

**Міністерство освіти і науки України
Університет митної справи та фінансів**

**Факультет інноваційних технологій
Кафедра транспортних технологій та міжнародної логістики**

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
Завідувач кафедри транспортних
технологій та міжнародної логістики,
к.т.н., доцент

_____ А. І. Кузьменко
(підпис)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему:
«РОЗРОБКА ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ
ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ»**

Виконала: студентка групи **T21-2**
спеціальності 275 Транспортні
технології (на автомобільному
транспорті)
Ходус Софія Андріївна

Керівник: _____
(підпис)

кандидат технічних наук, доцент
Разгонов Сергій Адамович

Рецензент _____
(підпис)

УМСФ, доцент кафедри
транспортних технологій та
міжнародної логістики,
кандидат технічних наук
Шапиров О.В.

Дніпро
2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УНІВЕРСИТЕТ МИТНОЇ СПРАВИ ТА ФІНАНСІВ**

Факультет інноваційних технологій
Кафедра транспортних технологій та міжнародної логістики
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Освітня програма Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри транспортних
технологій та міжнародної логістики

_____/**А. І. Кузьменко**/

„05” грудня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
здобувачу вищої освіти

Ходус Софія Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: РОЗРОБКА ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ
ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ.

Керівник роботи: Разгонов Сергій Адамович, кандидат технічних наук, доцент.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по УМСФ від “12” травня 2025 року № 340кс.

2.Строк подання здобувачем роботи на кафедру «03» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра:

3.1 Статистичні дані по стану хімічної промисловості України та технології
перекачування та перевезення ортофосфорної кислоти.

3.2 Дані для розрахунку транспортної задачі з перевезення ортофосфорної
кислоти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, потрібних для опрацювання):

4.1 Виконати аналіз статистичних даних з організації вантажних перевезень
ортофосфорної кислоти.

- 4.2 Розв'язати транспортну задачу методом найменшої вартості та незбалансовану транспортну задачу.
- 4.3 Вирішити модель Уїлсона для знаходження оптимального запасу.
- 4.4 Узагальнити результати та зробити висновки.
- 5. Перелік графічних матеріалів:
 - 5.1 Аналіз стану хімічної промисловості та виробництва ортофосфорної кислоти
 - 5.2 Схему вакуумного насосу та перекачування кислоти
 - 5.3 Схеми перевезення кислоти
 - 5.4 Схеми кільцевого та радіального маршрутів перевезення кислоти
 - 5.5 Розв'язання транспортної задачі в середовищі Microsoft Excel
- 6. Дата видачі завдання: «12» грудня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Визначення теми кваліфікаційної роботи бакалавра (КРБ)	протягом I семестру	-
	Складання змісту роботи, оформлення та затвердження завдання	до 05.12.2024 р.	2%
	Опрацювання літературних джерел, нормативних документів	до 19.01.2025 р.	5%
	Збір та обробка статистичних і звітних даних	до 21.02.2025 р.	10%
	Написання вступу та розділу 1. Аналіз статистичних даних та наукових робіт за тематикою КРБ	до 02.03.2025 р.	20%
	Написання розділу 2. Аналіз існуючої (проектування нової) транспортно-логістичної схеми перевезення	до 30.03.2025 р.	40%
	Написання розділу 3. Розв'язання складної спеціалізованої задачі або актуальної практичної проблеми у сфері транспортних технологій за тематикою КРБ	до 13.04.2025 р.	60%
	Написання розділу 4. Визначення техніко-експлуатаційних показників та економічної доцільності запропонованих рішень	до 04.05.2025 р.	80%
	Формування висновків, оформлення пояснювальної записки	до 25.05.2025 р.	90%
	Оформлення графічної частини	до 30.05.2025 р.	95%
	Подання на кафедру електронного варіанту роботи	до 05 червня 2025 р.	-
	Перевірка КРБ на відсутність плагіату	06 червня 2025 р.	-
	Подання на кафедру кваліфікаційної роботи	до 10 червня 2025 р.	100%
	Отримання Висновку кафедри про допуск КРБ до захисту	10 червня 2025 р.	-
	Отримання Рецензії на КРБ	до 13.06.2025 р.	-
	Підготовка тексту доповіді і демонстраційного матеріалу	до 15.06.2025 р.	-
	Захист кваліфікаційних робіт бакалаврів	з 16.06.2025 р. по 22.06.2025 р.	-

Здобувач освіти

(підпис)

С. А Ходус

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

С.А.Разгонов

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ходус С. А. «РОЗРОБКА ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ».

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті). Університет митної справи та фінансів, Дніпро, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена доставці ортофосфорної кислоти мультимодальним перевезенням по Україні в склади тимчасового зберігання. Дотримання оптимального рівня запасу на складі та оптимальний план доставки небезпечного вантажу до підприємств - споживачів за критерієм мінімальної вартості перевезення.

THE SUMMARY

Khodus S. A. "DEVELOPMENT OF A TRANSPORT AND LOGISTICS SCHEME FOR TRANSPORTATION OF ORTHOPHOSPHORIC ACID."

Bachelor's qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 275 Transport technologies (on road transport). University of Customs and Finance, Dnipro, 2025.

The bachelor's qualification work is devoted to the delivery of orthophosphoric acid by multimodal transportation across Ukraine to temporary storage warehouses. Maintaining the optimal level of inventory in the warehouse and the optimal plan for delivering dangerous goods to enterprises - consumers based on the criterion of minimum transportation cost.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГОСТ	-	Міждержавний стандарт СНД
ДСТУ	-	Національний стандарт України
РЦ	-	Розподільчий центр
ТТН	-	Товарно-транспортна накладна
ММ	-	Математична модель
КМ України	-	Кабінет Міністрів України
ТЗ	-	Транспортні засоби
ЛП	-	Логістичні посередники
ТЛК	-	Транспортно-логістичний комплекс
УкрСЕПРО	-	Система сертифікації якості товарів і послуг в Україні

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СТАНУ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ	12
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ	21
2.1 Загальна схема перевезення вантажу	21
2.2 Обсяги використання ортофосфорної кислоти на підприємствах	23
2.3 Математична модель транспортної задачі перевезення та метода її аналітичного розв'язання	24
2.4 Розв'язок транспортної задачі методом найменшої вартості	29
2.5 Незбалансована транспортна задача	31
2.6 Модель Уїлсона, як метод знаходження оптимального запасу	32
3 РОЗРАХУНКИ ЗАГАЛЬНОГО КІЛОМЕТРАЖУ, ВИТРАТ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПО УКРАЇНІ, ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ЗАПАСУ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ МЕТОДОМ НАЙМЕНШОЇ ВАРТОСТІ	35
3.1 Розрахунок загального кілометражу та вартості перевезень вантажу по Україні	35
3.2 Розрахунок оптимального рівня запасу на складах тимчасового зберігання	36
3.3 Розв'язок транспортної задачі методом найменшої вартості	37

					КРБ 275 46 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ходус С.А.			РОЗРОБКА ТРАНСПОРТНО- ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ		Літ.	Арк.
Перевір.		Разганаєв С.А.						5
Реценз.		Шаповалов О.В.						57
Н. контр.		Разганаєв С.А.					УМСФ, ГР. Т21-2	
Затверд.		Кузьменко А.І.						

ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
Додаток А. Циклічна зміна рівня запасу на складі за допомогою випадкових величин	51
Додаток Д. Графічні матеріали	53

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ВСТУП

Перевезення небезпечних вантажів, а в нашому випадку це ортофосфорна кислота - діяльність, пов'язана з переміщенням небезпечних вантажів від місця їх виготовлення чи зберігання до місця призначення з підготовкою вантажу, тари, транспортних засобів та екіпажу, прийманням вантажу, здійсненням вантажних операцій та короткостроковим зберіганням вантажів на всіх етапах переміщення.

Маршрути перевезення небезпечних вантажів - залізничні шляхи, автомобільні дороги, внутрішні водні шляхи, морський та повітряний простір, де дозволено рух транспортних засобів, які перевозять небезпечні вантажі.

Міжнародні дорожні перевезення небезпечних вантажів здійснюються відповідно до Європейської угоди про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (далі - ДОПНВ) та інших міжнародних договорів України.

Транспортні засоби, якими перевозяться небезпечні вантажі, повинні відповідати вимогам державних стандартів безпеки, охорони праці та екології, а також у встановленому законодавством випадку мати відповідне маркування і свідоцтво про допущення до перевезення небезпечних вантажів. У разі дорожнього перевезення небезпечних вантажів відповідні свідоцтва, згідно з законодавством, видаються територіальними органами Міністерства внутрішніх справ України.

Транспортування ортофосфornoї кислоти являє собою транзит небезпечного вантажу, унаслідок її агресивності, клас небезпечності якої восьмий (їдкі, корозійні речовини, які здатні заподіяти розвиток захворювань дихальних шляхів, опіків шкіри, пошкодження слизових оболонок органів зору.). Навантаження й розвантаження, повинне проводитися в приміщеннях з вентиляцією, де здійснюються ці заходи для співробітників, а також для водіїв - необхідно використовувати захисний одяг, взуття, респіратори,

Виконав		Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.				9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

окуляри і кислотостійкі рукавички, так як контакт з ортофосфорною кислотою заподіює опіки епітелію, слизової і органів дихання.

Документи, на підставі яких виконуються вантажні перевезення надані згідно ст. 48 Закону України «Про автомобільний транспорт», в тому числі:

- для автомобільного перевізника – документ, що засвідчує використання транспортного засобу на законних підставах, інші документи, передбачені законодавством;
- для водія – посвідчення водія відповідної категорії, реєстраційні документи на транспортний засіб, товарно-транспортна накладна або інший визначений законодавством документ на вантаж, інші документи, передбачені законодавством.

У разі перевезення небезпечних вантажів, окрім документів, передбачених ч. 2 цієї статті, обов'язковими документами є наступні:

- для автомобільного перевізника – ліцензія на надання відповідних послуг;
- для водія – свідоцтво про допущення транспортного засобу до перевезення певних небезпечних вантажів, свідоцтво про підготовку водіїв транспортних засобів, що перевозить небезпечні вантажі, письмові інструкції на випадок аварії або надзвичайної ситуації.

Обов'язковим є дотримання правил, а саме:

- під час транспортування на автоцистернах повинна бути особливе маркування та інформаційні таблички, які попереджають інших учасників дорожнього руху про небезпеку перевезеного товару;
- дотримання певного рівня швидкості і температури навколишнього середовища, що гарантує відсутність неприємних ситуацій;
- складання спеціальних маршрутів, які дозволили б доставляти вантаж швидко і безпечно, виключаючи проїзд по жвавих трасах, через заповідні зони, масові скупчення людей і великі населені пункти;

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- автоцистерна повинна бути пофарбована в жовтий колір з чорною смугою, на якій є напис «Їдка речовина», нанесена для інших учасників дорожнього руху;
- застосування звичайних, наприклад, бензовозних цистерн для перевезення ортофосфорної кислоти заборонено;
- транспортування довіряється виключно водіям, у яких є свідоцтво ДОПНВ, тобто вони мають офіційний дозвіл на перевезення небезпечних вантажів автомобільними дорогами;
- доплати «за швидкість» виключені, так як перевезення кислоти передбачає дотримання певного швидкісного режиму;
- певний маршрут, який складається з урахуванням того, що вантаж не можна провозити через ряд конкретних об'єктів;
- наявність більше одного причепа або напівпричепа виключено з техніки безпеки.

Розчин ортофосфорної кислоти використовується для виробництва добрив, в харчовій промисловості, харчова добавка Е338, в деревообробній промисловості як антипірені для просочення деревини, для виробництва стійких до полум'я лакофарбових матеріалів, таких як: емаль, лак і просочення, а також вогнестійкий фосфатний пінопласт, плити, виготовлені з деревини.

Головна задача кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у розрахунку оптимального маршруту перевезення ортофосфорної кислоти, часу та витрат на перевезення, а також періодичності доставки небезпечного вантажу до складів з різним рівнем використання речовини.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1 АНАЛІЗ СТАНУ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

Хімічна промисловість України є складною структурою, що включає гірничо-хімічну галузь, різні галузі основної хімії та органічного синтезу. Основа хімічної промисловості була створена в Україні у минули роки. Розвиток хімічної промисловості в тому чи іншому районі обумовлено природними, економічними та соціальними причинами. Спеціалізація підприємств хімічної промисловості і розміщення в Україні залежать від наявності сировини та необхідності найповнішої переробки відходів інших галузей господарства. Важливий фактор розміщення підприємств хімічної промисловості полягає у наявності споживачів продукції.

Основне хімічне виробництво включає кислоти, луки і мінеральні добрива. Сьогодні основу хімічного комплексу становить виробництво мінеральних добрив на яке припадає понад 60% всієї продукції, що випускається в країні хімічної промисловістю. Кислотна промисловість це одна з базових хімічних галузей, її продукція застосовується при виробництві мінеральних добрив, металургії, харчової та легкої промисловості.

Загальний обсяг виробництва України

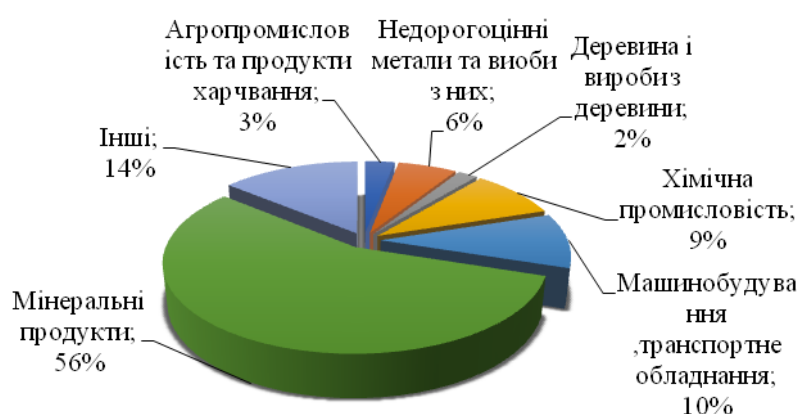


Рисунок 1.1- Загальний обсяг виробництва України в різних галузях господарства

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Ортофосфорна кислота (H_3PO_4) є у формі білих або безбарвних кристалів, проте, як-от ортофосфорна кислота з концентрацією 85%, вона проявляється як безбарвна рідина. Ця рідина трохи густа, не має ні запаху, ні кольору. Вона легко розчиняється у воді, що робить її зручним і часто використовуваним компонентом.

Ортофосфорна кислота класифікується як харчова домішка Е338, також відома як ортофосфатна кислота. Це означає, що її можна використовувати в харчовій промисловості відповідно до регуляторних стандартів.

Є кілька варіантів ортофосфornoї кислоти, як-от харчова та технічна. Харчова ортофосфорна кислота використовується у виробництві харчових продуктів, тоді як технічна ортофосфорна кислота може застосовуватися в різних промислових процесах і виробництвах.

Процес виробництва ортофосфornoї кислоти може здійснюватися різними способами, включно з екстракційним і термічним. У разі екстракційного методу ортофосфорна кислота виходить із реакції сірчаної та фосфornoї кислот, тоді як під час термічного методу вона виготовляється способом спалювання фосфору.

Важливо зазначити, що ортофосфорна кислота є кислотою середньої сили та утворює три ряди фосфатів. Під час нагрівання розчину ортофосфornoї кислоти можна спостерігати процес дегідратації, унаслідок якого утворюються конденсовані фосфornoї кислоти.

Ортофосфорна кислота має широкий спектр застосування:

- 1) Фосфорне добриво: Використовується для поліпшення якості ґрунту та стимулювання росту рослин.
- 2) Виробництво газованих напоїв: Використовується для надання напоям кислотності та регулювання рН.
- 3) Поліпшення смакових якостей кондитерських виробів і газованих напоїв: Ортофосфорна кислота може використовуватися як домішка для регулювання рН і поліпшення смаку.

Виконав		Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.				13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Виробництво кормових добавок: Застосовується для збагачення кормів і поліпшення травлення у тварин.

5) Склад фреону для холодильного обладнання: Використовується як холодоагент у холодильних системах.

6) Стоматологічна промисловість: Використовується для попереднього оброблення зубів перед пломбуванням.

7) Просочення дерев'яних зрубів: Забезпечує додатковий захист від вогню.

8) Виробництво мийних засобів: Може бути використана як компонент для очищення й дезінфекції.

9) Обробка та паяння металів: Використовується для очищення поверхонь металів перед паянням і зварюванням.

Ортофосфорна кислота також може застосовуватися для усунення іржі на металевих поверхнях.

Ортофосфорна кислота (H_3PO_4), що містить 85% активної речовини, є ефективним хімічним розчинником, який часто використовується для очищення системи крапельного поливання від різних забруднень і відкладень, як-от солі, бактерії та інші небажані речовини. Ось як вона застосовується в процесі очищення системи крапельного поливання:

Вихідна ортофосфорна кислота, що містить 85% активної речовини, занадто концентрована для використання в чистому вигляді. Тому перед застосуванням її обов'язково розбавляють водою. Для очищення системи крапельного поливання зазвичай використовують розчини, що містять від 1% до 2% ортофосфорної кислоти.

Переваги ортофосфорної кислоти з вмістом 85% активної речовини:

1) Ефективність: Ортофосфорна кислота з високим вмістом активної речовини забезпечує швидше й ефективніше досягнення бажаних результатів, порівнюючи з менш концентрованими формами.

2) Економність: Завдяки вищій концентрації активної речовини, ортофосфорна кислота 85% вимагає меншої кількості для досягнення того ж

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис					

ефекту, що й менш концентровані форми, що може заощадити ресурси та знизити витрати.

3) Універсальність застосування: Висока концентрація робить цей продукт універсальним, оскільки його можна використовувати в широкому спектрі галузей, включно з сільським господарством, харчовою промисловістю, промисловим виробництвом і стоматологією.

4) Простота використання: Вища концентрація активної речовини зазвичай означає, що менше продукту необхідно для досягнення бажаного ефекту, що робить його зручнішим у використанні та зберіганні.

Світовий ринок ортофосфорної кислоти має досягти 16,0 млрд доларів до 2025 року з 13,5 млрд доларів у 2020 році за середньорічного темпу зростання (CAGR) 3,4% у прогнозований період з 2020 по 2025 рік. Така позитивна тенденція на ринку кислоти очікується і в Україні, оскільки ортофосфорна кислота є невід'ємним компонентом у стратегічно важливих для економіки України галузях: хімічна, піщева промисловість, виробництво міндобрив.

З вересня 2020 р. до серпня 2021 р. діють імпорتنі квоти на ортофосфорну кислоту – 48 197 тонн. незалежно від країни відправлення – це завершальний етап імпорتنих квот, запроваджених у вересні 2018 р.

Хімічна промисловість виробляє продукцію, що має широке застосування та низьку матеріаломісткість виробництва. Ортофосфорна кислота використовується у текстильній, харчовій, нафтопереробній, целюлозно-паперовій промисловості у виробництві акумуляторів тощо.

Натуральні показники виробництва ортофосфорної кислоти показують позитивну динаміку, але з невеликими темпами зростання. Виробники ортофосфорної кислоти стверджують, що можуть покрити внутрішні споживання України (див. рис. 1.2).

Хімічна галузь України налічує близько 200 підприємств і об'єднань, в яких зайнято понад 350 тис. чоловік. Хімічні підприємства виробляють до 20 тис. найменувань продукції на суму 40-45 млрд.грн.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис					

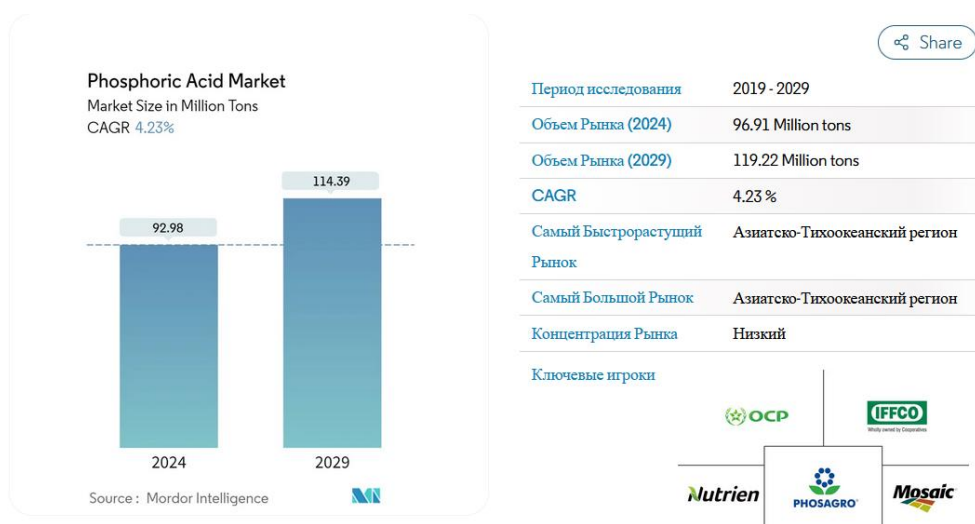


Рисунок 1.2 - Обсяг світового ринку ортофосфорної кислоти

Перевезення ортофосфорної кислоти включає доставку неорганічних кислот помірної сили, які представляють в природному середовищі кристали без кольору, що вбирають вологу з повітря. Так як ця кислота легко розчиняється в рідинах, наприклад у воді, етанолу, різних розчинниках, то перевезення ортофосфорної кислоти виконується в формі доставки 75-85 відсоткової суміші з водою, де маса ортофосфорної кислоти складає 73%.

Такі суміші концентрованих кислот мають сильну в'язкість і високу щільність порядку 1,69 г / см³.

Основними країнами експортерами фосфорної кислоти є: Польща, Угорщина, Греція, Ліван, Швейцарія та Естонія. Ортофосфорна кислота імпортується в Україну мультимодальним перевезенням, де з залізничного транспорту шляхом перекачування, кислота перевантажується в автоцистерни і транспортується у спеціальні склади для зберігання наливних небезпечних вантажів. А вже зі складів зберігання, кислота транспортується на підприємства, де виробляються добрива, добавки та інше.

Для перевезення небезпечних наливних вантажів, а саме ортофосфорної кислоти залізничним транспортом, використовують чотиривісна цистерна моделі 15-1548-02 з вантажопід'ємністю 60 т; масою тари вагона 21.6 т; об'ємом кузова 32.68 м³. Через високу небезпеку

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

перевезення небезпечних вантажів, такі цистерни виділяються своїм різким забарвленням, не схожим на інші типи вагонів. Уздовж котла кислотної цистерни нанесені жовті смуги шириною 0,5 м по обидва боки циліндричної частини і квадрати розміром 1х1 м на днищах котла, на яких вказано призначення цистерни і небезпека перевезеної кислоти.



Рисунок 1.3 – Побутова тара ортофосфornoї кислоти

Для захисту цистерн, які перевозять небезпечні вантажі, від нагрівання сонячними променями застосовуються тінюві захисні кожухи, пофарбовані в світлий колір і розташовані над верхньою частиною котла.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон домінуватиме на ринку. Азіатсько-Тихоокеанський регіон домінував на ринку ортофосфornoї кислоти у 2022 році зі значною часткою обсягу, і очікується, що він збереже своє домінування протягом прогнозованого періоду. Це пов'язано з тим, що Китай є найбільшим у світі виробником та споживачем добрив. У таких країнах, як Китай, Індія та країни Південно-Східної Азії попит на фосфорну кислоту постійно зростає. Перед Китаєм припадає близько 7% загальної сільськогосподарської площі у всьому світі, що забезпечує харчування 22% населення світу. Країна є найбільшим виробником різних сільськогосподарських культур, у тому числі рису, бавовни, картоплі та інших. Таким чином, попит на ортофосфornoу кислоту, яка використовується у добривах, швидко зростає через масштабну сільськогосподарську

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

діяльність у країні. Ортофосфорна кислота також широко використовується у виробництві літій-залізо-фосфатних акумуляторів, і Китай є домінуючою країною у цій галузі. У 2022 році у 44% від загальної кількості електромобілів, проданих у Китаї, використовувалися акумулятори LFP, за ними прямували 6% у Європі та по 3% у США та Канаді. Індія, ще один великий виробник добрив, є другим за величиною споживачем. Більшість використання добрив в Індії обумовлена значним субсидуванням добрив індійським урядом. У 2022 фінансовому році в Індії було вироблено понад 42 мільйони тон добрив. Виробництво добрив в Індії досягло піку у 2020 фінансовому році і склало понад 46 мільйонів метричних тон. Протягом останніх кількох років проводилася сприятлива політика, що сприяє інвестиціям у державний, кооперативний та приватний сектори. Ортофосфорна кислота також використовується в харчовій промисловості та виробництві напоїв для підкислення харчових продуктів та напоїв, таких як різні коли та джеми, надаючи їм гострого чи кислого смаку. За даними Міністерства сільського господарства США (USDA), індійська харчова промисловість посідає третє місце у світі за величиною. Протягом останніх кількох років у цій галузі спостерігається стійке зростання і очікується, що Індія стане найбільшим виробником продуктів харчування у світі. За прогнозами, до 2025 року обсяг продажу роздрібного ринку продуктів харчування та продуктів харчування в країні перевищить 850 мільярдів доларів США. Отже, причини, згадані вище, ймовірно, сприятимуть зростанню ринку ортофосфорної кислоти в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні протягом прогнозованого періоду.

Для перевезення ортофосфорної кислоти по Україні між складами та підприємствами використовують кислотовози (автоцистерни) моделі ППЦК 17КС-22 ВРВ УСТ 94651, які комплектовані рівнемірами, датчиками рівня, швидко роз'ємними з'єднаннями (муфти сухого зчеплення), рукавами, насосами, арматурою, естакадами і консолями для проведення завантаження і розвантаження, нижнього і верхнього виконання та інше.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Напівпричеп – цистерна кислотовоз має рамну конструкцію. Ємність виготовлена з хімічно стійкого багатошарового композиційного матеріалу, посиленого скловолокном, укладається в ложементи рами напівпричепа, рама встановлюється на візок. Фіксація цистерни на ложементах за допомогою стяжних стрічок забезпечує невелику свободу ємності при скручуванні рами, що додатково знижує навантаження на саму ємність. Така конструкція має велику міцність і надійність за рахунок того, що велика частина динамічних навантажень при русі доводиться на раму. Сталева рама напівпричепа-цистерни зі зварного профілю має великий запас міцності, додаткову жорсткість конструкції посилюють уварені підсилювачі.

Зручний майданчик обслуговування зі складними алюмінієвими поручнями і настилом з просечного листа перешкоджає ковзанню, закріплена на рамі напівпричепа, що дозволяє уникнути додаткового навантаження на ємність і зберегти цілісність конструкції.

Технологія виробництва цистерни забезпечує цілісність її конструкції, оберігає від появи тріщинів. Цистерна з склопластику з армовано-шаруватою структурою відрізняється підвищеною стійкістю до вібрацій.

Для перекачування кислоти з чотирьохосної цистерни на кислотовоз застосовують пересувну вакуумну насосну установку (ПВНУ), яка призначена для забезпечення зливу за прямим варіантом. Установка працює за принципом «сифона» з подальшим перекачуванням центробіжним насосом. Схема вакуумного насосу в системі ПВНУ наведена у графічному листу №2.

Установка ПВНУ складається з наступних основних частин і вузлів:

- Рама - 1 шт;
- Майданчик з перехідним містком - 1 шт;
- Перекачує агрегат - 1 шт;
- Вакуумний насос - 1 шт;
- Вакуумний збірник - 1 шт;

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- Шафа управління електроживленням - 1 шт.

Місця зберігання небезпечних вантажів – спеціально облаштовані місця, майданчики, складські приміщення та споруди, де зберігаються прийняті до/після перевезення небезпечні вантажі. Кіслотовози імпортовану ортофосфорну кислоту транспортують в спеціальні склади для зберігання та подальшого використання кислоти підприємствами.

Як і перевезення, зберігання небезпечних вантажів на складі також здійснюється в суворій відповідності з правилами безпеки. Наприклад, складські приміщення повинні бути оснащені сучасними системами автоматичного гасіння та оповіщення. Всі склади, на яких зберігаються небезпечні вантажі, повинні бути одноповерховими, без будь-яких підвальних або горищних приміщень. Пічне і парове опалення приміщень категорично заборонено. При будівництві складу для небезпечних вантажів повинні використовуватися виключно вогнетривкі матеріали.

Склад для зберігання небезпечних вантажів повинен розташовуватися не менше ніж в 100 метрах від вогнетривких споруд і не ближче 300 метрів від легко займистих конструкцій.

В даній кваліфікаційної роботі бакалавра будемо розглядати 2 найбільших склади в Україні, з яких здійснюється транспортування ортофосфорної кислоти на різні підприємства.

Загальні об'єми імпорту ортофосфорної кислоти в Україну на 2021 рік складають 2383,4 тис.т. Оскільки тимчасовий термін зберігання кислоти на складах 2 місяці, отже імпорт з країн постачальників здійснюється кожні 2 місяці з урахуванням споживання цієї кислоти підприємствами. Середній об'єм імпорту за одну їздку складає 397,2 тис.т.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка транспортно-логістичної схеми перевезення ортофосфорної кислоти та знаходження оптимального маршруту доставки з мінімальними витратами, а також планування поставки небезпечної речовини зі складів тимчасового зберігання до підприємств споживачів, з урахуванням оптимального залишку кислоти на складі та підприємстві.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

2.1 Загальна схема перевезення вантажу

Найбільший обсяг імпорту ортофосфорної кислоти в Україну здійснюється з Польщі. Прикордонне сполучення між Україною та Республікою Польщею здійснюється через такі залізничні пункти пропуску через державний кордон: «Яготин – Дорогуск»; «Володимир-Волинський – Хрубешув»; «Мостиська – Пшемисль». Пункти пропуску працюють цілодобово. Ми будемо розглядати пункт пропуску на територіальній границі Україна-Польща «Володимир-Волинський – Хрубешув». Інтерактивна мапа пунктів пропуску наведена на рис. 2.1.

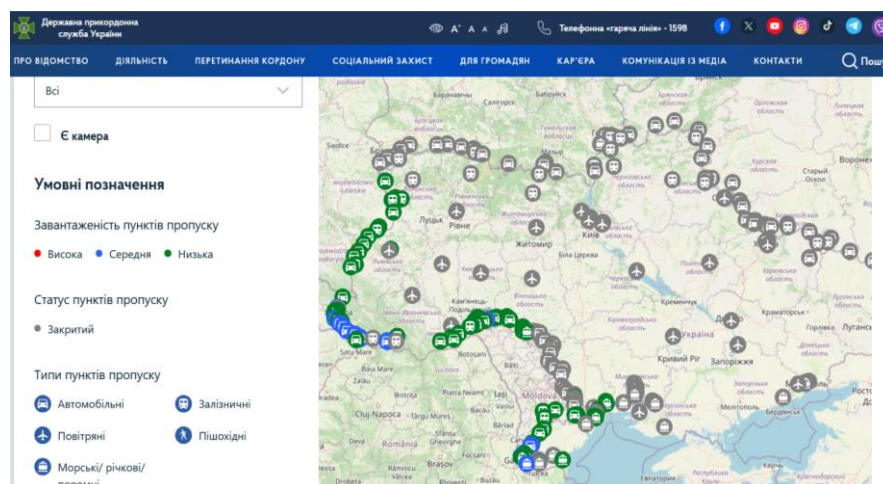


Рисунок 2.1 – Мапа пунктів пропуску через державний кордон

Імпортування здійснюється за допомогою чотирьохосної цистерни моделі 15-1548-02 з вантажопід'ємністю - 60т. Перекачування небезпечних наливних вантажів здійснюється за допомогою пересувної вакуумної насосної установки ПВНУ, схема якої наведена на графічному листі №2.

Технічні характеристики ПВНУ:

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1. Час зливу 60 т ортофосфорної кислоти – 15-17 хв;
2. Час на з'єднання та роз'єднання вимотуючої поліетиленової труби до вхідного трубопроводу ПВНУ – не більше 5 хв;
3. ПВНУ забезпечує неперервне перекачування кислоти з однієї залізничної цистерни;
4. Напруження постачання – 220/380 В;
5. Частота струму – 50 Гц;
6. Максимальний струм споживання при роботі ПВНУ – 100,5 А;
7. Кількість споживаної технічної води – 240 л на повний цикл роботи;
8. Допустимі природні умови для роботи установки: температура навколишнього середовища: від мінус 40 град Цельсія до плюс 40 град Цельсія; відносна вологість повітря: до 80% при температурі плюс 20 град Цельсія; швидкість вітру до 10 м / сек.

Перекачування фосфорної кислоти здійснюється у кислотовози (автоцистерни) моделі ППЦК 17КС-22 ВРВ УСТ 94651. Загальна схема автоцистерни наведена на графічному листі №3. Технологія виробництва цистерни забезпечує цілісність її конструкції, оберігає від появи тріщин. Цистерна з склопластику з армовано-шаруватою структурою відрізняється підвищеною стійкістю до вібрацій.

Вся імпортована кислота в першу чергу направляється на два найбільших склади для тимчасового збереження наливних небезпечних вантажів. Час на збереження небезпечних наливних вантажів обмежений та складає 2 місяці. Тобто імпорт ортофосфорної кислоти в Україну здійснюється кожні 60 днів. Склад «Protecto» - Кіровоградська область, с. Долинське. Склад «FreeWay»- Житомирська область, с. Коротень. Зі складів тимчасового зберігання ортофосфорна кислота постачається підприємствам – споживачам, які використовують цей вантаж для виробництва мінеральних добрив.

Перелік підприємств-споживачів:

1. УкрАгро НПК (Київська область, вул. Мечнікова 2);

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

2. ПАО «Одеський припортовий завод» (м. Южний, Одеська область, вул. Заводська 3);
3. «Дніпроазот» (м. Кам'янське, Дніпровська область, вул. Горобця 1);
4. «УкрАгроХімХолдинг» (м. Київ, Київська область, вул. Чапаєва 12 Б);
5. «Сумихімпром» (м. Суми, вул. Харьковська 12);
6. ТОВ «Укртехнофос» (м. Рівне, вул. Соборна 370 В);
7. «Хімдівізіон» (м. Кам'янське, Дніпровська область, вул. С. Х. Горобця, 1);
8. ТОВ «Інфоазот» (м. Черкаси, Черкаська область, с. Лисянка);
9. ТОВ «Агрохімпарк» (Рівненська область, с. Квасилов).

Перевезення ортофосфорної кислоти до підприємств-споживачів може відбуватися за двома транспортно-логістичними схемами: кільцевою та послідовною. В першому випадку кислотовоз здійснює перевезення між підприємствами один за одним, не заїжджаючи між підприємствами на склад. У другому випадку кислотовоз здійснює перевезення послідовно від складу до кожного наступного підприємства, заїжджаючи на склад після кожної їздки.

Головна задача КРБ полягає у розв'язанні транспортної задачі шляхом знаходження оптимального маршруту перевезення ортофосфорної кислоти зі складів тимчасового зберігання до підприємств-споживачів. Загальні схеми перевезення фосфорної кислоти наведені у графічному листі №3.

Змістовно транспортна задача полягає у відшуванні найбільш дешевого плану перевезень деякого однорідного продукту з пунктів із заданими запасами цього продукту до пунктів з відомими потребами. За умови, що перевезення продукту можливе з кожного пункту зберігання у кожний пункт призначення та відома вартість перевезення одиниці продукту за кожним таким маршрутом.

2.2 Обсяги використання ортофосфорної кислоти на підприємствах

Загалом використання ортофосфорної кислоти в Україні щорічно нараховує близько 140 тис. тон. Обрані в кваліфікаційної роботі бакалавра

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

найвідоміші підприємства споживають кислоту в різних об'ємах. Аналізуючи попит таких підприємств на рік, можна зрозуміти відносний попит кожного споживача щомісячно.

Тож потреби кожного з підприємств – споживачів на місяць складають:

1. «УкрАгро НПК» - 10.825 л/міс;
2. ПАО «Одеський припортовий завод» - 6.711 л/міс;
3. «Дніпроазот» - 8.118 л/міс;
4. «УкрАгроХімХолдинг» - 7.279 л/міс;
5. «Хімдівізіон» - 6.919 л/міс;
6. «Сумихімпром» - 9.989 л/міс;
7. ТОВ «Укртехнофос» - 5.949 л/міс;
8. ТОВ «Інфоазот» - 8.291 л/міс;
9. ТОВ «Агрохімпак» - 9.653 л/міс.

Для неперервної роботи виробництва, кислота потраплятиме на підприємство щомісяця.

2.3 Математична модель транспортної задачі перевезення та метода її аналітичного розв'язання

Постановка задачі. Розглянемо **транспортну задачу** в якості критерію оптимальності якої взято мінімальну вартість перевезення. Позначимо через C_{ij} – тарифи на перевезення одиниці товару (в нашому випадку – однієї машини) з i -го пункту відправлення в j -й пункт призначення. Через a_i – запаси товару в i -му пункті відправлення; b_j – потреби в товарі у j -му пункті призначення. Через X_{ij} – кількість товару, який потрібно перевезти з i -го пункту відправлення в j -й пункт призначення.

Математична модель транспортної задачі має наступний вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * X_{ij} \quad (\min; \quad (2.1)$$

За обмежень:

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$\sum_{j=1}^n [X_{ij} = a_i (i = \overline{1, m})]; \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^m [X_{ij} = b_j (j = \overline{1, n})]; \quad (2.3)$$

$$X_{ij} \geq 0 (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (2.4)$$

Вважається, що загальний запас вантажу на всіх пунктах відправлення дорівнює сумарної потреби вантажу на всіх пунктах призначення:

$$\sum_{i=1}^{nm} a_i = \sum_{j=1}^n b_j; \quad (2.5)$$

Потрібно скласти такий план перевезень, при якому загальна вартість усіх перевезень виявиться мінімальною. Зведемо всі дані в табл. 2.1 та складемо матрицю даних.

Таблиця 2.1 - Загальна матриця даних

Пункти призн.	B_1	B_2	...	B_j	...	B_n	Запаси
Пункти відпр.							
A_1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1j}	...	C_{1n}	a_1
...	...	...	...	...	...	...	...
A_i	C_{i1}	C_{i2}	...	C_{ij}	...	C_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...	...
A_m	C_{m1}	C_{m2}	...	C_{mj}	...	C_{mn}	a_m
Потреби	b_1	b_2	...	b_j	...	b_n	$\sum b_j = \sum a_i$

Метода аналітичного розв'язання задачі.

Кількість вантажу, що планується до перевезення в пункти B_j з усіх пунктів відправлення, дорівнює:

$$X_{1j} + X_{2j} + \dots + X_{mj} = \sum_{i=1}^m X_{ij}, \quad 1 \leq j \leq n; \quad (2.6)$$

Оскільки потреба в вантажі пункту призначення B_j складає b_j одиниць, повинно бути виконано рівняння:

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис					
			Дата					

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, \quad 1 \leq j \leq n; \quad (2.7)$$

В розгорнутому вигляді останнє рівняння являє собою систему n лінійних рівнянь з m невідомими:

[illegible]

З іншого боку, загальна кількість вантажу, відправленого з пункту A_i в усі пункти B_j , складає суму:

$$X_{i1} + X_{i2} + \cdots + X_{in} = \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, \quad 1 \leq i \leq m \quad (2.9)$$

Таким чином, аналогічно системі (2.8) отримаємо систему з m лінійних рівнянь з n невідомими:

[illegible]

Отримані системи рівнянь (2.8) і (2.10) об'єднаємо і напишемо у вигляді системи з $n+m$ невідомими:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, & 1 \leq j \leq n, \\ \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, & 1 \leq i \leq m, \end{cases} \quad (2.11)$$

Якщо величини X_{ij} звести до таблиці (табл. 2), то отримаємо матрицю перевезень, в якій співвідношення (2.11) легко перевіряються: сума елементів X_{ij} , розташованих в i -й строчці дорівнює запасу a_i на пункті A_i ; сума елементів X_{ij} зі стовпчика j дорівнює потребі b_j пункту B_j .

З умови задачі розуміємо, що функція F усіх перевезень дорівнює сумі:

$$F = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{ij}X_{ij} + \dots + C_{mn}X_{mn} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}X_{ij}; \quad (2.12)$$

Оскільки вартість F повинна бути мінімальна, то переходимо до наступної задачі лінійного програмування: серед всіх невід’ємних рішень

Виконав		Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.				26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи рівнянь (2.11) знайти таке, при якому функція F досягає найменшого значення.

Таблиця 2.2 - Матриця перевезень

Пунктипризн. Пунктивідпр.	B_1	B_2	...	B_j	...	B_n	Запаси
A_1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	...	C_{1j} X_{1j}	...	C_{1n} X_{1n}	a_1
A_2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	...	C_{2j} X_{2j}	...	C_{2n} X_{2n}	a_2
...	...	...	...	...	...	...	...
A_i	C_{i1} X_{i1}	C_{i2} X_{i2}	...	C_{ij} X_{ij}	...	C_{in} X_{in}	a_i
...	...	...	...	...	...	...	...
A_m	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	...	C_{mj} X_{mj}	...	C_{mn} X_{mn}	a_m
Потреби	b_1	b_2	...	b_j	...	b_n	$\sum b_j = \sum a_i$

Попередньо розрахуємо потрібний для подальшого ранг r системи рівнянь (2.11). Число рівнянь в цій системі дорівнює $m+n$, а число невідомих в ній $m * n$. Якщо скласти всі рівняння системи (2.8), то отримаємо в лівій частині суму всіх невідомих X_{ij} , а в правій частині – суму всіх потреб b_j вантажу на підприємствах B_j , тобто:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m X_{ij} = \sum_{j=1}^n b_j; \quad (2.13)$$

Якщо далі скласти всі рівняння (2.10), то отримаємо рівність:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} = \sum_{i=1}^m a_i; \quad (2.14)$$

Останнє співвідношення тотожно попередньому, оскільки виконується умова (2.5). Це означає, що між рівняннями системи рівнянь (2.11) існує лінійна залежність. Тому ранг r системи рівнянь (2.11) не перевищує $m + n - 1$.

Покажемо, що ранг системи рівнянь (2.11) точно дорівнює $m + n - 1$ ($r = m + n - 1$). З лінійної алгебри відомо, що для цього достатньо вказати такі $m + n - 1$ невідомих, які за допомогою рівнянь системи (2.11) виражаються через останні $m * n - (m + n - 1)$ невідомих. В якості таких $m + n - 1$ невідомих, що виражені через останні, візьмемо невідомі:

$$X_{11}, X_{12}, X_{13}, \dots, X_{1n}, \quad X_{21}, X_{31}, \dots, X_{m1}; \quad (2.15)$$

Тобто якщо оберемо $m + n - 1$ невідомих, що знаходяться в першій строчці (n невідомих) і в першому стовпчику ($m - 1$ невідоме) матриці перевезень (табл. 2.2). Таких невідомих як раз $m + n - 1$. Далі з другого рівняння системи (2.8) виразимо невідому величину X_{12} :

$$X_{12} = b_2 - X_{22} - X_{32} - \dots - X_{m2}; \quad (2.16)$$

Використовуючи останні рівняння системи (2.8), знайдемо вирази невідомих X_{1j} ($j=2,3,\dots,n$):

$$X_{1j} = b_j - X_{2j} - X_{3j} - \dots - X_{mj} (i = 2,3, \dots, n); \quad (2.17)$$

Аналогічно, використовуючи всі рівняння системи (2.10), окрім першого, знаходимо вираз для X_{i2} ($i=2,3,\dots,m$):

$$X_{i1} = a_i - X_{i2} - X_{i3} - \dots - X_{in} (i = 2,3, \dots, m); \quad (2.18)$$

Для того, щоб виразити X_{11} , використовуємо перше рівняння системи (2.8), підставивши в нього знайдені вирази для X_{j1} ($i=2,3,\dots,m$) з формул (2.18).

Тоді:

$$X_{11} = b_1 - X_{21} - X_{31} - \dots - X_{m1} = b_1 - (a_2 - X_{22} - X_{23} - \dots - X_{2n}) - (a_3 - X_{32} - X_{33} - \dots - X_{3n}) - \dots -$$

Таким чином, фактично виражені обрані $m + n - 1$ невідомих через останні $m * n - (m + n - 1)$ невідомих. Це означає, що ранг системи рівнянь (2.11) $r = m + n - 1$, що і стверджувалось.

Відомо, що якщо ранг системи рівнянь менше числа невідомих, то система рівнянь має множину рішень. В цій множині і варто шукати мінімальне значення функції F всіх перевезень.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Для спрощення в якості базисних невідомих обрані X_{il} ($i=2,3,\dots,m$), та X_{ij} ($j=2,3,\dots,n$) (всього $m + n - 1$ невідомих). Останні $m * n - (m + n - 1)$ невідомих називаються вільними.

Розв'язок транспортної задачі зводиться до пошуку допустимого базисного розв'язку (опорного плану для транспортної задачі) і наближенню опорного плану до оптимального рішення побудовою послідовних ітерацій.

2.4 Розв'язок транспортної задачі методом найменшої вартості

У відповідності до наведеної вище методи розв'язання задачі та початкових даних отримаємо задану матрицю даних у табл.2.3.

Таблиця 2.3 Задана матриця даних

Пункти призн.	B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси
Пункти відпр.					
A_1	2	3	2	4	30
A_2	3	2	5	1	40
A_3	4	3	2	6	20
Потреби	20	30	30	10	90

Метода розв'язання задачі.

Побудова плану за методом найменшої вартості полягає у виборі пунктів призначення на кожному кроці, орієнтуючись на вартість перевезень. А саме, на кожному кроці слід вибирати клітку, що відповідає мінімальній вартості перевезень, і розглядати пункти призначення, які відповідають обраної клітці.

Розглянемо побудову опорного плану за методом найменшої вартості на прикладі транспортної задачі, заданої матрицею даних в табл. 2.3. Найменша вартість дорівнює одиниці $C_{24} = 1$. Тому припускаємо $X_{24} = 10$. Вносимо значення $X_{24} = 10$ у відповідну комірку таблиці, та стовпчик B_4 виключаємо з перегляду. При цьому запаси в пункті відправлення A_2 скорочуються до величини $40 - 10 = 30$. Тепер мінімальна з залишених вартостей в строчці A_2 та

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

в стовпчику B_2 дорівнює двом, і потреби пункту B_2 , можна цілком задовольнити за рахунок запасів пункту відправлення A_2 : $X_{22} = 30$. Строчку A_2 і стовпчик B_2 з розгляду виключаємо.

Мінімальна вартість як і раніше дорівнює двом. Обираємо відповідні такій вартості комірки, що відповідають пунктам A_1 і B_1 . Потреби пункту призначення B_1 можна задовольнити із запасів пункту відправлення A_1 : $X_{11} = 20$. При цьому стовпець B_1 виключаємо з розгляду. Запаси пункту відправлення A_1 скорочуються до $30 - 20 = 10$. Ці запаси направляємо в пункт призначення B_3 : $X_{13} = 10$. Останньою заповнюємо клітку $X_{33} = 20$ із запасів пункту відправлення A_3 ($a_3 = 20$). Знайдені значення невідомих занесемо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Знайдені значення невідомих в якості прикладу

Пункти призн. Пункти відпр.	B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси
A_1	2 20	3 0	2 10	4	30
A_2	3	2 30	5	1 10	40
A_3	4	3	2 20	6	20
Потреби	20	30	30	10	90

Число базисних невідомих в даній транспортної задачі $r = 6$. Число заповнених клітин в п'ятій таблиці дорівнює п'яти. Тому в якості базисної змінної можна взяти будь-яку з вільних змінних, наприклад, змінну $X_{13} = 0$, так як клітина, відповідна змінної x_{13} , має одну з найменших вартостей: $C_{13} = 3$.

Підрахуємо загальну вартість перевезень за складеними опорним планам за методом найменшої вартості.

З таблиці 2.4 визначаємо загальну вартість перевезення:

$$F_0 = 2 * 20 + 2 * 0 + 2 * 10 + 2 * 30 + 1 * 10 + 2 * 20 = 170. \quad (2.20)$$

Тому загальна вартість перевезень за планом, розрахованим за методом найменшої вартості, значно менша, ніж загальна вартість, розраховану за планом, складеним діагональним методом: $170 < 290$.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

2.5 Незбалансована транспортна задача

Зазвичай в постановці задачі сума виробництва більше суми споживання. Для вирішення незамкнених задач, а також для простоти отримання початкового базисного плану використовується метод штучного базису. Для цього вихідний граф розширюється, вводиться «фіктивне підприємство» - додатковий пункт, на який перевозиться все зайве виробництво за нульову ціну.

Якщо ввести дуги зі звалища в пункти споживання з дуже високою ціною, початкове рішення будуватиметься тривіальне - все виробництво веземо на фіктивне підприємство, все споживання – з нього.

Дуги на фіктивне підприємство від пунктів виробництва відповідають додатковим перемінної в симплекс-методі, а дуги з фіктивного підприємства до пунктів споживання відповідають штучним змінним.

Розглянемо транспортну задачу, для якої порушено умову (2.5). Така задача називається транспортною задачею з неправильним балансом (на відміну від задачі з правильним балансом, для якої балансна умова (2.5) виконана). Нехай, наприклад, замість умови (2.5) виконується умова:

$$\sum_{i=1}^{nm} a_i > \sum_{j=1}^n b_j; \quad (2.21)$$

Умова (2.21) означає, що загальні запаси вантажу в пунктах відправлення перевищують потреби у вантажі в пунктах призначення.

Потрібно скласти такий план перевезень, при якому потреби у вантажі будуть задоволені в усіх пунктах призначення, причому загальна вартість перевезень буде мінімальною.

Зрозуміло, що за умови (2.21) всі запаси вантажу в пунктах відправлення вивести не вдасться. Нижче показано, що розглянута задача зводиться до транспортної задачі з правильним балансом.

Нехай виконана умова (2.21). Введемо фіктивний пункт призначення B_{n+1} , потреби b_{n+1} в вантажі для якого покладемо рівними

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j; \quad (2.22)$$

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Вартість $C_{i, n+1}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) перевезень в фіктивні пункти призначення приймаємо рівними нулю. Очевидно, що для приведеної транспортної задачі, яка виникла, виявиться вже виконана умова (2.5):

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j + b_{n+1}; \quad (2.23)$$

Переконаємося, що розв'язок наведеної транспортної задачі є дійсним рішенням вихідної задачі з неправильним балансом.

Справді, будь-яке рішення наведеної задачі можна тлумачити як рішення вихідної транспортної задачі з неправильним балансом з тією ж самою загальною вартістю перевезень. А саме, вантажі, які повинні бути перевезені в пункт призначення B_{n+1} , слід залишати в пунктах відправлення. Назад, всяке рішення вихідної задачі можна інтерпретувати і як рішення наведеної задачі з тією ж загальною вартістю перевезень: слід вважати, що залишилися в пунктах відправлення вантажі перевезені в пункт B_{n+1} . Тому оптимальний план перевезень для наведеної задачі дає оптимальний план перевезень для транспортної задачі з неправильним балансом.

2.6 Модель Уїлсона, як метод знаходження оптимального запасу

При розробці бюджету закупівлі матеріалів, знаючи потреби в їх кількості для підтримки неперервного процесу виробництва, можуть застосовуватися економіко-математичні моделі, які дозволяють оптимізувати об'єм і графік закупівлі матеріалів.

Одним з найпоширеніших є «Модель економічно обґрунтованого розміру запасу».

Економічний розмір заказу – модель, яка визначає оптимальний об'єм товару, що замовляють, який дозволяє мінімізувати загальні змінні утримки, що пов'язані з заказом та зберіганням товару.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Оптимальний рівень запасу – це такий рівень запасу, який повинен забезпечити присутність товару під існуючий попит до наступної поставки продукції, та повинен обмежувати надлишок товару на складі.

Оптимальний рівень запасу розраховується наступним чином:

$$Q_w = \sqrt{\frac{2 * K * Y}{S}}; \quad (2.24)$$

Q_w – оптимальний розмір замовлення;

K – витрати на перевезення;

S – витрати на зберігання вантажу за певний період;

Y – попит, потреба споживання запасу.

Цикли зміни рівня запасу в моделі Уїлсона графічно представлені на рис.

2.1. Максимальна кількість продукції, яка знаходиться в запасі, збігається з розміром замовлення Q .

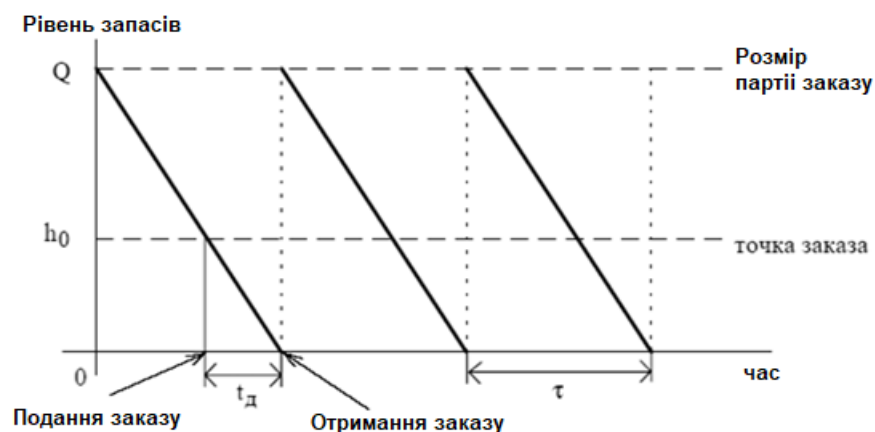


Рисунок 2.1 - Графік циклічної зміни рівня запасу в моделі Уїлсона

Загальний розрахунок оптимального запасу за допомогою наведених двадцяти випадкових значень, проведений в розрахунковій частині бакалаврської роботи. Графік циклічної зміни рівня запасу на складі в моделі Уїлсона за допомогою випадкових величин наведено у додатку А.

Зображення графічної циклічної зміни рівня запасу здійснено за допомогою знаходження випадкових величин заданих параметрів через додаток Microsoft Excel.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Всі випадкові величини були розраховані в інтервалі 5 – 10% від реальних. Використовуючи отримані значення випадкових величин оптимального розміру заказу, графічно зображено циклічну зміну рівня запасів на складі тимчасового зберігання (рис. 2.1).

Таким чином, аналізуючи отриманий графік розуміємо, що лінія тренду показує в який період часу після отримання та використання запасів зі складу, потрібне нове постачання цих запасів на склад новою доставкою для того, щоб забезпечити неперервне виробництво на підприємстві та уникнути надлишку чи переповнення товару на складі.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

3 РОЗРАХУНКИ ЗАГАЛЬНОГО КІЛОМЕТРАЖУ, ВИТРАТ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПО УКРАЇНІ, ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ЗАПАСУ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ МЕТОДОМ НАЙМЕНШОЇ ВАРТОСТІ

3.1 Розрахунок загального кілометражу та вартості перевезень вантажу по Україні

Об'єктом дослідження в КРБ є оптимальний план перевезення ортофосфорної кислоти по Україні з місць тимчасового зберігання вантажу до місць споживання кислоти. Загальна відстань, яку необхідно подолати на перевезення з обох складів до кожного підприємства – споживача за послідовним типом перевезення має такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{19} = a_i; \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{29} = b_j; \quad (3.2)$$

Фактичний кілометраж, який необхідно подолати для перевезення с першого та другого складу до кожного з дев'яти підприємств – споживачів за послідовним типом перевезення дорівнює:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 413 + 413 + 122 + 375 + 123 + 389 + 701 + 289 + 704 = 3529 \text{ км};$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 164 + 642 + 613 + 162 + 614 + 495 + 197 + 311 + 201 = 3399 \text{ км};$$

Загальна вартість перевезення з першого та другого складу тимчасового зберігання до дев'яти підприємств – споживачів розраховуємо за формулою (2.12):

$$\sum_{i=1}^m C_{ij} X_{ij} = 8239,35 + 8239,35 + 3101,24 + 7481,25 + 3126,66 + 7760,55 + 13984,95 + 5765,55 + 14$$

$$\sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} = 4168,88 + 12807,9 + 12229,35 + 4118,04 + 12249,3 + 9875,25 + 5007,74 + 6204,45 + 4$$

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Загальний об'єм фосфорної кислоти, що планується до перевезення по Україні з усіх пунктів відправлення до всіх пунктів споживання розрахуємо за формулою (2.6):

$$\sum_{i=1}^{mn} X_{ij} = 10825 + 6711 + 8118 + 7279 + 6919 + 9989 + 5949 + 8291 + 9653 = 82968 \text{ л.}$$

Вартість одного місяця зберігання фосфорної кислоти на складі є постійною і складає 360 тис. грн. Оскільки два склади візьмуть на зберігання кислоту протягом двох місяців, вартість зберігання одного складу становитиме 720 тис. грн.

3.2 Розрахунок оптимального рівня запасу на складах тимчасового зберігання

За допомогою економіко – математичної моделі Уїлсона, розрахуємо оптимальний запас на кожному із складів тимчасового зберігання за формулою (2.24), щоб уникнути надлишку вантажу на складі та забезпечити присутність товару під весь існуючий попит на період два місяці.

$$Q_{w1} = \sqrt{\frac{2 * 71743,7 * 82968}{720000}} = 128.590 \text{ л;}$$

$$Q_{w2} = \sqrt{\frac{2 * 70670,86 * 82968}{720000}} = 127.622 \text{ л;}$$

Зобразимо графічно циклічну зміну рівня запасу за допомогою знаходження випадкових величин заданих параметрів табл. 3.1 через додаток Microsoft Excel.

Випадкові величини потрібного інтервалу в додатку Microsoft Excel знаходимо за допомогою оператора =СЛЧИС()*(ВГ-НГ)+НГ, де

ВГ – верхня границя інтервалу;

НГ – нижня границя інтервалу.

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 3.1- Випадкові величини заданих параметрів в потрібному інтервалі

Витрати на перевезення	Витрати на зберігання товару	Попит, потреба споживання запасу	Оптимальний розмір заказу
K	S	Y	Q _w
70185,41	745773,62	81034,81	123,501
67544,73	758924,42	83863,89	122,180
70238,14	706519,43	78976,16	125,311
69167,03	701356,60	82865,76	127,845
72990,84	694339,89	78047,82	128,098
72300,20	696162,51	78104,39	127,370
67264,51	701331,98	80844,95	124,530
71856,43	747323,73	79202,90	123,414
70114,97	749401,44	79678,19	122,105
67967,41	738753,10	82835,61	123,459
72550,64	708502,51	79451,37	127,560
68480,79	715962,36	81363,69	124,758
71352,74	739281,91	81235,20	125,224
67081,58	754165,20	77883,93	117,708
73827,69	692539,35	80473,93	130,988
67224,16	730783,53	83499,22	123,944
67171,99	690755,77	77883,92	123,075
73476,19	731744,93	78033,78	125,184
71630,36	748280,14	81525,14	124,933
69290,48	734875,45	82867,21	125,008

Графік циклічної зміни рівня запасу враховуючи зміну випадкових величин, наведений у додатку А.

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3.3 Розв'язок транспортної задачі методом найменшої вартості

Таким чином ми розрахували всі необхідні параметри для побудови початкової матриці даних табл. 3.2 та складання першого опорного плану. Для вирішення транспортної задачі скористаємося додатком Microsoft Excel та проаналізуємо результати розрахунку. Потенціали табл. 3.2 знайдені шляхом відсоткового відношення перевезення.

Таблиця 3.2. Початкова матриця даних транспортної задачі

Пункти призн. Пункти відпр.	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>	<i>B4</i>	<i>B5</i>	<i>B6</i>	<i>B7</i>	<i>B8</i>	<i>B9</i>	Запас и
<i>A1</i>	4	4	1	4	1	4	7	3	7	12859 0
<i>A2</i>	1	6	6	2	6	5	2	3	2	12762 2
Потреби	1082 5	671 1	811 8	727 9	691 9	998 9	594 9	8291	9653	$\sum b_j < \sum a_i$

З табл. 3.2 можна побачити, що загальна кількість запасів більше ніж загальна кількість потреб підприємств. Отже маємо незбалансовану задачу відкритого типу. Для подальшого розв'язку транспортної задачі будуємо нову таблицю матриці даних та вводимо *фіктивне підприємство*, куди буде перевозитися частина запасі за дня того, щоб прирівняти обидві частини та виконати умову (5) транспортної задачі.

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 3.3 - Матриця даних з фіктивним підприємством

Пункти призн. Пункти відпр.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	Запаси
A1	4	4	1	4	1	4	7	3	7	0	128590
A2	1	6	6	2	6	5	2	3	2	0	127622
Потреби	1082 5	671 1	811 8	727 9	691 9	998 9	594 9	829 1	965 3	18247 8	$\sum b_j =$ $\sum a_i$

Загальний запас вантажу на всіх складах пунктів відправлення дорівнює сумарній потребі вантажу на всіх пунктах призначення – задачу збалансовано.

Побудувавши матрицю даних з фіктивним підприємством рис.3.1, можемо переходити до другої таблиці, яка після обчислень опорного плану виведе цільову функцію транспортної задачі, що знаходиться у комірці ОЗ.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	2 склада	споживачів		г/с	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478	256212	73734
2	128590	10825		128590	4	4	1	4	1	4	7	3	7	0		
3	127622	6711		127622	1	6	6	2	6	5	2	3	2	0	0	
4		8118		256212												
5		7279													0	128590
6		6919													0	127622
7		9989			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8		5949			10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478		
9		8291														
10		9653														
11		90276														
12																
13																

Рисунок 3.1 - Матриця даних з фіктивним підприємством та побудована нова таблиця для знаходження цільової функції

Де комірки E8:N8 – це обмеження по потребах, яких фінальні значення не повинні будуть перевищувати. А комірки O5:O6 – відповідно обмеження запасів кожного із складів.

Під таблицею цільової функції в комірці E7 прописуємо формулу =СУММ(E5:E6) та протягуємо її до комірки N7 включно. В клітинку O5 введемо формулу аналогічну потребам: =СУММ(E5:N5) та протягнемо до O6.

Виділяємо потрібні нам комірки E5:N6 та обираємо «Поиск решений» (рис.3.2.)

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис					
			Дата					

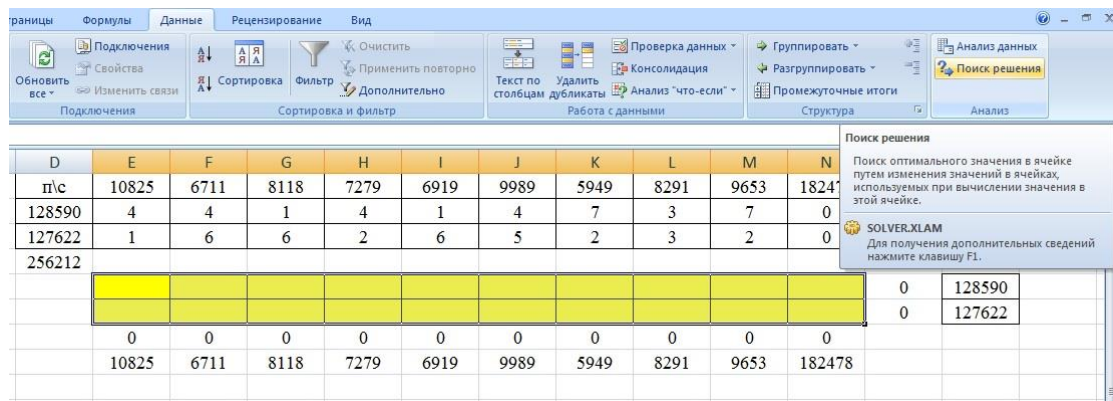


Рисунок 3.2. Виділена область матриці та вибір графі аналізу «Пошук рішень»

Цільова функція, що знаходиться в комірці О3, буде обрана в графі «Цільова комірка» (рис.3.3). Оскільки транспортна задача вирішуватиметься методом найменшої вартості, у другій графі обираємо «Мінімальне значення» та переходимо до наступного пункту.

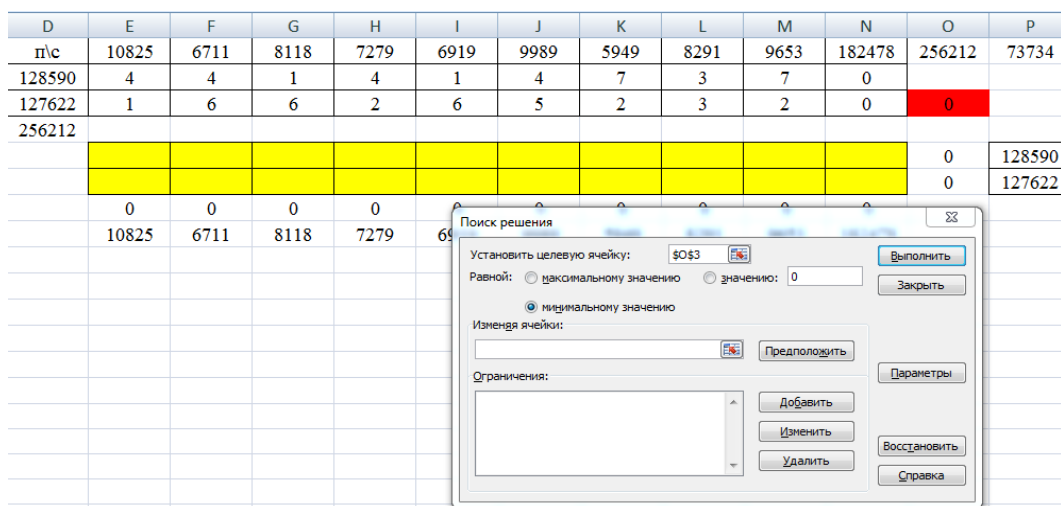


Рисунок 3.3. Команда «Пошук рішень» перший етап вибору цільової функції та методу розв'язку

В наступній графі «Изменяя ячейки» оберемо діапазон комірок, що був створений під нову матрицю чисел E5:N6 (рис.3.4).

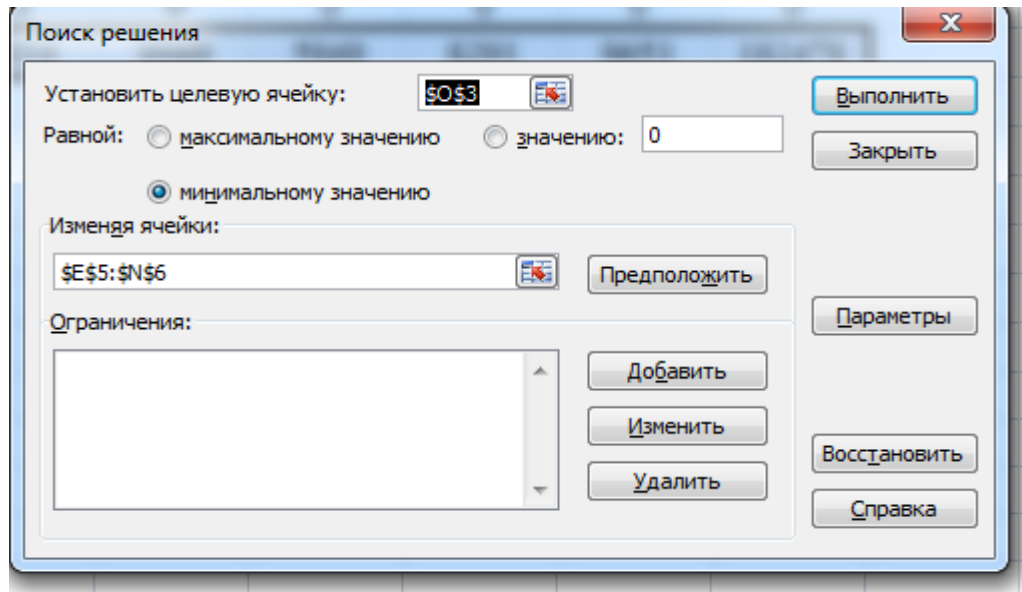


Рисунок 3.4. Обраний діапазон комірок, що буде змінюватись в результаті розв'язку задачі

В графі обмеження будуть знаходитися всі нульові комірки E7:N7, які в результаті обчислень не повинні перевищувати існуючі значення потреб комірок E8:N8, то обираємо обмеження $E7:N7 = E8:N8$, та зберігаємо дані (рис.3.5).

										0	128590
										0	127622
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478		

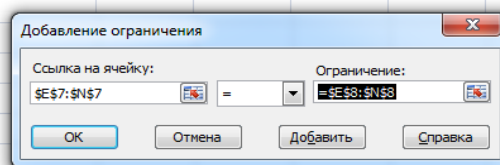


Рисунок 3.5. Вибір обмежень за існуючим попитом в графі аналізу «Пошук рішень»

Графа аналізу «Пошук рішень» тепер матиме наступний вигляд (рис.3.6)

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
п/с	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478	256212	73734
128590	4	4	1	4	1	4	7	3	7	0		
127622	1	6	6	2	6	5	2	3	2	0	0	
256212												
											0	128590
											0	127622
	0	0	0	0								
	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478		

Поиск решения

Установить целевую ячейку:

Равной: ☐ максимальному значению ☐ значению: ☐ минимальному значению

Изменяя ячейки:

Ограничения:

Действия: Выполнить, Закрыть, Параметры, Восстановить, Справка, Добавить, Изменить, Удалить, Предположить

Рисунок 3.6. Графа аналізу «Пошук рішень» після вибору першого обмеження матриці

Вводимо аналогічно обмеження за існуючими запасами складів (рис.3.7)

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
п/с	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478	256212	73734
128590	4	4	1	4	1	4	7	3	7	0		
127622	1	6	6	2	6	5	2	3	2	0	0	
256212												
											0	128590
											0	127622
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478		

Добавление ограничения

Ссылка на ячейку:

Ограничение:

Действия: ОК, Отмена, Добавить, Справка

Рисунок 3.7. Вибір обмежень за існуючими запасами системи

Для знаходження цільової функції та розв'язку транспортної задачі методом найменшої вартості введені всі дані, тож в графі «Пошук рішень» обираємо «Выполнить» (рис.3.8) та отримуємо результати розрахунків (рис.3.9)

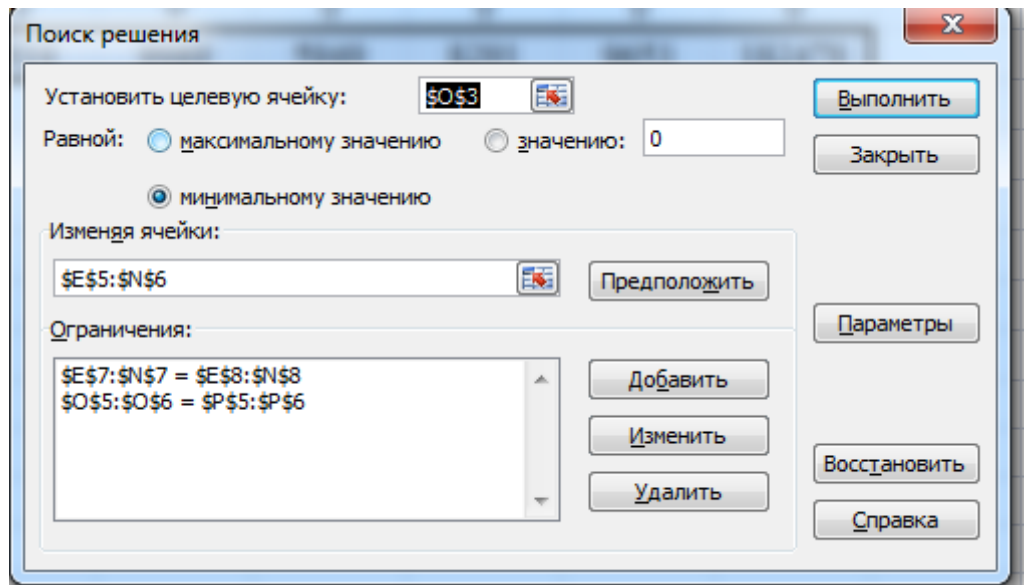


Рисунок 3.8. Скомплектована графа аналізу «Пошук рішень» для знаходження цільової функції

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
п/с	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478	256212	73734
128590	4	4	1	4	1	4	7	3	7	0		
127622	1	6	6	2	6	5	2	3	2	0	163297	
256212												
	0	6711	8118	0	6919	9989	0	4879,75	-7E-15	91973,2	128590	128590
	10825	-4,5E-08	0	7279	0	0	5949	3411,25	9653	90504,8	127622	127622
	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478		
	10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	182478		

Рисунок 3.9. Результати розрахунку та числове значення цільової функції

Аналізуючи рисунок 3.9 бачимо розрахунок оптимального маршруту перевезення фосфорної кислоти зі складів тимчасового зберігання до підприємств – споживачів. З першого складу перевезення здійснюватиметься до другого, третього, п'ятого, шостого та восьмого підприємства. З другого складу тимчасового зберігання перевезення здійснюватиметься в перше, четверте, сьоме, восьме та дев'яте підприємство.

За допомогою отриманих результатів розрахуємо загальний кілометраж та вартість перевезення однієї їздки за різними варіантами перевезення та оберемо найоптимальніший.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

За послідовним варіантом маршруту, загальний кілометраж перевезення з першого та другого складу до своїх підприємств – споживачів за формулами (2.25), (2.26) дорівнює:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 413 + 122 + 123 + 389 + 289 = 1336 \text{ км};$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 164 + 162 + 197 + 311 + 201 = 1035 \text{ км};$$

За кільцевим варіантом маршруту, загальний кілометраж перевезення з першого та другого складу, а далі по чергово до кожного наступного підприємства – споживача дорівнює:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 413 + 401 + 396 + 397 + 493 = 2100 \text{ км};$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 164 + 2,9 + 330 + 464 + 468 = 1428,9 \text{ км};$$

За результатами розрахунку розуміємо, що перевезення за послідовним варіантом вигідніше, ніж перевезення за кільцевим варіантом маршруту. Щоб переконатись в такому висновку, прорахуємо вартості перевезень за обома варіантами маршруту за формулою (2.12).

Вартість перевезення за послідовним варіантом маршруту:

$$\sum_{i=1}^m C_{ij}X_{ij} = 8239,35 + 3101,24 + 3126,66 + 7760,55 + 5765,55 = 27993,35 \text{ тис. грн};$$

$$\sum_{j=1}^n C_{ij}X_{ij} = 4168,88 + 4118,04 + 5007,74 + 6204,45 + 4009,95 = 23509,06 \text{ тис. грн}.$$

Відповідно, вартість перевезення за кільцевим варіантом маршруту дорівнюватиме:

$$\sum_{i=1}^m C_{ij}X_{ij} = 8239,35 + 7999,95 + 7900,2 + 7920,7 + 9835,35 = 41895,55 \text{ тис. грн};$$

$$\sum_{j=1}^n C_{ij}X_{ij} = 4168,88 + 166,14 + 6583,5 + 9256,8 + 9336,6 = 29511,95 \text{ тис. грн}.$$

Таким чином ми підтвердили той факт, що зі складів тимчасового зберігання до підприємств – споживачів найбільш вигідно здійснювати перевезення за послідовним варіантом маршруту.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис					
			Дата					

ВИСНОВКИ

За результатами першого розділу, можна зробити наступні висновки. Розвиток хімічної промисловості в Україні обумовлено природними, економічними та соціальними причинами. Сьогодні основні сили покладено на розвиток і виробництво мінеральних добрив. Підприємства хімічної промисловості розміщені, націлюючись на споживачів.

Імпорт небезпечних вантажів організується мультимодальним способом перевезення з найближчих до нас країн. Перевезення ортофосфорної кислоти здійснюється у вигляді 75-85 відсоткової суміші з водою, де маса ортофосфорної кислоти перевищує 73%.

Зберігання небезпечних вантажів в Україні, як і сама перевезення, вимагає також дотримання всіх норм і правил, передбачених законодавством України, де кожен з причетних до транспортування чи зберігання несе відповідальність за вантаж.

Склади тимчасового зберігання служать для підприємств – споживачів місцем використання певної кількості вантажу в певний період часу, що залежить повністю від працездатності підприємства, попиту на вантаж та об'єми виробництва.

Аналізуючи другий розділ КРБ робимо наступні висновки:

Перевезення ортофосфорної кислоти по Україні може здійснюватись за двома способами перевезення: кільцевим маршрутом та послідовним (радіальним) маршрутом. Тож перед нами стояла задача оптимального транспортування вантажу за критерієм мінімальної вартості, де головним було складання плану перевезень, при якому загальна вартість усіх перевезень виявиться мінімальною.

Транспортна задача має розв'язок тоді, коли вона являє собою замкнуту систему, де сума виробництва не більша суми споживання, та навпаки. В протилежному випадку для розв'язку такої задачі вводиться фіктивне

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

підприємство, куди за логікою такої задачі направляється весь вантаж, що не був використаний у пунктах споживання. Таким чином система отримує баланс між запасами та попитом.

За для оптимального вибору запасу ортофосфорної кислоти на складах тимчасового зберігання, сучасний логіст користується формулами моделі Уїлсона, що спирається на витрати на перевезення, витрати на зберігання вантажу за певний період часу та загальний попит на споживання вантажу.

Аналізуючи третій розділ бакалаврської роботи, можна зробити наступні висновки:

Оптимальний запас ортофосфорної кислоти забезпечує неперервну роботу виробництв – споживачів до наступного постачання вантажу на склади.

Знайшовши цільову функцію транспортної задачі та виведення оптимального плану перевезення кислоти з пунктів постачання до пунктів зберігання, можна зробити висновок, що за послідовним варіантом маршруту слідує і найменша вартість перевезення. Всі результати розрахунків наведені відповідно у розділах бакалаврської роботи. Відповідні графічні додатки подані у роботі окремими файлами.

Виконав		Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.				46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горев, А.Е. Вантажні автомобільні перевезення / А.Е. Горев. - М: Academia, 2004. - 288 с.
2. Савін, В. І. Перевезення вантажів автомобільним транспортом / В.І. Савін, Д.Л. Щур. - К.: Річ навіть і сервіс, 2007. - 544 с.
3. Андросюк В. Н. Небезпечні вантажі. Класифікація. Знаки небезпеки. Ідентифікація. Довідник. - К.: Маршрут, 2004. - 232 с.
4. Напер В. В., Тесленко І. О. Система транспортної класифікації небезпечних вантажів. - Н.: СГУПС, 2010. - 77 с.
5. Бочаров А. О. Безпека при перевезенні небезпечних вантажів автомобільним транспортом // Наука без кордонів. - 2016. - № 1. - С. 17-21.
6. Класи небезпеки (ADR) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://gruzpoisk.ua/faq/Klassy-opasnosti-ADR.html>.
7. Небезпечні вантажі [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.samtl.ua/useful/danger_cargo.
8. Про затвердження Правил дорожнього перевезення небезпечних вантажів МВС України; Наказ від 26.07.2004 № 822 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1040-04#Text>
9. Коваленко В. П., Пуляєв Н. Н., Коротких Ю. С. Оптимізація процесів перевезення рідких вантажів в АПК. - К.: ТОВ «НМЦ» Тріада », 2016. - 110 с.
10. Про перевезення небезпечних вантажів. Закон України від 06.04.2000 № 1644-III [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1644-14#Text>
11. Лазарєв, І.В. Шкідливі речовини в промисловості [Текст]: довідник для хіміків, інженерів і лікарів / І.В. Лазарєв; під ред. проф. І.В. Лазарева і докт. біол. наук І.Д. Гадаскіної. - 7-е изд., Том 3. - Львів: Хімія, 1979. - 810 с.
12. Модель оптимального розміру заказу [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doc4web.ua/ekonomika/model-optimalnogo-razmera-zakaza-model-uilsona.html>.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

13. Спеціалізовані цистерни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studopedia.su/2_91_spetsializirovannie-tsisterni.html.

14. Найпростіша модель Уїлсона: витрати, оптимальний розмір партії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/3072446/page:13/>.

15. Постановка транспортної задачі та її математична модель [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studopedia.su/12_53702_postanovka-transportnoi-zadachi-ta-ii-matematichna-model.html.

16. Ціни вантажоперевезень по Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.transportica.com/shipping/price/>.

17. Полуприцеп – цистерна ППЦК 17КС – 22 (BPW) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.uralst.ru/model.php?id=7832>.

18. Світовий ринок ортофосфорної кислоти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrchem.dp.ua/2012/04/05/mirovoj-rynok-fosfornoj-kisloty-2011-god.html/amp>.

19. Орлова, І.В. Економіко-математичні методи і моделі: комп'ютерне моделювання: Навчальний посібник. / І.В. Орлова, В.А. Половников. - К: Вузівський підручник, 2007. - 365 с.

20. Моїсєєв Н.Н., Іванов Ю.П., Столярова Е.М. Методи оптимізації. - К.: Навука, 2002. - 340 с.

21. Кузнецов А.В. та ін. Збірник завдань з вищої математики. Математичне програмування. - Мінськ: Виш.шк., 1995.-143 с.

22. Єфимова Г.О., Рудик О.Г. Методи оптимізації та дослідження операцій - Методичні вказівки. - Одеса. ОНУ, 2015.-48 с.

23. Якимова Л.П. Оптимізаційні методи та моделі : практикум в MS Excel : навч.-метод. посіб. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2022. 272 с.

24. Akimov, D. & Gavrilenko, Valeriy V.. (2024). Розв'язання транспортної задачі в умовах неоднорідності продукції агропромислових підприємств.

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ				Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.							48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис					
			Дата					

COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE,
PRODUCTION. 78-85. 10.36910/6775-2524-0560-2024-56-09.

25. Зінь Е.А. Управління автомобільним транспортом: Навч. посібник.
Рівне: НУВГП, 2011. 326 с.

26. Крикавський Є.В., Чернописька Н.В. Логістичні системи: Навч.
посібник. Львів: Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2009. 263 с.

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Циклічна зміна рівня запасу на складі за допомогою випадкових величин

Зобразимо графічно циклічну зміну рівня запасу за допомогою знаходження випадкових величин заданих параметрів табл. А.1 через додаток Microsoft Excel.

Випадкові величини потрібного інтервалу в додатку Microsoft Excel знаходимо за допомогою оператора $= \text{СЛЧИС}() * (\text{ВГ} - \text{НГ}) + \text{НГ}$,

де: ВГ – верхня границя інтервалу;

НГ – нижня границя інтервалу.

Таблиця А.1 - Випадкові величини заданих параметрів в потрібному інтервалі

Витрати на перевезення	Витрати на зберігання товару	Попит, потреба споживання запасу	Оптимальний розмір заказу
К	S	Υ	Q _w
70185,41	745773,62	81034,81	123,501
67544,73	758924,42	83863,89	122,180
70238,14	706519,43	78976,16	125,311
69167,03	701356,60	82865,76	127,845
72990,84	694339,89	78047,82	128,098
72300,20	696162,51	78104,39	127,370
67264,51	701331,98	80844,95	124,530
71856,43	747323,73	79202,90	123,414
70114,97	749401,44	79678,19	122,105
67967,41	738753,10	82835,61	123,459
72550,64	708502,51	79451,37	127,560
68480,79	715962,36	81363,69	124,758

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Витрати на перевезення	Витрати на зберігання товару	Попит, потреба споживання запасу	Оптимальний розмір заказу
К	S	Υ	Q _w
71352,74	739281,91	81235,20	125,224
67081,58	754165,20	77883,93	117,708
73827,69	692539,35	80473,93	130,988
67224,16	730783,53	83499,22	123,944
67171,99	690755,77	77883,92	123,075
73476,19	731744,93	78033,78	125,184
71630,36	748280,14	81525,14	124,933
69290,48	734875,45	82867,21	125,008

Всі випадкові величини були розраховані в інтервалі 5 – 10% від реальних. Використовуючи отримані значення випадкових величин оптимального розміру заказу, графічно зобразимо циклічну зміну рівня запасів на складі тимчасового зберігання (рис. А.1).



Рисунок А.1 – Циклічна зміна розміру заказу за допомогою випадкових величин

Виконав	Ходус С.А.			КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри	Разгонов С.А.				51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таким чином, аналізуючи отриманий графік розуміємо, що лінія тренду показує в який період часу після отримання та використання запасів кислоти зі складу, потрібне нове постачання цих запасів на склад новою доставкою для того, щоб забезпечити неперервне виробництво на підприємстві та уникнути надлишку чи переповнення товару на складі.

Виконав		Ходус С.А.				КРБ 275 46 ПЗ	Арк.
Перевіри		Разгонов С.А.					52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УНІВЕРСИТЕТ МИТНОЇ СПРАВИ ТА ФІНАНСІВ

ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему:

**«РОЗРОБКА ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ
ПЕРЕВЕЗЕННЯ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ»**

студентки групи Т21-2
Ходус Софія Андріївна
Спеціальність 275 Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)

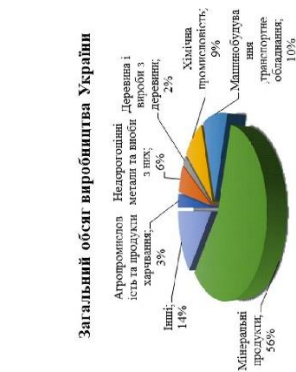
Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра:
кандидат технічних наук, доцент кафедри
транспортних технологій та міжнародної
логістики
Разгонов Сергій Адамович

(підпис)

Дніпро
2025

АНАЛІЗ СТАНУ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ТА ВИРОБНИЦТВА ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

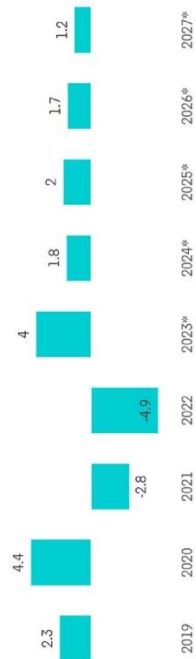
Обсяг світового ринку ортофосфорної кислоти



Підготовка тара ортофосфорної кислоти



NPK Fertilizer Consumption Change(%), Global, 2019 - 2027

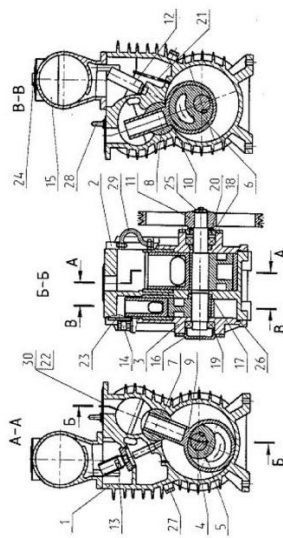


Source: International Fertilizer Association

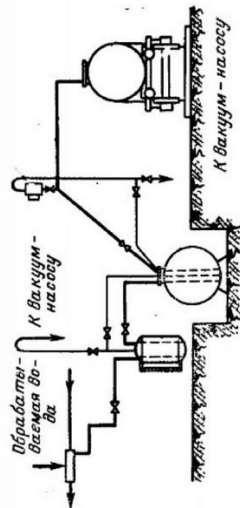
[illegible]

СХЕМИ ВАКУУМНОГО НАСОСУ В СИСТЕМІ ПВНУ ТА ПЕРЕКАЧУВАННЯ КИСЛОТИ

Загальна схема підключення ПВНУ та перекачування кислоти



- 1 – Карпус;
2, 2, 3 – Передня та задня кришки;
4 – Вал;
5, 6 – Екцентрики;
7, 8 – Напрямляючі;
9, 10 – Плушери;
11 – Маховик;
12, 13 – Клапани;
14 – Дозатор;
15 – Маслоділіювач;
16, 18 – Кришки;



- РОЗМІРИ І ВАГА
- Габаритні розміри ПВНУ:
- У гаражному положенні:
- довжина – 5,3 м;
- ширина – 2,2 м; висота – 5,95 м.
- У робочому положенні:
- довжина – 5,3 м;
- ширина – 4,7 м;
- висота – 5,8 м.
- Вага ПВНУ – 3750 кг.

[illegible]

СХЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ КИСЛОТИ

Схема чотирьохосної цистерни моделі 15-1548-02 для перевезення ортофосфорної кислоти

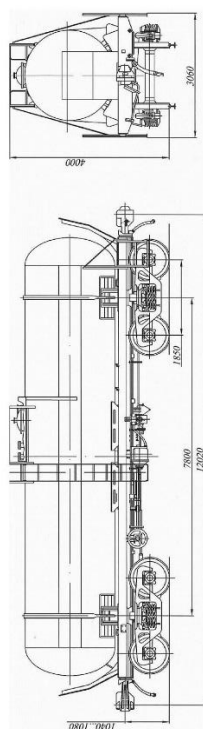
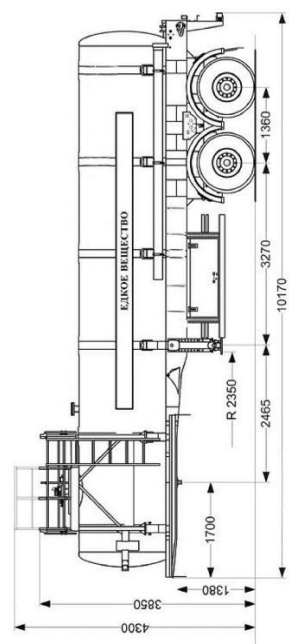


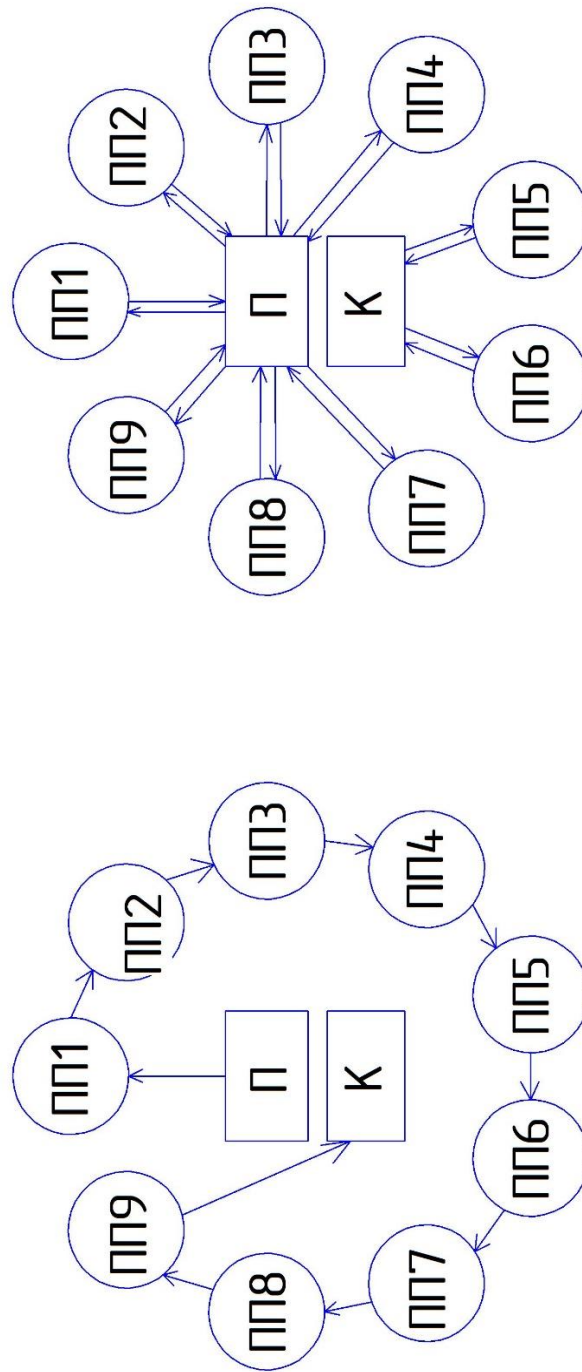
Схема автомобілів (кісловогоза) моделі ППЦК 17КС-22 ВРВ УСТ 94651



Параметры:

1. Маса спорядженого полу причету (цистерни) = 6900 кг;
2. Падна маса ППЦ – 27300 кг;
3. Подвійний об'єм цистерни – 19 куб. м;
4. Кількість секцій – 1

[illegible]



Умовні позначення
П – початок маршруту;
К – кінець маршруту;
ПП1 – ПП9 – пункти перо

[illegible]

Графічний лист №5

Розв'язок транспортної задачі методом найменшої вартості в середовищі Microsoft Excel

Початкова матриця даних транспортної задачі

Пункты продаж		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	Запасы
Пункты адроп.	A1	4	4	1	4	1	4	7	3	7	128590
	A2	1	6	6	2	6	5	2	3		127622
Покупатели		10825	6711	8118	7279	6919	9989	5949	8291	9653	286-266

Матриця даних з фіктивним підприємством

Пункты прил.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	Зачисл.
Пункты вступ.	4	4	1	4	1	4	7	3	7	0	128-900
<i>А1</i>											
<i>А2</i>	1	6	6	2	6	5	2	3	2	0	127-022
Торпел	10825	6711	8118	7279	6919	9089	5049	8291	9653	82478	<i>В10 - Зап</i>

Матриця даних з фактивним підприємством та подальша цільові функції

[illegible]

Скомплектowana графа аналізу «Пошук рішень» для знаходження цільової функції

Поскольку решение

Установить значение ячейки:	Значения Формулы
Ячейка: D5 или ☐ диапазонный значенно	Вставить Заменить
Имя диапазона: диапазон_значений	Диагностировать
Ограничения:	Диагностировать
$\$C\$7:\$H\$7 = \$I\$3:\$H\8 $\$E\$7:\$G\$7 = \$F\$3:\$F\6	Добавить Изменить Удалить
	Восстановить Справка

Результати розрахунків та числове значення цільової функції

[illegible][illegible]