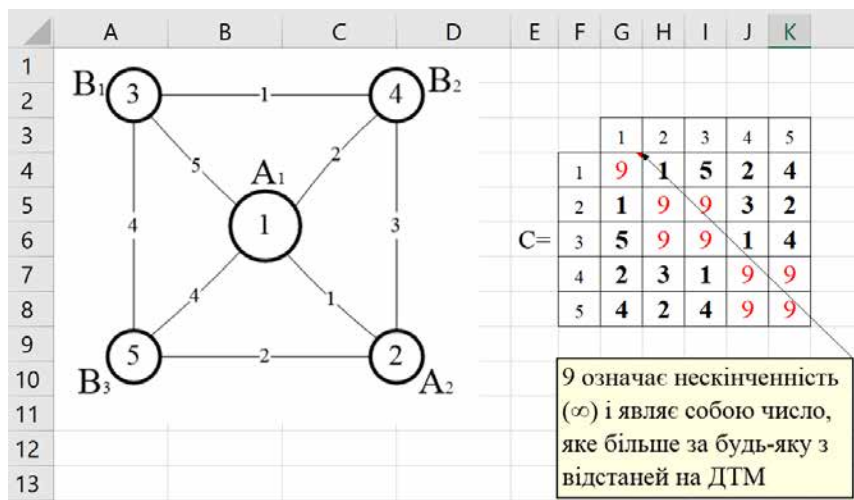
4 крок:	Крок	S	W	D/P			
				2	3	4	5
	Початок	1	–	1/1	5/1	2/1	4/1
	1	1,2	2	–	5/1	2/1	3/2
	2	1,2,4	4	–	3/4	–	3/2
	3	1,2,4,3	3	–	–	–	3/2
4	1,2,4,3,5	5	–	–	–	–	

Інтерпретуємо отримані результати. Для цього побудуємо найкоротші маршрути від першої вершини (джерела) до інших вершин, а саме 2, 3, 4, 5 (причому маршрути потрібно будувати з права наліво, використовуючи значення масиву P, які знаходяться в таблицях у знаменнику дробу):

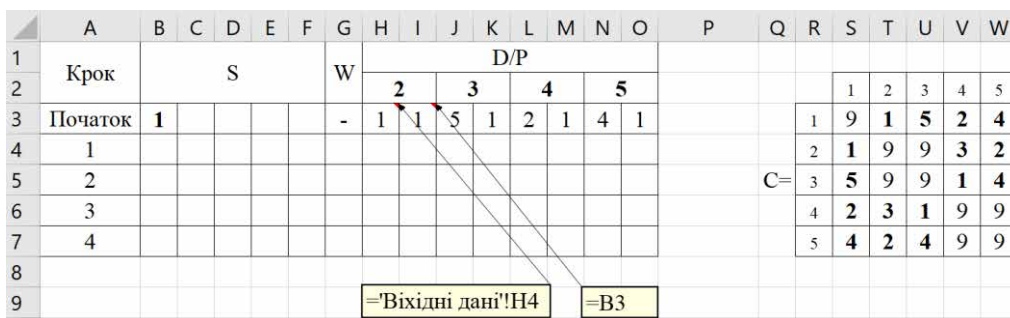


Перевіримо отримані результати для першої вершини (A1) у середовищі Excel, тобто проведемо розрахунки, аналогічні розрахункам, проведеним у

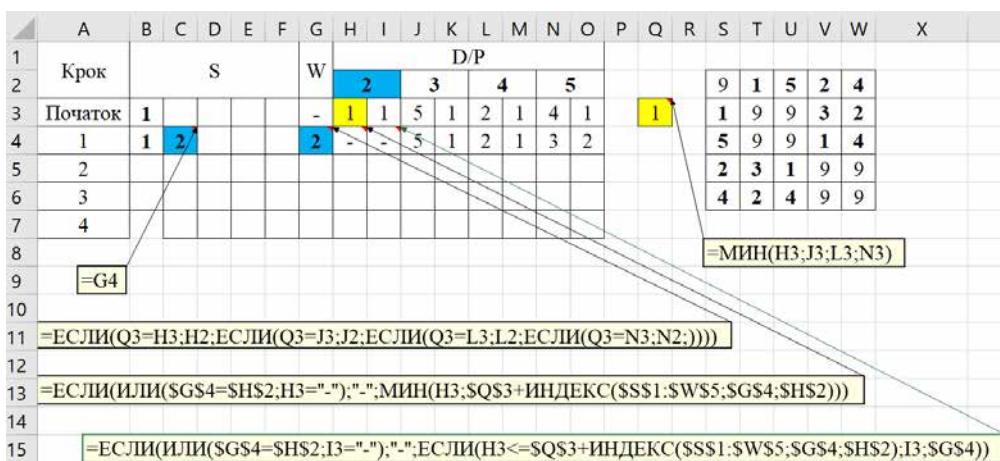
таблицях, відповідно для початкового, першого, другого, третього та четвертого кроків:



Зміст цієї вкладки повністю будується вручну.



Номера вершин (жирним шрифтом) вносяться, все інше робить Excel.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	Крок	S					W	D/P												9	1	5	2	4
2								2		3	4		5							1	9	9	3	2
3	Початок	1					-	1	1	5	1	2	1	4	1					5	9	9	1	4
4	1	1	2				2	-	-	5	1	2	1	3	2		2			2	3	1	9	9
5	2	1	2	4			4	-	-	3	4	-	-	3	2				4	2	4	9	9	
6	3																							
7	4																							

Крок 2:

На цієї і наступних вкладках все робить *Excel*, за винятком забарвлення кольором окремих клітинок.

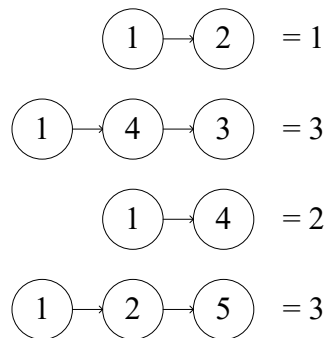
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	Крок	S					W	D/P																
2								2		3	4		5							9	1	5	2	4
3	Початок	1					-	1	1	5	1	2	1	4	1					1	9	9	3	2
4	1	1	2				2	-	-	5	1	2	1	3	2					5	9	9	1	4
5	2	1	2	4			4	-	-	3	4	-	-	3	2		3			2	3	1	9	9
6	3	1	2	4	3		3	-	-	-	-	-	-	3	2					4	2	4	9	9
7	4																							

Крок 3:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Крок	S					W	D/P								
2								2		3	4		5			
3	Початок	1					-	1	1	5	1	2	1	4	1	
4	1	1	2				2	-	-	5	1	2	1	3	2	
5	2	1	2	4			4	-	-	3	4	-	-	3	2	
6	3	1	2	4	3		3	-	-	-	-	-	-	3	2	
7	4	1	2	4	3	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
8																

Крок 4:

Інтерпретуємо отримані результати. Для цього побудуємо найкоротші маршрути від першої вершини (джерела) до інших вершин, а саме 2, 3, 4, 5 (причому маршрути потрібно будувати з права наліво, використовуючи значення масиву P, які знаходяться в таблицях у знаменнику дробу):



Очевидно, результати при розрахунках вручну в таблицях методом Дейкстри повністю збігаються з результатами, отриманими серед Excel.

Знаходження найкоротших маршрутів від другої вершини (A2) до інших представлені в Додатку Б, а серед Excel в Додатку В.

## 2.2 Симплексний метод знаходження оптимального плану перевезень вантажу

Розглянемо застосування симплексного методу знаходження оптимального плану перевезень вантажу з прикладу транспортної завдання, поданої як ТМ на рис. 2.1. Для цього перенесемо перевезення вантажу з ТМ до транспортної таблиці (ТТ), проставивши в її правих верхніх кутах осередків найкоротші маршрути, які отримані вище (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вихідна ТТ з даними перевезень вантажу

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	Запаси a <sub>i</sub>
A <sub>1</sub>	3 X <sub>1</sub>	2 X <sub>2</sub>	3 X <sub>3</sub>	5
A <sub>2</sub>	4 X <sub>4</sub>	3 X <sub>5</sub>	2 X <sub>6</sub>	7
Заявки b <sub>i</sub>	3	3	6	

Спочатку зведемо вантажні перевезення з ТТ до виду системи лінійних рівнянь, записуючи ці рівняння окремо за рядками та стовпчиками ТТ, додавши до кожного рівняння додаткові базові змінні X<sub>7</sub>, X<sub>8</sub>, X<sub>9</sub>, X<sub>10</sub>:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 + X_2 + X_3 + X_7 = 5 \\ X_4 + X_5 + X_6 + X_8 = 7 \\ X_1 + X_4 + X_9 = 3 \\ X_2 + X_5 + X_{10} = 3 \end{array} \right.$$

Будуємо першу симплексну таблицю (СТ<sub>0</sub>) та пристосовуємо її до аркуша таблиці Excel (див. нижче). Більшість значень вносяться в СТ<sub>0</sub> або ТТ, або з

системи лінійних рівнянь. Причому лише деякі значення обчислюються в Ехсе-таблиці, а саме: значення цільової функції  $C_0$  значення індексів в останньому рядку СТ.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	СТ <sub>0</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>			
2	C <sub>бi</sub>	X <sub>бi</sub>	B <sub>бi</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10			
3	10	7	5	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0			
4	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0			
5	10	9	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0			
6	10	10	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1			
7	C <sub>0</sub> =	180	17	18	7	1	17	8	0	0	0	0	0			
8	Коефіцієнти при базових змінних			Значення цільової функції =			Значення індексів =			Знаходження мінімального значення						
9	Базові змінні			A <sub>3</sub> *C <sub>3</sub> + A <sub>4</sub> *C <sub>4</sub> + A <sub>5</sub> *C <sub>5</sub> + A <sub>6</sub> *C <sub>6</sub>			\$A\$3*\$M3 + \$A\$4*\$M4 + \$A\$5*\$M4 + \$A\$6*\$M6 - M2			MIN(C3/E3;C6/E6), яке буде відповідати ключовому рядку						
10	Значення правих частин системи лінійних рівнянь			Знаходження максимального значення індексу =			МАКС(D7:M7), яке буде відповідати ключовому стовпцю			Значення правих частин системи лінійних рівнянь						
11				max = 18						min = 3						
12																

Також виконуються допоміжні обчислення для знаходження максимального значення індексу МАКС (D7:M7), яке відповідатиме ключовому стовпцю та мінімального значення MIN(C3/E3;C6/E6), яке відповідатиме ключовому рядку. Елемент СТ, який знаходиться на перетині ключових рядків (6-й) і стовпця (E), є ключовим елементом К – Еб. Переходимо до наступного СТ<sub>1</sub>.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	СТ <sub>1</sub>			x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>
2	C <sub>бi</sub>	X <sub>бi</sub>	B <sub>бi</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10
3	10	7											
4	10	8											
5	10	9											
6	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
7	C <sub>1</sub> =												

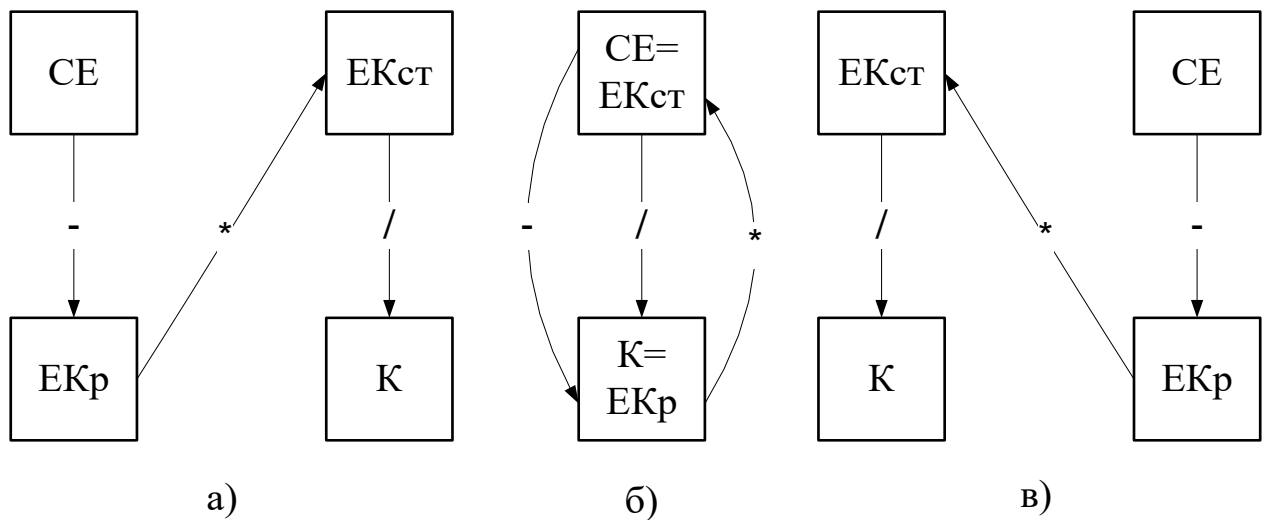
Спочатку вносимо в базис (під базисом в СТ розуміються значення стовпчиків C<sub>бi</sub>, X<sub>бi</sub>, B<sub>бi</sub>) змінну ключового стовпця (x<sub>2</sub>) замість базового змінного ключового рядка – x<sub>10</sub> і значення його коефіцієнта 2 замість значення коефіцієнта базового змінного ключового рядка в ТТ Елементи 6 рядки СТ<sub>1</sub> підраховуємо за формулою Джордана:

$$HE = CE - \frac{EK_p \times EK_{ст}}{K}, \quad (2.2)$$

де  $HE$  – новий елемент (елемент в новій СТ);  
 $CE$  – старий елемент (елемент з попередній СТ);  
 $EK_p$  – елемент ключового рядка;  
 $EK_{ст}$  – елемент ключового стовпця;  $K$  – ключовий елемент.

Процес оптимізації (у разі мінімізації) закінчується, якщо всі індекси в останньому рядку СТ мають нульові значення чи негативні. У нашому випадку це не спостерігається, тому продовжимо далі процес знаходження оптимального плану вантажних перевезень.

Нижче наведені схеми розрахунку елементів СТ для трьох випадків: а) коли  $HE$  знаходиться ліворуч від ключового стовпця; б) – коли  $HE$  знаходиться у ключовому стовпці.



Нижче наведено розрахунки  $HE$  для цих трьох випадків, відповідно для клітинок C12, E12 і G12.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	СТ <sub>0</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
2	С <sub>Бі</sub>	Х <sub>Бі</sub>	В <sub>Бі</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10
3	10	7	5	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
4	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
5	10	9	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
6	10	10	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
7	C <sub>0</sub> =	180		17	18	7	1	17	8	0	0	0	0
8				max = 18									
9													
10	СТ <sub>1</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
11	С <sub>Бі</sub>	Х <sub>Бі</sub>	В <sub>Бі</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10
12	10	7	2		0								
13	10	8											
14	10	9											
15	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
16	C <sub>1</sub> =												
17				=C\$3-C\$6*\$E\$3/\$E\$6	=E\$3-E\$6*\$E\$3/\$E\$6	=G\$3-G\$6*\$E\$3/\$E\$6							
18													

Після цього обчислимо значення індексів у останньому рядку СТ<sub>1</sub> і представимо повністю заповнену СТ<sub>1</sub>.

14	СТ <sub>1</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
15	С <sub>Бі</sub>	Х <sub>Бі</sub>	В <sub>Бі</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10	
16	10	7	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1	min = 2
17	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	
18	10	9	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
19	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	
20	C <sub>1</sub> =	126		17	0	7	16	-1	8	0	0	0	-18	
21				max = 17										

Далі наведемо без пояснень ще 3 СТ, відповідно, СТ<sub>2</sub>, СТ<sub>3</sub> та СТ<sub>4</sub>:

27	СТ <sub>2</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
28	С <sub>Бі</sub>	Х <sub>Бі</sub>	В <sub>Бі</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10	
29	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1	
30	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	
31	10	9	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1	min = 1
32	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	
33	C <sub>2</sub> =	92		0	0	-10	16	16	8	-17	0	0	-1	
34				max = 16										
35														
36	СТ <sub>3</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
37	С <sub>Бі</sub>	Х <sub>Бі</sub>	В <sub>Бі</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10	
38	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1	
39	10	8	6	0	0	1	0	0	1	1	-1	-1	min = 6	
40	4	4	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1	
41	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	
42	C <sub>3</sub> =	76		0	0	6	0	0	8	-1	0	-16	-17	
43				max = 8										
44														
45	СТ <sub>4</sub>			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	
46	С <sub>Бі</sub>	Х <sub>Бі</sub>	В <sub>Бі</sub>	3	2	3	4	3	2	10	10	10	10	
47	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1	
48	2	6	6	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1	
49	4	4	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1	
50	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	
51	C <sub>4</sub> =	28		0	0	-2	0	0	0	-9	-8	-8	-9	

В останній рядку всі індекси  $CT_4$  мають нульові або негативні значення. Тобто ми отримали кінцевий результат за  $(m + n - 1)$ , тобто за 4 кроки, де  $m$  – кількість постачальників вантажу, а  $n$  – кількість його споживачів у ТТ.

Зведемо результати з цієї результуючої  $CT_4$  в ТТ (табл. 2.2). та графічно зобразимо процес транспортування вантажів на ДТМ (рис. 2.3)

Таблиця 2.2 – ТТ з оптимальним планом перевезень вантажу

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Запаси $a_i$
$A_1$	3 $X_1 =$	2 $X_2 =$	3 $X_3$	5
$A_2$	4 $X_4 =$	3 $X_5$	2 $X_6 =$	7
Заявки $b_j$	3	3	6	

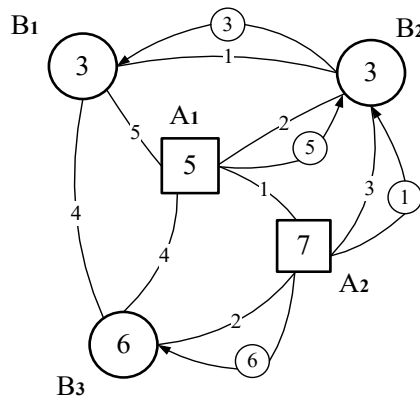


Рисунок 2.3 – ТМ з оптимальним планом перевезень вантажу

### 2.3 Програмний комплекс розв'язання транспортної задачі симплексним методом (РТЗСМ)

Перевіримо отримані результати, а саме оптимальний план перевезень вантажу за допомогою програмного комплексу розв'язання транспортного завдання симплексним методом (РТСМ), реалізованим у середовищі об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi.

Програмний комплекс РТСМ включає такі кроки:

1 крок: Введення розмірності транспортного завдання, обсягів поставок та заявок на вантаж, відстаней між усіма постачальниками та одержувачами вантажу:

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

A= 

5		
7		

B= 

3	3	6
3	2	3
4	3	2

C= 


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															

2 крок: Заповнення початкової (нульової) симплексної таблиці (СТ<sub>0</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

**Решение не оптимально**

A= 

5		
7		

B= 

3	3	6
3	2	3
4	3	2

C= 


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				3	2	3	4	3	2	10	10	10	10		
2	10	7	5	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0		
3	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0		
4	10	9	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0		
5	10	10	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
6	<b>180</b>			17	18	7	16	17	8	0	0	0	0		
7															

3 крок: Перша ітерація – отримання першої симплексної таблиці (СТ<sub>1</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

**Решение не оптимально**    max = 18    j1 = 5  
 min = 3    i1 = 5

A= 

5		
7		

B= 

3	3	6
3	2	3
4	3	2

C= 


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				3	2	3	4	3	2	10	10	10	10		
2	10	7	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1		
3	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0		
4	10	9	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0		
5	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
6	<b>126</b>			17	0	7	16	-1	8	0	0	0	-18		
7															

4 крок: Друга ітерація – отримання другої симплексної таблиці (СТ<sub>2</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

**Решение не оптимально**    max = 17    j1 = 4  
 min = 2    i1 = 2

A= 

5
7

B= 

3	3	6
3	2	3
4	3	2

C= 


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				3	2	3	4	3	2	10	10	10	10		
2	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	
3	10	8	7	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
4	10	9	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	0	1	
5	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
6	<b>92</b>			0	0	-10	16	16	8	-17	0	0	0	-1	
7															

5 крок: Третя ітерація – отримання третьої симплексної таблиці (СТ<sub>3</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

**Решение не оптимально**    max = 16    j1 = 7  
 min = 1    i1 = 4

A= 

5
7

B= 

3	3	6
3	2	3
4	3	2

C= 


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				3	2	3	4	3	2	10	10	10	10		
2	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	
3	10	8	6	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1		
4	4	4	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1		
5	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
6	<b>76</b>			0	0	6	0	0	8	-1	0	-16	-17		
7															

6 крок: Четверта ітерація – отримання четвертої симплексної таблиці (СТ<sub>4</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

**Решение оптимально**  
 произведено 4 итерации

A= 

5
7

B= 

3	3	6
3	2	3
4	3	2

C= 


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				3	2	3	4	3	2	10	10	10	10		
2	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	
3	2	6	6	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1		
4	4	4	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1		
5	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
6	<b>28</b>			0	0	-2	0	0	0	-9	-8	-8	-9		
7															

7 крок: Отримання результуючої транспортної таблиці з оптимальним планом перевезень вантажу:

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників   
 Кількість споживачів

**A=**

5
7

**B=**

3	3	6
3	2	3
4	3	2

**C=**


**Решение оптимально  
произведено 4 итерации**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1					3	2	3	4	3	2	10	10	10	10	
2	3	1	2	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	
3	2	6	6	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1		
4	4	4	1	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1		
5	2	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
6	28			0	0	-2	0	0	0	-9	-8	-8	-9		
7															

	B1	B2	B3
A1	2	3	
A2	1		6

Очевидно, результати при розрахунках у таблицях симплексним методом серед Excel повністю збігаються з результатами, отриманими з допомогою програмного комплексу РТСМ.

## 2.4 Угорський метод розв'язання транспортної задачі про призначення

Розглянемо застосування угорського методу розв'язання транспортної задачі для призначення (закріплення рухомого складу) на прикладі оптимального плану перевезень вантажу, який подано у вигляді ТТ (табл. 2.2).

З таблиці 2.2 сформуємо матрицю-рядок транспортних робіт (ТР), а саме  $ТР = \{ТР_j\}$ , ( ), де  $N = (m + n - 1)$  – кількість ТР, які складають оптимальний план перевезень вантажу:  $2 \times 3 = 6$ ; – продуктивності виконання  $i$ -м транспортним засобом (ТЗ)  $j$ -ї ТР:

ТР

$$\Pi_{ij} = \begin{matrix} & i/j & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \text{TЗ} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \end{matrix} & \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ 4 \\ 3 \end{matrix} \end{matrix}$$

Розрахуємо по формулі  $t_{ij} = \frac{TP_j}{\Pi_{ij}}$  ( $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, N}$  (з приведенням до цілого числа) матрицю  $T_{рч}$  – матрицю робочого часу виконання усіма ТЗ всього комплексу запланованих ТР:

$$T_{рч} = \begin{matrix} & \mathbf{6} & \mathbf{6} & \mathbf{4} & \mathbf{12} \\ \begin{matrix} \mathbf{6} \\ 3 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix} & \begin{matrix} 4 \\ 3 \\ 1 \\ 3 \end{matrix} & \begin{matrix} 6 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \end{matrix} & \begin{matrix} 6 \\ 6 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix}$$

Побудуємо нову матрицю  $T_{вч}$ , елементи якої  $t_{ij} = t_{роб} - t_{ij}$  ( $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, N}$ ) із розрахунку  $t_{роб} = 8$  (8 годин у зміну)  $\times$  1 (зміна) = 8 годин (виходячи з самої тривалої роботи у  $T_{рч}$  – 6 годин):

$$T_{вч} = \begin{matrix} \begin{matrix} 2 \\ 5 \\ \mathbf{6} \\ 5 \end{matrix} & \begin{matrix} \mathbf{5} \\ \mathbf{5} \\ \mathbf{5} \\ \mathbf{5} \end{matrix} & \begin{matrix} 4 \\ 6 \\ 7 \\ 7 \end{matrix} & \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ \mathbf{5} \\ 4 \end{matrix} \end{matrix}$$

Блок-схема угорського способу вирішення транспортного завдання про призначення представлена в Додатку Д.

При розв'язанні задачі використовуємо такі позначення: знак виділення – '+', якщо він підлягає знищенню, то обводимо кружком.

Попередній етап. Шукаємо максимальний елемент першого стовпця - 6 і віднімаємо з нього всі елементи стовпця. Аналогічно для отримання іншого, третього та четвертого стовпців нової матриці віднімаємо всі елементи цих стовпців з 5, 7 та 5 відповідно. Отримаємо матрицю  $C_0$  ( $C_0 \sim T_{вч}$ ).

$$C_0 = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 4 & \mathbf{0} & 3 & 3 \\ \hline 1 & \mathbf{0} & 1 & 3 \\ \hline \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \hline 1 & \mathbf{0} & \mathbf{0} & 1 \\ \hline \end{array}$$

У кожному рядку отриманої матриці є хоча б один нуль, тому попередній етап закінчено. Далі шукаємо та відзначаємо знаком '\*' незалежні нулі в  $C_0$ , починаючи з першого стовпчика. Число незалежних нулів дорівнює 3 ( $3 < 4$ ), тому переходимо на першу ітерацію.

$$C_0 = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 4 & \mathbf{0^*} & 3 & 3 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 3 \\ \hline \mathbf{0^*} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & \mathbf{0^*} & 1 \\ \hline \end{array}$$

### Перша ітерація

Виділяємо знаком '+' зверху перший, другий і третій стовпці матриці  $C_0$ , які містять незалежні нулі  $0^*$ .

$$C_1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline & + & + & + & \\ \hline & \mathbf{1} & \mathbf{2} & \mathbf{3} & \mathbf{4} \\ \hline \mathbf{1} & 4 & \mathbf{0^*} & 3 & 3 \\ \hline \mathbf{2} & 1 & 0 & 1 & 3 \\ \hline \mathbf{3} & \mathbf{0^*} & 0 & 0 & 0' \\ \hline \mathbf{4} & 1 & 0 & \mathbf{0^*} & 1 \\ \hline \end{array}$$

**Перший етап.** Переглядаємо невиділений четвертий стовпець, знаходимо в ньому невиділений нуль  $C_1^{34} = 0$ , відзначаємо його штрихом

зверху. Третій рядок з цим нулем містить і  $0^*$ , тому виділяємо справа знаком '+' цей четвертий рядок і знищуємо знак виділення першого стовпця, що містить  $0^*$ .

$$C_1 = \begin{array}{c} \oplus \quad + \quad + \\ \mathbf{1} \quad \mathbf{2} \quad \mathbf{3} \quad \mathbf{4} \\ \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \mathbf{1} & 4 & 0^* & 3 & 3 \\ \hline \mathbf{2} & 1 & 0 & 1 & 3 \\ \hline \mathbf{3} & 0^* & 0 & 0 & 0' \\ \hline \mathbf{4} & 1 & 0 & 0^* & 1 \\ \hline \end{array} \end{array} +$$

Цей перший стовпчик не містить більше невиділених нулів. Також всі нулі матриці  $C_1$  виділені, тобто знаходяться або у виділених стовпцях, або рядках. Тому переходимо до третього етапу.

Третій етап. Серед невиділених елементів матриці  $C_1$  вибираємо мінімальний ( $\min \{4, 3, 1, 3, 1, 1\} = 1$ ) та позначають його  $h$  ( $h > 0$ ). Далі віднімаємо це  $h$  із усіх невиділених елементів матриці  $C_k$  і додаємо до всіх елементів, розташованих на перетині виділених стовпців та рядків. Зауважимо, що за такого перетворення всі нулі із зірочкою матриці  $C_1$  залишаються незалежними нулями і крім того, у ній з'являються нові невиділені нулі. Тому переходимо знову до першого етапу.

Перший етап. Переглядаємо невиділений четвертий стовпець, знаходимо в ньому невиділений нуль  $C_1^{34} = 0$ , відзначаємо його штрихом згори. Третій рядок з цим нулем містить і  $0^*$ , тому виділяємо праворуч знаком '+' цей третій рядок і знищуємо знак виділення першого стовпця, що містить  $0^*$ .

$$C_1 = \begin{array}{c} \oplus \quad + \quad + \\ \mathbf{1} \quad \mathbf{2} \quad \mathbf{3} \quad \mathbf{4} \\ \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \mathbf{1} & 3 & 0^* & 3 & 2 \\ \hline \mathbf{2} & 0' & 0 & 1 & 2 \\ \hline \mathbf{3} & 0^* & 1 & 1 & 0' \\ \hline \mathbf{4} & 0 & 0 & 0^* & 0 \\ \hline \end{array} \end{array} +$$

У цьому першому стовпці (вже невиділеному) є невиділений нуль, а саме  $C_{21}^1 = 0$ , який ми також відзначаємо штрихом зверху. Оскільки другий рядок з цим нулем не містить  $0^*$ , тому переходимо до другого етапу.

Другий етап. Починаючи з останнього зазначеного нуля зі штрихом  $C_{21}^{121} = 0'$ , будемо ланцюг, рухаючись від нього по першому стовпцю. Знаходимо нуль із зірочкою  $C_{31}^1 = 0^*$ , далі від нього рухаємося вздовж третього рядка і знаходимо нуль зі штрихом  $C_{34}^1 = 0'$ . На цьому ланцюг закінчується, тому що у четвертому стовпці немає нулів із зірочкою  $0^*$ .

Таким чином, ланцюг побудований:  $0'_{21} \rightarrow 0^*_{31} \rightarrow 0'_{34}$ . Замінюємо в ланцюзі нулів штрих на зірочку і знищуємо зірочки над парними елементами ланцюга ( $0^*_{21} \rightarrow 0_{31} \rightarrow 0^*_{34}$ ), а також усі знаки виділення стовпців та рядків. Після цієї ітерації кількість незалежних нулів в аналізованій матриці дорівнювала 4 (розмірності матриці  $C_0$ ) і тому алгоритм закінчує роботу. Шукані елементи призначення відповідають позиціям незалежних нулів матриці  $C_1$  (тобто  $0^*$ ).

$$C_1 = \begin{array}{c|cccc} & \mathbf{1} & \mathbf{2} & \mathbf{3} & \mathbf{4} \\ \hline \mathbf{1} & 3 & 0^* & 3 & 2 \\ \hline \mathbf{2} & 0^* & 0 & 1 & 2 \\ \hline \mathbf{3} & 0 & 1 & 1 & 0^* \\ \hline \mathbf{4} & 0 & 0 & 0^* & 0 \\ \hline \end{array}$$

Таким чином, оптимальне закріплення рухомого складу (чотирьох ТЗ) за чотирма ТР, при якому сумарний час виконання всього комплексу ТР є мінімальним, так само:

$T_{заг} = T_{рч12} + T_{рч21} + T_{рч34} + T_{рч43} = 3 + 3 + 3 + 1 = 10$  (умовних одиниць часу).

При цьому закріплення рухомого складу виглядатиме так:

- перший ТЗ виконуватиме другий ТР;
- другий ТЗ виконуватиме першу ТР;

- третій МС виконуватиме четверту ТР;
- четвертий ТЗ виконуватиме третю ТР.

Перевіримо результати закріплення рухомого складу комплексу транспортних робіт серед Excel.

Використовуємо таблицю Трч розв'язання задачі раціонального закріплення робіт із цієї таблиці за рухомим складом. Для цього подаємо нижче Ексел-таблицю, в якій:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ТР1	ТР2	ТР3	ТР4					
2	ТЗ1	6	3	4	6	1				
3	ТЗ2	3	3	2	6	1				
4	ТЗ3	2	3	1	3	1				
5	ТЗ4	3	3	1	4	1				
6		1	1	1	1					
7										
8										
9		ТР1	ТР2	ТР3	ТР4					
10	ТЗ1	0	1	0	0	1	=СУММ(B10:E10)			
11	ТЗ2	1	0	0	0	1				
12	ТЗ3	0	0	0	1	1	=СУММ(E10:E13)			
13	ТЗ4	0	0	1	0	1				
14		1	1	1	1					
15							=СУММ(B16:E16)			
16	10	3	3	1	3		=E10*E2+E11*E3+E12*E4+E13*E5			
17										

- верхня таблиця є вихідною таблицею робочого часу виконання комплексу ТР закріпленими ТЗ з відповідними маркерами закріплення або ТЗ за ТР, або ТР за ТЗ;

- нижня таблиця є розрахунковою таблицею Ексел, яка включає підрахунок за рядками (виконання умови закріплення ТЗ за однією ТР), стовпцями (виконання умови закріплення ТР за одним ТЗ), знаходження часу виконання кожної ТР та всього комплексу ТР.

Очевидно, результати при розрахунках вручну таблицях за угорським методом повністю збігаються з результатами, отриманими серед Excel.

## 2.5 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто такі вопросы:

- завдання оптимальної маршрутизації вантажних перевезень;
- симплексний метод знаходження оптимального плану перевезень вантажу;
- програмний комплекс вирішення транспортного завдання симплексним методом (PTCM);
- угорський метод вирішення транспортного завдання про призначення, а саме:

При вирішенні багатьох практичних завдань виникає потреба уявлення відносин між будь-якими об'єктами. Орієнтовані та неорієнтовані графи є природною моделлю для реалізації таких відносин.

У розділі на прикладі транспортної мережі, перетвореної на неорієнтований граф, розглянуто алгоритм Дейкстри знаходження найкоротших відстаней від транспортного вузла-джерела до решти, причому розрахунки були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel.

Знаходження оптимального плану перевезень вантажу було виконано за допомогою симплексного методу. Початкова сімплексна таблиця була отримана з транспортної таблиці за допомогою ряду перетворень системи лінійних рівнянь, причому вона була прив'язана до листа Excel. Розрахунки також були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Exce.

У розділі покроково описано технологію роботи програмного комплексу розв'язання транспортного завдання симплексним методом (PTCM). Програмний комплекс PTCM реалізований серед об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi.

Розрахунки закріплення рухомого складу за комплексом транспортних робіт були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel.

### РОЗДІЛ 3

## ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ, ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ У ТОВ «АГРОФІРМА «КЛАДЬКІВКА»

### 3.1 Побудова транспортної мережі ТОВ «Агрофірма «Кладьківка» для перевезення молочної продукції

На рисунку 3.1 представлена географічна мапа місцевості, де розташовано ТОВ «Агрофірма «Кладьківка»

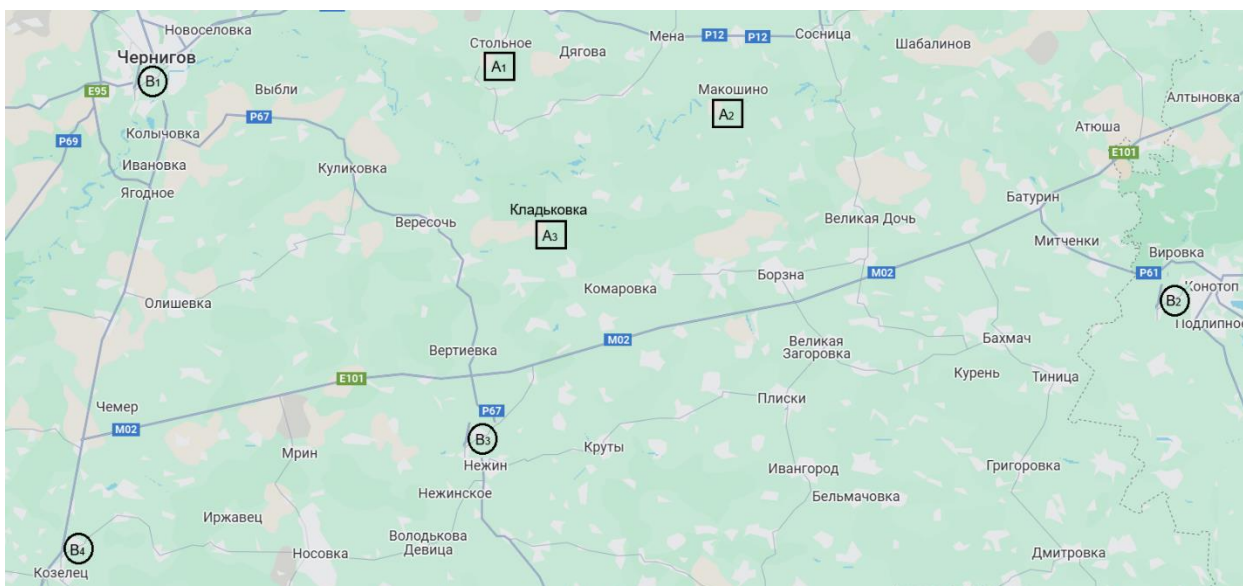


Рисунок 3.1 – Географічна мапа місцевості, де розташовано ТОВ «Агрофірма «Кладьківка»

На карті у вигляді квадратів  $\boxed{A_1}$  представлені населені пункти, в яких виробляється молочна продукція, а саме: Стільне (A1), Макошине (A2) та Кладьківка (A3) – це умовно постачальники вантажу. Також на карті у вигляді кіл  $\textcircled{B_1}$  представлені населені пункти, де споживається молочна продукція, а саме: Чернігів (B1), Конотоп (B2), Ніжин (B3) та Козелець (B4) – це умовно споживачі вантажу.

Уявімо сітку постачальників та споживачів вантажу (молочної продукції) у більш формалізованому вигляді – у вигляді транспортної мережі (ТМ) (рис. 3.2). На цій ТМ транспортні шляхи між транспортними вузлами (ТВ), а саме населеними пунктами, пронумеровані – їх дванадцять.

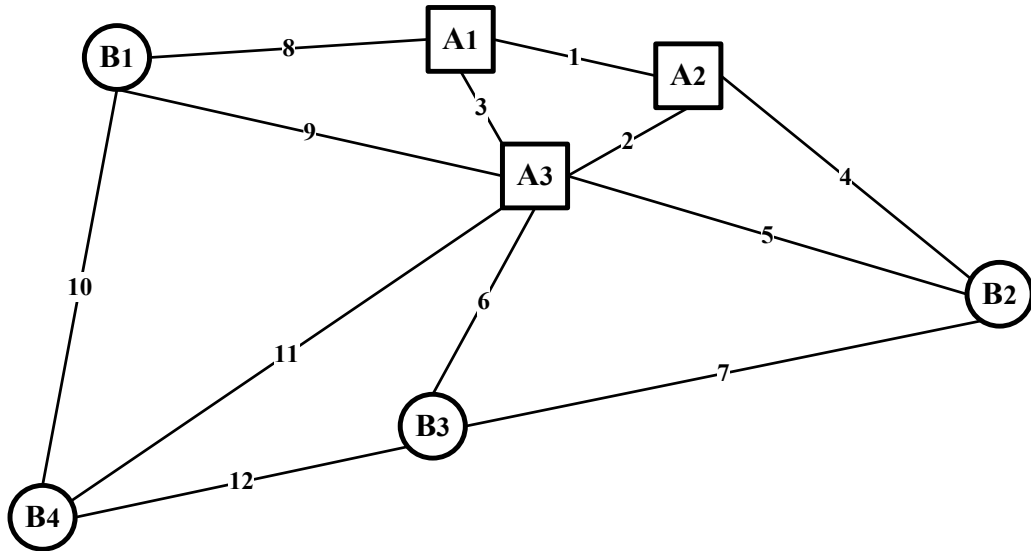


Рисунок 3.2 – Транспортна мережа постачальників і споживачів вантажу (молочної продукції) ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

Таблиця 3.1 Матриця транспортних кореспонденцій ТМ

№ з/п	ТВ початку	ТВ кінця	Відстань, км	№ з/п	ТВ початку	ТВ кінця	Відстань, км
1	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	30	7	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	94
2	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	31	8	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	43
3	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	20	9	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	50
4	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	64	10	B <sub>2</sub>	B <sub>4</sub>	67
5	A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	87	11	A <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	73
6	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	32	12	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	56

Зробимо на ТМ наскрізну нумерацію ТВ згідно з методом Дейкстри (рис. 3.3) та проставимо на транспортних шляхах їх дійсні відстані.

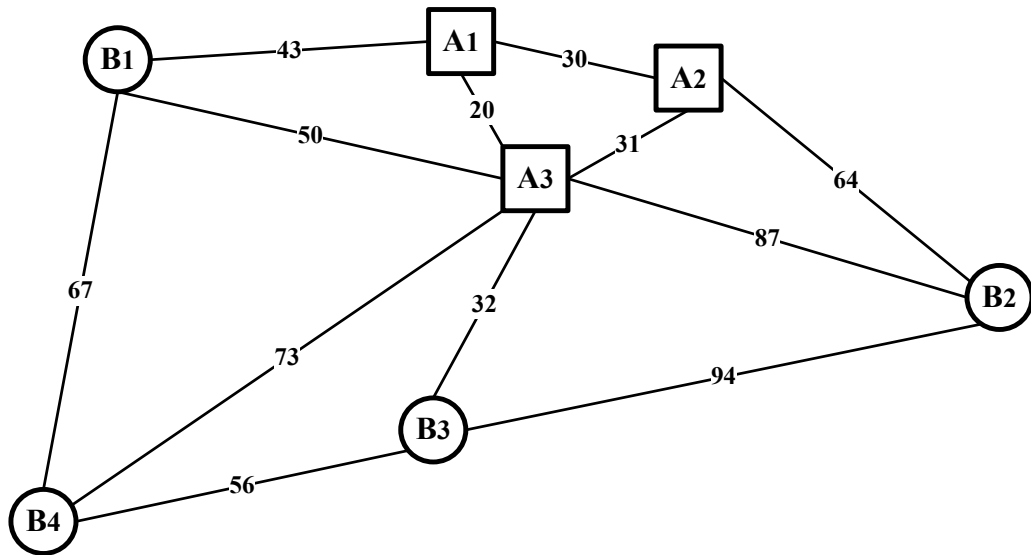


Рисунок 3.3 – Транспортна мережа

### 3.2 Задача оптимальної маршрутизації вантажних перевезень ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції

Знайдемо найкоротші маршрути від першої вершини (A<sub>1</sub>) поставки до решти вершин серед Excel, тобто проведемо розрахунки для початкового, першого, другого, третього, четвертого, п'ятого і шостого кроків:

*Вихідні дані:*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1														
2							1	2	3	4	5	6	7	
3							1	99	30	20	43	99	99	99
4							2	30	99	31	99	64	99	99
5							3	20	31	99	50	87	32	73
6							4	43	99	50	99	99	99	67
7							5	99	64	87	99	99	94	99
8						6	99	99	32	99	94	99	56	
9						7	99	99	73	67	99	56	99	
10														
11														
12														

Зміст цієї вкладки повністю будується вручну.

*Початок:*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Крок	S							W	D/P											
2										2	3	4	5	6	7						
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1
4	1																				
5	2																				
6	3																				
7	4																				
8	5																				
9	6																				
10																					

Номера вершин (*жирним шрифтом*) вносяться, все інше робить *Excel*.

Крок 1:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
1	Крок	S							W	D/P																						
2											2	3	4	5	6	7										99	30	20	43	99	99	99
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1		20		30	99	31	99	64	99	99	
4	1	1	3					3	30	1	-	-	43	1	99	1	52	3	93	3				20	30	31	99	50	87	32	73	
5	2																								43	99	50	99	99	67		
6	3																								99	64	87	99	94	99		
7	4																								99	99	32	99	94	56		
8	5																								99	99	73	67	99	56	99	
9	6																															
10																																

На цієї і наступних вкладках все робить *Excel*, за винятком забарвлення кольором окремих клітинок.

Крок 2:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
1	Крок	S							W	D/P																						
2											2	3	4	5	6	7											99	30	20	43	99	99
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1				30	99	31	99	64	99	99	
4	1	1	3					3	30	1	-	-	43	1	99	1	52	3	93	3			30		20	31	99	50	87	32	73	
5	2	1	3	2				2	-	-	-	-	43	1	94	2	52	3	93	3					43	99	50	99	99	67		
6	3																								99	64	87	99	94	99		
7	4																								99	99	32	99	94	56		
8	5																								99	99	73	67	99	56	99	
9	6																															
10																																

Крок 3:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
1	Крок	S							W	D/P																						
2											2	3	4	5	6	7											99	30	20	43	99	99
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1				30	99	31	99	64	99	99	
4	1	1	3					3	30	1	-	-	43	1	99	1	52	3	93	3					20	31	99	50	87	32	73	
5	2	1	3	2				2	-	-	-	-	43	1	94	2	52	3	93	3			43		43	99	50	99	99	67		
6	3	1	3	2	4			4	-	-	-	-	-	-	94	2	52	3	93	3					99	64	87	99	94	99		
7	4																								99	99	32	99	94	56		
8	5																								99	99	73	67	99	56	99	
9	6																															
10																																

### Крок 4:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE			
1	Крок	S								W	D/P																							
2										2	3	4	5	6	7											99	30	20	43	99	99	99		
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1					30	99	31	99	64	99	99		
4	1	1	3						3	30	1	-	-	43	1	99	1	52	3	93	3				20	31	99	50	87	32	73			
5	2	1	3	2					2	-	-	-	-	43	1	94	2	52	3	93	3				43	99	50	99	99	99	67			
6	3	1	3	2	4				4	-	-	-	-	-	-	94	2	52	3	93	3		52		99	64	87	99	99	94	99			
7	4	1	3	2	4	6			6	-	-	-	-	-	-	94	2	-	-	93	3				99	99	32	99	94	99	56			
8	5																								99	99	73	67	99	56	99			
9	6																																	
10																																		

### Крок 5:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE			
1	Крок	S								W	D/P																							
2										2	3	4	5	6	7											99	30	20	43	99	99	99		
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1					30	99	31	99	64	99	99		
4	1	1	3						3	30	1	-	-	43	1	99	1	52	3	93	3				20	31	99	50	87	32	73			
5	2	1	3	2					2	-	-	-	-	43	1	94	2	52	3	93	3				43	99	50	99	99	99	67			
6	3	1	3	2	4				4	-	-	-	-	-	-	94	2	52	3	93	3				99	64	87	99	99	94	99			
7	4	1	3	2	4	6			6	-	-	-	-	-	-	94	2	-	-	93	3		93		99	99	32	99	94	99	56			
8	5	1	3	2	4	6	7		7	-	-	-	-	-	-	94	2	-	-	-	-				99	99	73	67	99	56	99			
9	6																																	
10																																		

### Крок 6:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE			
1	Крок	S								W	D/P																							
2										2	3	4	5	6	7											99	30	20	43	99	99	99		
3	Початок	1							-	30	1	20	1	43	1	99	1	99	1	99	1					30	99	31	99	64	99	99		
4	1	1	3						3	30	1	-	-	43	1	99	1	52	3	93	3				20	31	99	50	87	32	73			
5	2	1	3	2					2	-	-	-	-	43	1	94	2	52	3	93	3				43	99	50	99	99	99	67			
6	3	1	3	2	4				4	-	-	-	-	-	-	94	2	52	3	93	3				99	64	87	99	99	94	99			
7	4	1	3	2	4	6			6	-	-	-	-	-	-	94	2	-	-	93	3				99	99	32	99	94	99	56			
8	5	1	3	2	4	6	7		7	-	-	-	-	-	-	94	2	-	-	-	-		94		99	99	73	67	99	56	99			
9	6	1	3	2	4	6	7	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
10																																		
11		①									②																							
12		①										③																						
13		①											④																					
14		①												②		⑤																		
15		①															③		⑥															
16		①																																
17		①																																
18		①																																
19		①																																

Для другої (A<sub>2</sub>) і третьої вершин (A<sub>3</sub>) поставки найкоротші маршрути до решти вершин представимо як результату шостого кроку, виконавши відповідні розрахунки й у середовищі Excel, тобто.

Для другої вершини ( $A_2$ )

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE			
1	Крок	S								W	D/P																							
2										1	3	4	5	6	7										199	30	20	43	199	199	199			
3	Початок	2							-	30	2	31	2	199	2	64	2	199	2	199	2				30	199	31	199	64	199	199			
4	1	2	1						1	-	-	31	2	73	1	64	2	199	2	199	2				20	31	199	50	87	32	73			
5	2	2	1	3					3	-	-	-	-	73	1	64	2	63	3	104	3				43	199	50	199	199	199	67			
6	3	2	1	3	6				6	-	-	-	-	73	1	64	2	-	-	104	3				199	64	87	199	199	94	199			
7	4	2	1	3	6	5			5	-	-	-	-	73	1	-	-	-	-	104	3				199	199	32	199	94	199	56			
8	5	2	1	3	6	5	4		4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104	3		104	199	199	73	67	199	56	199				
9	6	2	1	3	6	5	4	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													

Для третьої вершини ( $A_3$ ):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE			
1	Крок	S								W	D/P																							
2										1	2	4	5	6	7										199	30	20	43	199	199	199			
3	Початок	3							-	20	3	31	3	50	3	87	3	32	3	73	3				30	199	31	199	64	199	199			
4	1	3	1						1	-	-	31	3	50	3	87	3	32	3	73	3				20	31	199	50	87	32	73			
5	2	3	1	2					2	-	-	-	-	50	3	87	3	32	3	73	3				43	199	50	199	199	199	67			
6	3	3	1	2	6				6	-	-	-	-	50	3	87	3	-	-	73	3				199	64	87	199	199	94	199			
7	4	3	1	2	6	4			4	-	-	-	-	-	-	87	3	-	-	73	3				199	199	32	199	94	199	56			
8	5	3	1	2	6	4	7		7	-	-	-	-	-	-	87	3	-	-	-	-		87	199	199	73	67	199	56	199				
9	6	3	1	2	6	4	7	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													

### 3.3 Знаходження оптимального плану вантажних перевезень молочної продукції на ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» за допомогою програмного комплексу розв'язання транспортної задачі симплексним методом (РТЗСМ)

Спочатку сформуємо транспортну таблицю (ТТ) на основі найкоротших маршрутів у км, отриманих у попередньому підрозділі та вихідних даних транспортного завдання на перевезення молочної продукції на тиждень у тоннах (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Транспортна таблиця транспортного завдання на перевезення молочної продукції

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	Запаси $a_i$
$A_1$	43	94	52	93	8
$A_2$	73	64	63	104	10
$A_3$	50	87	32	73	12
Заявки $b_j$	9	8	7	6	

Програмний комплекс РТЗСМ включає наступні кроки:

*1 крок:* Введення розмірності транспортної задачі, обсягів поставок та заявок на вантаж, відстаней між усіма постачальниками та одержувачами вантажу:



*2 крок:* Заповнення початкової (нульової) симплексної таблиці (СТ<sub>0</sub>):



*3 крок:* Перша ітерація – отримання першої симплексної таблиці (СТ<sub>1</sub>):



4 крок: Друга ітерація – отримання другої симплексної таблиці (СТ<sub>2</sub>):



5 крок: Третя ітерація – отримання третьої симплексної таблиці (СТ<sub>3</sub>):



6 крок: Четверта ітерація – отримання четвертої симплексної таблиці (СТ<sub>4</sub>):



7 крок: П'ята ітерація – отримання п'ятої симплексної таблиці (СТ<sub>5</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників: 3  
Кількість споживачів: 4

**Решение не оптимально**    max = 32    j1 = 15  
min = 4    i1 = 4

Від розмірності

<b>V=</b>	9	8	7	6
<b>A=</b>	8			
	10			
	12			
<b>C=</b>	43	94	52	93
	73	64	63	104
	50	87	32	73

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Σ
1				43	94	52	93	73	64	63	104	50	87	32	73	105	105	105	105	105	105
2	43	1	8	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	105	14	2	0	-1	0	0	1	0	1	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1
4	73	12	4	0	1	0	1	-1	0	-1	0	0	1	0	1	1	0	1	-1	0	-1
5	50	9	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
6	64	6	8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	32	11	7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
8	<b>1632</b>			0	-69	-27	-27	9	0	1	1	0	-55	0	0	-39	0	-32	-128	-146	-146

8 крок: Шоста ітерація – отримання шостої симплексної таблиці (СТ<sub>6</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників: 3  
Кількість споживачів: 4

**Решение не оптимально**    max = 9    j1 = 8  
min = 1    i1 = 5

Від розмірності

<b>V=</b>	9	8	7	6
<b>A=</b>	8			
	10			
	12			
<b>C=</b>	43	94	52	93
	73	64	63	104
	50	87	32	73

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Σ
1				43	94	52	93	73	64	63	104	50	87	32	73	105	105	105	105	105	105
2	43	1	8	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	105	14	1	0	0	1	1	0	0	1	1	-1	-1	0	0	1	1	0	-1	-1	0
4	73	12	5	0	0	-1	0	0	0	-1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	-1
5	73	5	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
6	64	6	8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	32	11	7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
8	<b>1623</b>			0	-60	-18	-18	0	0	1	1	-9	-55	0	0	-30	0	-32	-137	-146	-146

9 крок: Сьома ітерація – отримання сьомої симплексної таблиці (СТ<sub>7</sub>):

Програмний комплекс рішення транспортної задачі симплексним методом

Кількість постачальників: 3  
Кількість споживачів: 4

**Решение оптимально**  
**произведено 10 итерации**

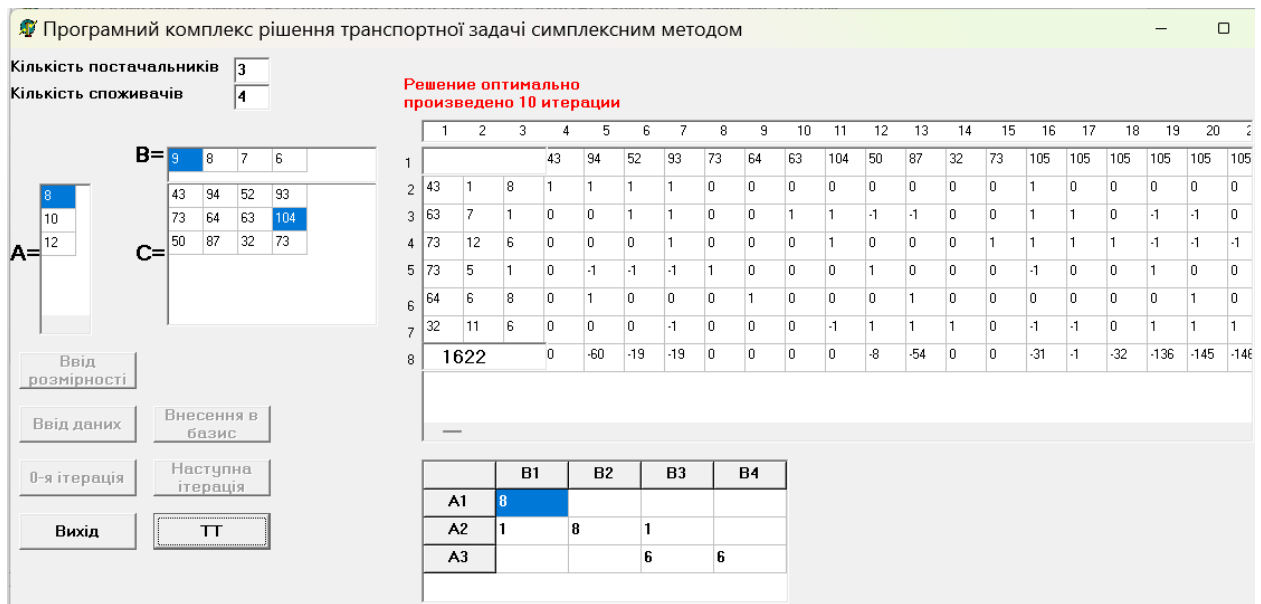
Від розмірності

<b>V=</b>	9	8	7	6
<b>A=</b>	8			
	10			
	12			
<b>C=</b>	43	94	52	93
	73	64	63	104
	50	87	32	73

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Σ
1				43	94	52	93	73	64	63	104	50	87	32	73	105	105	105	105	105	105
2	43	1	8	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	63	7	1	0	0	1	1	0	0	1	1	-1	-1	0	0	1	1	0	-1	-1	0
4	73	12	6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
5	73	5	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
6	64	6	8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	32	11	6	0	0	0	-1	0	0	0	-1	1	1	1	0	-1	-1	0	1	1	1
8	<b>1622</b>			0	-60	-19	-19	0	0	0	0	-8	-54	0	0	-31	-1	-32	-136	-145	-146

10 крок: одержання результуючої транспортної таблиці з оптимальним планом перевезень вантажу. Він являє собою оптимальний план виконання транспортних робіт, тому що як параметр оптимізації є додаток відстаней (км) і обсягів вантажів, що перевозяться (тонн).

Зведемо отримані результати у ТТ (табл. 3.3).



Таблиця 3.3 – Оптимальний план перевезення молочної продукції (ткм)

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	Запаси a <sub>i</sub>	
A <sub>1</sub>	8	43	94	52	93	8
A <sub>2</sub>	1	73	64	63	104	10
A <sub>3</sub>		50	87	32	73	12
Заявки b <sub>j</sub>	9	8	7	6		

### 3.4 Оптимальне закріплення рухомого складу ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА»

Розглянемо закріплення рухомого складу з прикладу оптимального плану перевезень вантажу, поданого як ТТ (табл. 3.2). Зробимо перехід від транспортної задачі про перевезення до транспортної задачі призначення.

З таблиці 3.3 сформуємо матрицю-рядок транспортних робіт (ТР), а саме  $TR = \{TR_j\}$ , ( $j = 1, N$ ), де  $N = (m + n - 1)$  – кількість ТР, що становлять оптимальний план перевезень вантажу:  $8 \times 43 = 344$  ткм;  $1 \times 73 = 73$  ткм;  $8 \times 64 = 512$  ткм;  $1 \times 63 = 63$  ткм;  $6 \times 32 = 192$  ткм;  $6 \times 73 = 438$  ткм.

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» має власний рухомий склад для перевезення молочної продукції (5 штук), а також орендує один молоковоз, на підставі технічних характеристик якого побудовано матрицю  $\Pi_{ij}$  – продуктивності виконання  $i$ -м транспортним засобом (ТЗ)  $j$ -ї ТР (ткм/рік):

		<b>ТР</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
$\Pi_{ij} = \text{ТЗ}$	<b>1</b>	50	50	50	50	50	50
	<b>2</b>	75	75	75	75	75	75
	<b>3</b>	50	50	50	50	50	50
	<b>4</b>	210	210	210	210	210	210
	<b>5</b>	210	210	210	210	210	210
	<b>6</b>	95	95	95	95	95	95

Розрахуємо по формулі  $t_{ij} = \frac{\text{ТР}_j}{\Pi_{ij}}$  ( $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, N}$  (з приведенням до

цілого числа) матрицю  $T_{рч}$  – матрицю робочого часу виконання усіма ТЗ всього комплексу запланованих ТР:

		<b>344</b>	<b>73</b>	<b>512</b>	<b>63</b>	<b>192</b>	<b>438</b>
$T_{рч} =$	6,88	1,46	10,24	1,26	3,84	8,76	
	4,59	0,97	6,83	0,84	2,56	5,84	
	6,88	1,46	10,24	1,26	3,84	8,76	
	1,64	0,35	2,44	0,30	0,91	2,09	
	1,64	0,35	2,44	0,30	0,91	2,09	
	3,62	0,77	5,39	0,66	2,02	4,61	

Використовуємо таблицю  $T_{рч}$  розв'язання задачі раціонального закріплення шести транспортних робіт із цієї таблиці за рухомим складом (шістьма транспортними засобами). Для цього подаємо нижче Ексел-таблицю, в якій:

	A	B	C	D	E	F	G	H
2	T31	6,88	1,46	10,24	1,26	3,84	8,76	1
3	T32	4,59	0,97	6,83	0,84	2,56	5,84	1
4	T33	6,88	1,46	10,24	1,26	3,84	8,76	1
5	T34	1,64	0,35	2,44	0,3	0,91	2,09	1
6	T35	1,64	0,35	2,44	0,3	0,91	2,09	1
7	T36	3,62	0,77	5,39	0,66	2,02	4,61	1
8		1	1	1	1	1	1	
9								
10								
11		TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	
12	T31	0	0	0	1	0	0	1
13	T32	0	0	0	0	1	0	1
14	T33	0	1	0	0	0	0	1
15	T34	0	0	1	0	0	0	1
16	T35	0	0	0	0	0	1	1
17	T36	1	0	0	0	0	0	1
18		1	1	1	1	1	1	
19								
20	<b>13,43</b>	<b>3,62</b>	<b>1,46</b>	<b>2,44</b>	<b>1,26</b>	<b>2,56</b>	<b>2,09</b>	

Таким чином, оптимальне закріплення рухомого складу (шостій ТС) за шістьма ТР, при якому сумарний час виконання всього комплексу ТР є мінімальним, дорівнює:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{рч14}} + T_{\text{рч25}} + T_{\text{рч32}} + T_{\text{рч43}} + T_{\text{рч56}} + T_{\text{рч61}} = 3,62 + 1,46 + 2,44 + 1,26 + 2,56 + 2,09 = 13,43 \text{ год.}$$

При цьому закріплення рухомого складу виглядатиме так:

- перший ТЗ виконуватиме четверту ТР;
- другий ТЗ виконуватиме п'яту ТР;
- третій ТЗ виконуватиме другий ТР;
- четвертий ТЗ виконуватиме третю ТР;
- п'ятий ТЗ виконуватиме шосту ТР;
- шостий ТЗ виконуватиме першу ТР.

### 3.5 Висновки до розділу 3

У цьому розділі було розглянуто такі вопросы:

- побудова транспортної мережі ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції;
- завдання оптимальної маршрутизації вантажних перевезень ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» для перевезення молочної продукції;
- знаходження оптимального плану перевезень молочної продукції на ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» за допомогою програмного комплексу вирішення транспортного завдання симплексним методом (РТСМ);
- оптимальне закріплення рухомого складу ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» при виконанні перевезень молочної продукції.

На географічній карті місцевості у вигляді квадратів  $A_1$  представлені населені пункти, в яких виробляється молочна продукція, а саме: Стільне ( $A_1$ ), Макошине ( $A_2$ ) та Кладько ( $A_3$ ) – це умовно постачальники вантажу. Також на карті у вигляді кіл  $B_1$  представлені населені пункти, де споживається молочна продукція, а саме: Чернігів ( $B_1$ ), Конотоп ( $B_2$ ), Ніжин ( $B_3$ ) та Козелець ( $B_4$ ) – це умовно споживачі вантажу. На основі цієї інформації було побудовано транспортну мережу ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Були знайдені найкоротші маршрути від ТД постачання молочної продукції, а саме: першої вершини ( $A_1$ ), другої вершини ( $A_2$ ) та третьої вершини ( $A_3$ ) до всіх інших вершин серед Excel, тобто проведемо розрахунки для початкового, першого, другого, третього, четвертого, п'ятого і п'ятого.

Знайдений за допомогою програмного комплексу вирішення транспортного завдання симплексним методом (РТСМ) оптимальний план перевезень молочної продукції на ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» налічує 1622 ткм і включає шість транспортних робіт, що мають такі значення: **344** ткм; **73** ткм; **512** ткм; **63** ткм; **192** ткм; **438** ткм.

Оптимальне закріплення рухомого складу (шости ТЗ) за шістьма ТР, при якому сумарний час виконання всього комплексу ТР є мінімальним, так само:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{рч14}} + T_{\text{рч25}} + T_{\text{рч32}} + T_{\text{рч43}} + T_{\text{рч56}} + T_{\text{рч61}} = 3,62 + 1,46 + 2,44 + 1,26 + 2,56 + 2,09 = 13,43 \text{ год.}$$

При цьому закріплення рухомого складу виглядатиме так:

- перший ТЗ виконуватиме четверту ТР;
- другий ТЗ виконуватиме п'яту ТР;
- третій ТЗ виконуватиме другий ТР;
- четвертий ТЗ виконуватиме третю ТР;
- п'ятий ТЗ виконуватиме шосту ТР;
- шостий ТЗ виконуватиме першу ТР.

## ВИСНОВКИ

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» є досить молодою компанією, вона була заснована 25 жовтня 2020 року. Її місцезнаходження Чернігівська область, Ніжинський район, село Вертіївка, вулиця Польова, будинок 3-Б. Також компанія має другорядний офіс, який знаходиться в селі Кладьківка, а також у цьому ж селі розташована вагова станція. Основний вид діяльності агрофірми – вирощування зернових культур (крім рису), бобових та насіння олійних культур, виробництво молочної продукції. Суміжні види діяльності – оптова торгівля зерном, необробленим тютюном, насінням та кормами для тварин, молочною продукцією. Гуртова торгівля хімічними продуктами.

Проведений SWOT – аналіз діяльності ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» показав, що підприємство має сильні сторони.

- сильні сторони, а саме: вигідна географічна позиція на межі районів, близькість до міст обласного значення: Чернігів та Ніжин; наявність потужного конкурентоспроможного агрокомплексу; наявність природно-ресурсного потенціалу (земельних, водних, лісових); наявність природних та інфраструктурних об'єктів, привабливих для інвестицій; наявність вільних земельних ділянок для ведення бізнесу та інвестування.

- можливості, а саме: зростання попиту на продовольство на світовому ринку; стимулювання розвитку АПК державними програмами, покращення бізнес-клімату; вихід на міжнародні ринки; зростання попиту на екологічну продукцію АПК на вітчизняному та міжнародному ринку; продовження реформ децентралізації та сприяння розвитку територіальних громад; зростання попиту на сільський, зелений, культурний туризм серед населення України та Європи.

Але, у підприємства є і слабкі сторони, а саме: значна частка населення старше за працездатний вік; природне старіння та скорочення населення; високий рівень безробіття та переважна відсутність гідної оплати праці; низький рівень інвестицій із-за кордону; неналежна якість транспортних

шляхів між населеними пунктами та загрози: розвиток військового конфлікту на сході України; порушення безпеки прикордонних територій Чернігівської області; організація карантинних обмежень для бізнесу в Україні та за її межами (повний нокдаун, червона зона); зниження рівня ґрунтових вод; переведення на територіальні громади державних фінансових зобов'язань щодо підвищення соціальних стандартів; згорання реформ.

ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» має потужний сучасний рухомий склад, а саме: 3 сідельні тягачі MAN TGS 19.390; 3 тентовані напівпричепи Fruehauf TF34, 3 молоковози на базі Газель Next та 2 молоковози на базі ГАЗ-3309 для перевезення молока та молочних продуктів.

Проведено аналіз статистичних даних обсягів зовнішньої торгівлі молоком та молочними продуктами України за 2020-2024 роки. та прогноз на 2025-2026 рр. показало зростання обсягів молока та молочних продуктів, як експорту (на 29,9% з 2024 по 2026 рік), так і імпорту (на 17,1% з 2024 по 2026 рік), а також стійке позитивне зовнішньоторговельне сальдо.

При вирішенні багатьох практичних завдань виникає потреба уявлення відносин між будь-якими об'єктами. Орієнтовані та неорієнтовані графи є природною моделлю для реалізації таких відносин.

На прикладі транспортної мережі, перетвореної на неорієнтований граф, розглянуто алгоритм Дейкстри знаходження найкоротших відстаней від транспортного вузла-джерела до всіх інших, причому розрахунки були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel.

Знаходження оптимального плану перевезень вантажу було виконано за допомогою симплексного методу. Початкова симплексна таблиця була отримана з транспортної таблиці за допомогою ряду перетворень системи лінійних рівнянь, причому вона була прив'язана до листа Excel. Розрахунки були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel.

Покроково описано технологію роботи програмного комплексу

розв'язання транспортного завдання симплексним методом (РТСМ). Програмний комплекс РТСМ реалізований серед об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi.

Розрахунки закріплення рухомого складу за комплексом транспортних робіт були виконані як вручну, так і за допомогою табличного процесора Excel.

На географічній карті місцевості у вигляді квадратів  $A_1$  представлені населені пункти, в яких виробляється молочна продукція, а саме: Стільне ( $A_1$ ), Макошине ( $A_2$ ) та Кладько ( $A_3$ ) – це умовно постачальники вантажу. Також на карті у вигляді кіл  $B_1$  представлені населені пункти, де споживається молочна продукція, а саме: Чернігів ( $B_1$ ), Конотоп ( $B_2$ ), Ніжин ( $B_3$ ) та Козелець ( $B_4$ ) – це умовно споживачі вантажу. На основі цієї інформації було побудовано транспортну мережу ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА».

Були знайдені найкоротші маршрути від ТВ постачання молочної продукції, а саме: першої вершини ( $A_1$ ), другої вершини ( $A_2$ ) та третьої вершини ( $A_3$ ) до всіх інших вершин серед Excel, тобто проведемо розрахунки для початкового, першого, другого, третього, четвертого, п'ятого і п'ятого.

Знайдений за допомогою програмного комплексу розв'язання транспортного завдання симплексним методом (РТСМ) оптимальний план перевезень молочної продукції на ТОВ «Агрофірма «КЛАДЬКІВКА» налічує 1622 ткм та включає шість транспортних робіт, що мають наступні значення: 344 ткм; 73 ткм; 512 ткм; 63 ткм; 192 ткм; 438 ткм.

Оптимальне закріплення рухомого складу (шости ТЗ) за шістьма ТР, при якому сумарний час виконання всього комплексу ТР є мінімальним, так само:

$$T_{\text{заг}} = T_{pч14} + T_{pч25} + T_{pч32} + T_{pч43} + T_{pч56} + T_{pч61} = 3,62 + 1,46 + 2,44 + 1,26 + 2,56 + 2,09 = 13,43 \text{ год.}$$

При цьому закріплення рухомого складу виглядатиме так:

- перший ТЗ виконуватиме четверту ТР;

- другий ТЗ виконуватиме п'яту ТР;
- третій ТЗ виконуватиме другий ТР;
- четвертий ТЗ виконуватиме третю ТР;
- п'ятий ТЗ виконуватиме шосту ТР;
- шостий ТЗ виконуватиме першу ТР.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Прокудін Г.С., Капроненко А.В., Дзуенко А.О., Король Н.П. Прогнозування вантажних перевезень по Україні / Г.С. Прокудін, А.В. Капроненко, А.О. Дзуенко, Н.П. Король // PERSPECTIVES OF CONTEMPORARY SCIENCE: THEORY AND PRACTICE: матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., [Львів], 14-16 жовт. 2024 р. / Науково-видавничий центр «Sci-conf.com.ua». – Львів, 2024. – С. 373-379.
2. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] // Економічна статистика / Зовнішньоекономічна діяльність / [Географічна структура зовнішньої торгівлі товарами](#). – Режим доступу: <https://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 07.02.2025). – Назва з екрана.
3. Державна Митна Служба України [Електронний ресурс] // Статистика та реєстри / статистичний експорт та імпорт товарів. – Режим доступу: <https://customs.gov.ua/en/statistika-ta-reiestri> (дата звернення: 07.02.2025). – Назва з екрана.
4. Зовнішня торгівля України товарами у 2022 році [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://stat.gov.ua/uk/publications/zovnishnya-torhivlya-ukrayiny-tovaramy-u-2022-rotsi?utm\\_source=chatgpt.com](https://stat.gov.ua/uk/publications/zovnishnya-torhivlya-ukrayiny-tovaramy-u-2022-rotsi?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 04.02.2025). – Назва з екрана.
5. Prokudin G. Logistics systems: technological and economic aspects of efficiency: collective monograph / Georgii Prokudin, Oleksiy Chupaylenko, Viktoriia Lebid, Olena Denys, Tetiana Khabotnia, Alina Nazarova // Logistics systems: technological and economic aspects of efficiency: collective monograph. – Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 2023. P. 1-169. ISBN 978-617-7319-66-4 (on-line) <http://monograph.com.ua/pctc/catalog/book/978-617-7319-66-4>
6. Прокудін Г.С. Оптимізація мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.Г. Прокудін, Ю.В. Пилипенко / Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал, Вип. № 2 (250). – Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2019. – С. 65–73.

7. Попко О.В., Сидоренко Д.Ю., Макарчук П.А., Маркетингові інновації, 2017. – 301-302 с. [Електронний ресурс]

URL: [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/37926/1/Marketynhovi\\_innovatsiyi\\_2017\\_301-302.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/37926/1/Marketynhovi_innovatsiyi_2017_301-302.pdf)

8. Комерційний транспорт та спецтехніка. Технічна характеристика MAN TGS 19.390 [Електронний ресурс]

URL: [https://truck-and-bus.ru/catalog/man/man-tgs/man-tgs-19\\_390/](https://truck-and-bus.ru/catalog/man/man-tgs/man-tgs-19_390/)

9. Техніка MAN. Технічна характеристика [Електронний ресурс]

URL: <https://man-ag.com.ua/ru/products/sedelnyj-tyagach-tgx-18-440-4x2-bl-sa-agro-kabina-gm/>

10. Техніка Volvo. Технічна характеристика [Електронний ресурс]

URL: <https://www.volvotrucks.com/ru-kz/trucks/models/volvo-fm/specifications.html>

11. Омніканальна CDP. SWOT- аналіз. [Електронний ресурс]

URL: <https://esputnik.com/uk/blog/swot-analiz-iz-prikladami>

12. Зовнішньоекономічна діяльність: сутність, види, фактори розвитку. Підручники для вузів онлайн. [Електронний ресурс]

URL: <https://pidru4niki.com/>

13. Довідка по товару УКТЗЕД. «QD Professional». [Електронний ресурс].

URL: <https://qdpro.com.ua/uk/goodinfo/2523210000>

14. Правила перевезення вантажів. Файловий архів. [Електронний ресурс]

URL: <https://studfile.net/preview/5591658/page:23/>

15. Конвенція про договір міжнародного автомобільного перевезення вантажів. Законодавство України [Електронний ресурс]

URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_234#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_234#Text)

16. Європейська Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ). Законодавство України [Електронний ресурс]

URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_217#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217#Text)

17. Сертифікат про походження. Дія бізнес експортний напрям.

[Електронний ресурс]

[URL:https://export.gov.ua/5iak\\_otrimuvati\\_sertifikati\\_pokhodzhennia\\_produkt\\_sii](https://export.gov.ua/5iak_otrimuvati_sertifikati_pokhodzhennia_produkt_sii)

18. Сертифікат якості. Friedman. [Електронний ресурс]

[URL:https://friedman.com.ua/ua/info/tariffregulation/certifications/pochemu-sertifikat-sootvetstvija-inogda-nazyvajut-sertifikatom-kachestva-455/](https://friedman.com.ua/ua/info/tariffregulation/certifications/pochemu-sertifikat-sootvetstvija-inogda-nazyvajut-sertifikatom-kachestva-455/)

19. Паспорт безпеки MSDS. Що таке паспорт безпеки. [Електронний ресурс]

[URL:https://www.products.pcc.eu/uk/blog/%D1%89%D0%BE%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D0%B8/](https://www.products.pcc.eu/uk/blog/%D1%89%D0%BE%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D0%B8/)

20. Договір купівлі-продажу. [Електронний ресурс]

[URL:https://www.victorija.ua/dovidnik/dohovirkupivliprodazhu2.html?print=print](https://www.victorija.ua/dovidnik/dohovirkupivliprodazhu2.html?print=print)

21. Документи для митного оформлення. «UA Broker». [Електронний ресурс]

[URL: https://ua-broker.com/shcho-potribno-znaty/dokumenty-dlya-mitnogo-oformlennya/transportniy-dokument-cmr/](https://ua-broker.com/shcho-potribno-znaty/dokumenty-dlya-mitnogo-oformlennya/transportniy-dokument-cmr/)

22. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. / Н.Т. Кунда // Навчальний посібник для студентів напряму «Транспортні технології» вищих навчальних закладів. – К.: Видавничий дім «Слово», 2008. – 400 с.

23. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, 2006. – 224 с.

24. Кузьмичов А. І. Лінійні задачі математичного програмування в MS Excel: Навч. посіб. / А. І. Кузьмичов – К.: Вид-во АМУ, 2006. – 189 с.

25. Григорків В.С. Оптимізаційні методи та моделі : підручник / В.С. Григорків, М.В. Григорків, О.І. Ярошенко. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2022. – 440 с.

26. Прокудін Г.С. Розв'язання мережевих транспортних задач у середовищі Excel / Г.С. Прокудін // Проблеми транспорту, вип. 4. – К.: НТУ, 2007. – С. 23–30.

27. Крєневич А.П. Алгоритми і структури даних. Підручник. – К.: ВПЦ "Київський Університет", 2021. – 200 с. (стор. 186–191) Посилання: <https://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/09/pidruchnyk-alhorytmy-i-struktury-danykh.pdf>.

28. Прокудін Г.С. Програмний комплекс оптимізації вантажних перевезень симплексним методом: Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємств. діяльн. до Реєстру виробн. та розповсюдж. прогр. забезп. / Г.С. Прокудін, М.М. Дмитрієв. – Серія ВР, № 00933, Україна, МОН – ід. код 02070915; заяв. 18.06.08; опуб. 25.06.08. – 10 с.

29. Прокудін Г.С. Програма пошуку найкоротших відстаней на транспортній мережі за допомогою матричного методу: свід-во про внесення суб'єкта підприємств. діяльн. до Реєстру виробн. та розповсюдж. прогр. забезп. / Г.С. Прокудін, М.М. Дмитрієв. – Серія ВР, № 00942, Україна, МОН – ід. код 02070915; заяв. 18.06.08; опуб. 25.06.08. – 7 с.

30. Прокудін Г.С. Модифікація методу Дейкстри стосовно розв'язання сітьових транспортних задач / Г.С. Прокудін // Вісник НТУ та ТАУ, № 7. – Київ: НТУ, 2002. – С. 195–198.

31. Prokudin G. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, D. Omarov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. N. 6/3 (84). P. 54 – 61. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2016.85211).

## ДОДАТКИ

Додаток А

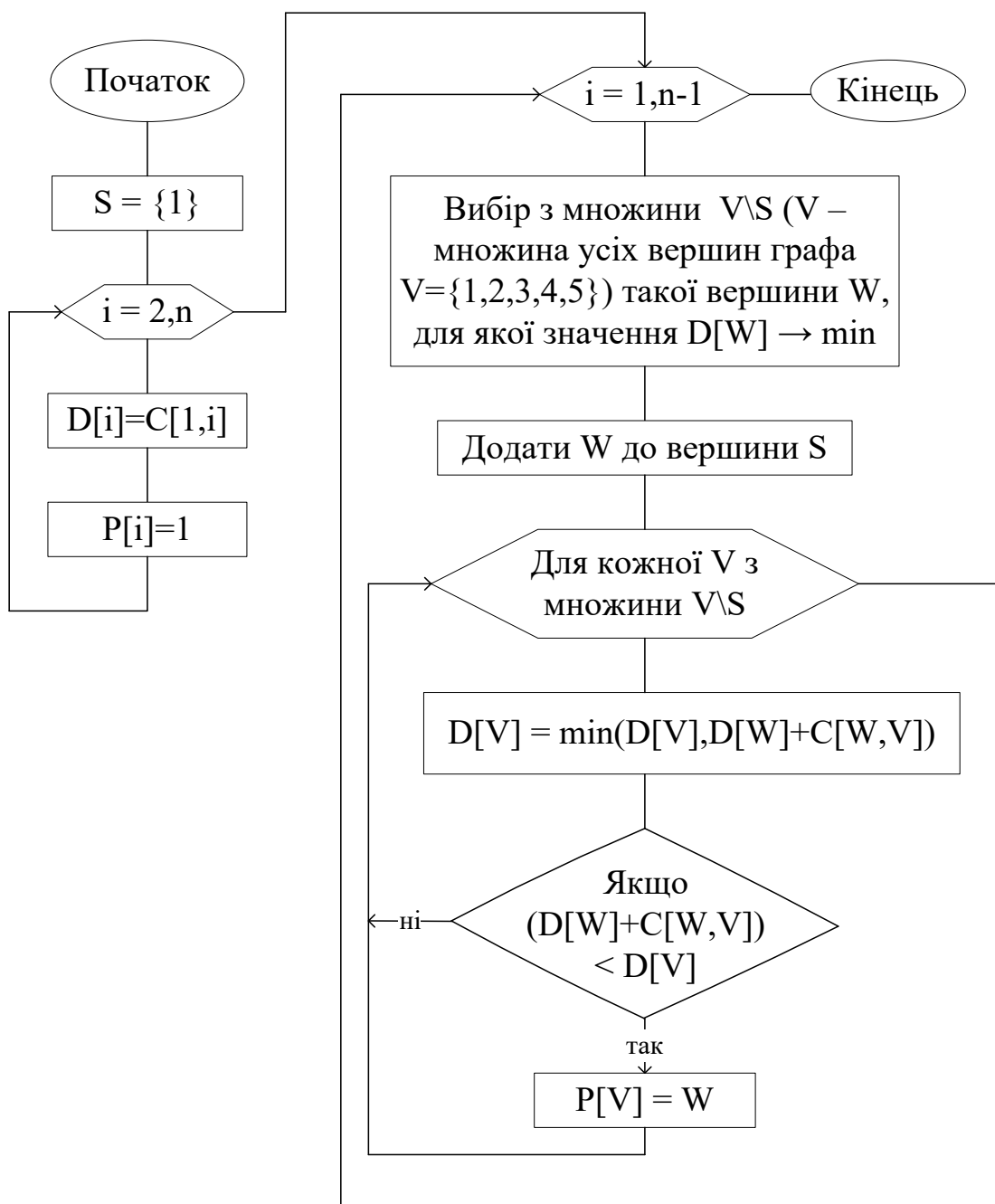


Рисунок А.1 – Блок-схема методу (алгоритму) Дейкстри

Для опрацювання блок-схеми алгоритму Дейкстри знаходження найкоротших маршрутів від *другої вершини* ( $A_2$ ) до інших побудуємо наступну таблицю:

Початок:

Крок	S	W	D/P			
			1	3	4	5
Початок	2	–	1/2	$\infty/2$	3/2	2/2
1						
2						
3						
4						

1 крок:

Крок	S	W	D/P			
			1	3	4	5
Початок	2	–	1/2	$\infty/2$	3/2	2/2
1	2,1	1	–	6/1	3/2	2/2
2			–			
3			–			
4			–			

$$D[V] = \min(D[V], D[W] + C[W, V])$$

$$V=3: D[3] = \min(D[3], D[1] + C[1, 3]) = \min(\infty, 1 + 5) = 6$$

$$V=4: D[4] = \min(D[4], D[1] + C[1, 4]) = \min(3, 1 + 2) = 3$$

$$V=5: D[5] = \min(D[5], D[1] + C[1, 5]) = \min(2, 1 + 4) = 2$$

2 крок:

Крок	S	W	D/P			
			1	3	4	5
Початок	2	–	1/2	$\infty/2$	3/2	2/2
1	2,1	1	–	6/1	3/2	2/2
2	2,1,5	5	–			
3			–			
4			–			

$$V=3: D[3] = \min(D[3], D[5] + C[5, 3]) = \min(6, 5 + 4) = 5$$

$$V=4: D[4] = \min(D[4], D[5] + C[5, 4]) = \min(3, 2 + \infty) = 3$$

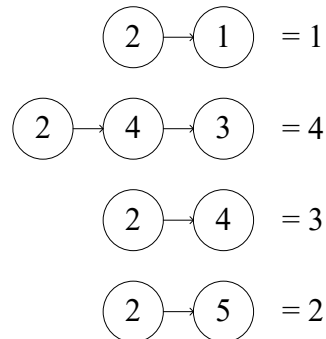
Крок	S	W	D/P			
			1	3	4	5

3 крок:	Початок	2	–	1/2	5/2	2/2	4/2
	1	2,1	1	–	6/1	3/2	2/2
	2	2,1,5	5	–	6/1	3/2	–
	3	2,1,5,4	4	–		–	–
	4			–		–	–

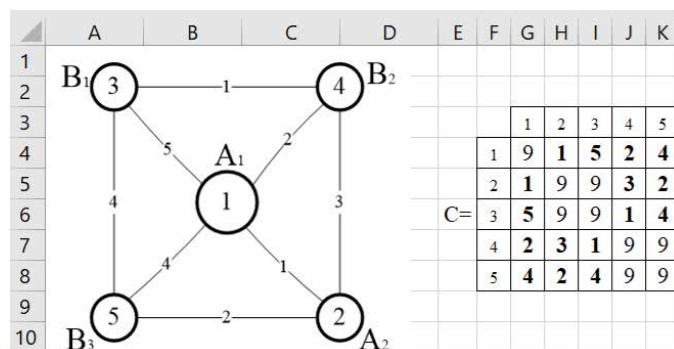
$$V=3: D[3] = \min(D[3], D[4] + C[4,3]) = \min(6, 3 + 1) = 4$$

Крок	S	W	D/P			
			1	3	4	5
Початок	2	–	1/2	5/2	2/2	4/2
1	2,1	1	–	6/1	3/2	2/2
2	2,1,5	5	–	6/1	3/2	–
3	2,1,5,4	4	–	4/4	–	–
4 крок:	4	2,1,5,4,3	3	–	–	–

Інтерпретуємо отримані результати. Для цього побудуємо найкоротші маршрути від другої вершини (джерела), до інших вершин, а саме 1, 3, 4, 5 (причому маршрути треба будувати з права наліво, використовуючи значення масиву P, які знаходяться у таблицях у знаменнику дроби):



**1. Вихідні дані:**



Зміст цієї вкладки повністю будується вручну.

**2. Початок:**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Крок	S					W	D/P							
2								<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>				
3	Початок	<b>2</b>					-	1	2	9	2	3	2	2	2
4	1														
5	2														
6	3														
7	4														

Номера вершин (**жирним шрифтом**) вносяться, все інше робить *Excel*.

**3. Крок 1:**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Крок	S					W	D/P							
2								<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>				
3	Початок	<b>2</b>					-	1	2	9	2	3	2	2	2
4	1	<b>2</b>	<b>1</b>				<b>1</b>	-	-	6	1	3	2	2	2
5	2														
6	3														
7	4														

На цієї і наступних вкладках все робить *Excel*, за винятком забарвлення кольором окремих клітинок.

**4. Крок 2:**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Крок	S					W	D/P							
2								<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>				
3	Початок	<b>2</b>					-	1	2	9	2	3	2	2	2
4	1	<b>2</b>	<b>1</b>				<b>1</b>	-	-	6	1	3	2	2	2
5	2	<b>2</b>	<b>1</b>	5			<b>5</b>	-	-	6	1	3	2	-	-
6	3														
7	4														

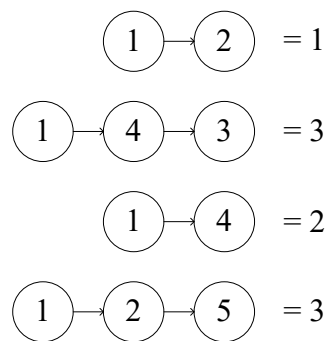
### 5. Крок 3:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Крок	S					W	D/P								
2		1	3		4			5								
3	Початок	2					-	1	2	9	2	3	2	2	2	
4	1	2	1				1	-	-	6	1	3	2	2	2	
5	2	2	1	5			5	-	-	6	1	3	2	-	-	
6	3	2	1	5	4		4	-	-	4	4	-	-	-	-	
7	4															

### 6. Крок 4:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Крок	S					W	D/P								
2		1	3		4			5								
3	Початок	2					-	1	2	9	2	3	2	2	2	
4	1	2	1				1	-	-	6	1	3	2	2	2	
5	2	2	1	5			5	-	-	6	1	3	2	-	-	
6	3	2	1	5	4		4	-	-	4	4	-	-	-	-	
7	4	2	1	5	4	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	

Інтерпретуємо отримані результати. Для цього побудуємо найкоротші маршрути від першої вершини (джерела), до вершин, які залишились (2, 3, 4, 5):



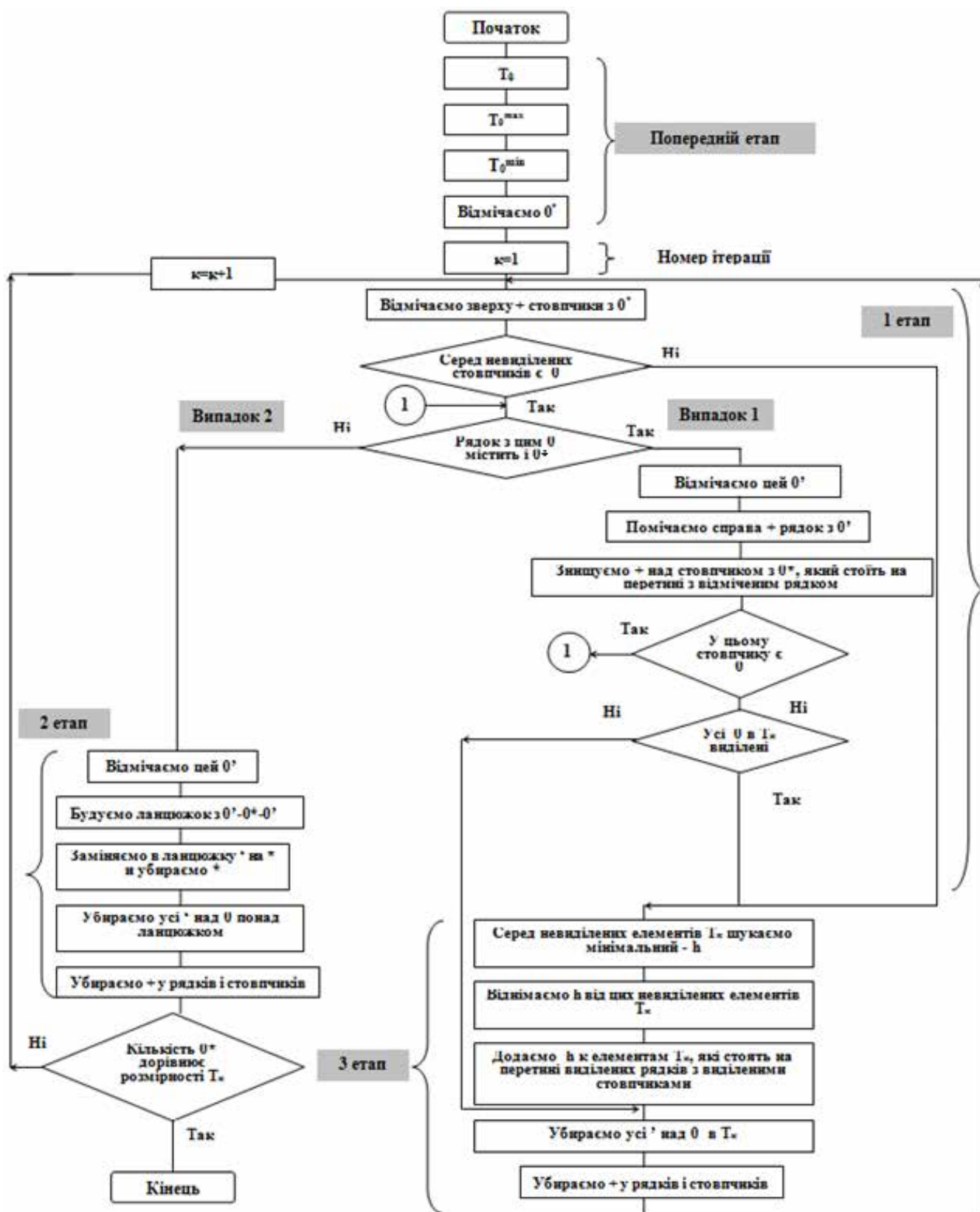


Рисунок Д.1 – Блок-схема угорського методу (алгоритму) розв’язання транспортної задачі про призначення