

ДОБУЛЯК ЛЕСЯ

Львівський національний університет імені Івана Франка  
<https://orcid.org/0000-0001-8665-8783>  
e-mail: [lesia.dobuliak@lnu.edu.ua](mailto:lesia.dobuliak@lnu.edu.ua)

СОХАН ІГОР

Львівський національний університет імені Івана Франка  
<https://orcid.org/0009-0001-9225-3093>  
e-mail: [ihorsokhan82@gmail.com](mailto:ihorsokhan82@gmail.com)

ФУНДАК ЛЕСЯ

Львівський національний університет імені Івана Франка  
<https://orcid.org/0000-0001-5091-6971>  
e-mail: [lfundak@gmail.com](mailto:lfundak@gmail.com)

## ВЕБ-СЕРВІС ОПТИМІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ ПОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У роботі досліджено ефективність алгоритмів NFA, FFA, WFA, BFA для розв'язування задачі про упакування в контейнери, а також запропоновано власний SFA алгоритм ідея якого полягає в тому, щоб розбивати вантаж на кілька частин за умови, якщо він не поміщається в контейнер повністю. Розроблений веб-сервіс оптимізації вантажних перевезень з використанням запропонованих методів.

Ключові слова: перевезення, вантаж, упакування, оптимізація.

DOBULIAK LESIA, SOKHAN IHOR, FUNDAK LESIA  
Ivan Franko National University of Lviv

### WEB INTERFACE FOR OPTIMIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATIONS USING METHODS OF DECISION-MAKING IN CONDITIONS OF COMPLETE INFORMATION

Have you ever wondered how much it costs to transport a product that you see on the shelves of a store/supermarket every day? After all, any goods are transported by trucks, perhaps even not only within the borders of the country, but also abroad, and in order to be able to do this, companies use both small-sized trucks and large-sized ones to transport as many products as possible in one trip. And this is the right approach, because the fewer trips will be made, the lower will be the fuel costs embedded in any product. What if the truck carrying the goods was not completely full? Potentially, it would be possible to distribute the product in such a way as to fit as many units of the product as possible in one truck, so that the company does not incur some costs. However, this is not always easy to do. Small shops own a small number of minibuses, so they transport only the most necessary goods. However, for the "big players" this is a big problem. These are mostly supermarkets that have several branches in the city or even the country, accordingly, the goods need to be delivered not to one point, but to several. And here the question arises: how to transport goods to several points, while all the necessary goods for each branch in such a way as to reduce transportation costs. However, in addition to fuel, there are many other factors to consider, such as: the capacity of the truck, its carrying capacity, payment to drivers for their services, distance, etc. All these factors together create another problem: how to organize it all correctly so as not to get lost in unnecessary numbers, to concentrate on the main thing and to simplify this process as much as possible?

The best solution will be to develop a platform that will enable organizations to manage transportation and costs in such a way as to reduce them as much as possible through the correct distribution of goods and minimizing the number of trucks. In order to reduce costs due to the correct distribution of goods on trucks, optimization algorithms NFA, FFA, WFA, BFA were applied to solve the problem of packing into containers. A proprietary SFA algorithm is also proposed, the idea of which is to divide the cargo into several parts, provided that it does not fit completely into the container.

Keywords: transportation, cargo, packaging, optimization.

### Постановка проблеми

У сучасному світі вантажні перевезення стали одним із ключових способів перевезення товарів різного призначення. Це доволі зручний спосіб, оскільки існують як мікроавтобуси, так і великогабаритні вантажівки, в яких можна перевозити достатньо велику кількість продукції. Проте хоч цей спосіб і є зручним, у ньому є кілька мінусів, а саме:

1. Паливо. Оскільки вантажівки споживають доволі велику кількість різного роду палива, ціна на нього закладається в собівартість будь-якої продукції.
2. Послуги на перевезення. Оскільки вантажівки потребують водіїв, які у свою чергу отримують оплату за перевезення, у залежності від відстані перевезення, ця ціна теж закладається у собівартість продукції.
3. Баланс між вартістю продукції та витратами на перевезення. Якщо ціна на товар буде занадто висока, попит на нього впаде, відповідно, товар будуть менше закуповувати. З цього випливають менші прибутки й рано чи пізно виробляти та перевозити даний товар стає нерентабельно.

Вирішенням даної проблеми є застосування методів оптимізації, які дозволяють максимізувати кількість перевезеного товару при цьому мінімізуючи або оптимізуючи витрати на оплату водіям та витрати на паливо. Найбільш відомою оптимізаційною задачею даного класу є "задача про упакування в контейнери", зміст якої полягає в тому, щоб, враховуючи вагу вантажівок та їх кількість, помістити певну продукцію в якомога найменшу кількість вантажівок, але так, щоб вся продукція була завантажена.

Оптимізаційні задачі завжди були актуальними, оскільки допомагають економити обмежені ресурси. Проте варто зауважити, що не завжди певний алгоритм дає найкращі результати. У залежності від вхідних даних, різні алгоритми можуть бути використані для оптимізації. У роботі будуть наведені та реалізовані

найбільш популярні алгоритми, що використовуються для розподілу товару в певні “контейнери”, які в цьому випадку будуть вантажівками з обмеженою вантажопідйомністю. Крім цього, було розроблено новий алгоритм SFA, в основі якого закладено подільність товару на менші партії. Варто зауважити, що найпоширеніші алгоритми для вирішення задач даного класу припускають, що:

1. Товар неподільний
2. Контейнери мають однакову місткість.

Насправді, ці недоліки є критичними в реальності, оскільки компанія не завжди має контейнери однакової місткості, а подільність товару є ключовою у вирішенні даної задачі.

### Аналіз останніх джерел

Транспортні послуги є ключовим фактором економічного зростання, оскільки вони забезпечують обмін товарами між виробниками та споживачами, стимулюючи економічну активність. Завдяки транспортуванню компанії можуть постачати свої товари або послуги на нові ринки, зокрема в інші регіони та країни, що сприяє збільшенню доходів і зростанню бізнесу.

Логістика та транспортні компанії, створюючи робочі місця у сфері перевезень, складання, пакування, обробки, оформлення вантажів, забезпечують зайнятість для багатьох людей. У статті [1] логістична інфраструктура визначена як сукупність технічних і організаційно-економічних елементів, за допомогою яких всі види економічних потоків (матеріальні, фінансові, інформаційні, транспортні, енергопотоки, трудові ресурси, зворотні потоки) здійснюють циклічний рух з найбільшою ефективністю від постачальника ресурсів до кінцевого споживача. Автор підкреслює важливість забезпечення фірм якісним транспортом, що в умовах зростаючої конкуренції на міжнародному ринку між перевізниками вимагає ефективного вирішення транспортно-логістичних рішень, що повинно призвести до усунення організаційних неточностей та мінімізації логістичних витрат.

Перевезення товарів дає можливість споживачам задовольняти свої потреби. Наприклад у праці [2] обґрунтовано важливість планування перевезення товарів повсякденного попиту та перераховано такі аспекти, які потрібно враховувати, як маршрутизація, вибір транспортних засобів, екологічні аспекти, терміновість та надійність, технології відстеження, управління ризиками, екологічна відповідальність.

Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень, а також особливості впливу ринку транспортної логістики в сучасних умовах проведено в статті [3]. Встановлено збалансованість споживчого, оптового, і ринку логістики в Україні, що мають близькі тренди розвитку.

Автор роботи [4] підкреслює необхідність інтеграції та співпраці перевізників з постачальниками для досягнення оптимальної продуктивності та задоволення потреб клієнтів. Більша кількість вантажівок дозволяє якомога краще розподілити товар.

Метою даної роботи є розробити веб-сервіс, який дозволяє керувати вантажними перевезеннями ефективно, при цьому враховуючи вартість перевезення даного водія, відстань перевезення, вартість палива, витрати палива кожної вантажівки, тощо. Також потрібно автоматизувати процес розподілу товарів для перевезень через інтерфейс з можливістю вибору конкретного алгоритму, а також оптимізувати перевезення таким чином, щоб вартість перевезень була мінімальною.

### Виклад основного матеріалу

Оптимізація перевезення товарів дозволяє компаніям економити ресурси, підвищувати ефективність роботи і забезпечувати високу якість обслуговування, що є ключовим фактором успіху в сучасних умовах. Задачу про “упакування в контейнери” можна записати у вигляді таблиці, оскільки кожній вантажівці ставиться у відповідність певна кількість вантажу [5]. По рядках будуть розташовані вантажівки, по стовпцям – вантаж для перевезення. Тоді, коли комірка містить певне значення  $X$ , це означає, що даний водій перевозить певний товар у кількості  $X$ . Ця задача відноситься до складних комбінаторних NP-задач. Її сенс полягає в тому, що певні об’єкти потрібно помістити в кінцеве число контейнерів певного об’єму / форми так, щоб кожен об’єкт був завантажений, а також кількість контейнерів була мінімальною [6].

Нехай задано:

1. Нескінченну кількість контейнерів розміром  $C$ .
2. Перелік вантажів розміром (вагою)  $c_i$ .
3.  $x_i^j$ , яке набуває значення 0 або 1 (1 – коли  $i$ -й об’єкт пакується в  $j$ -ий контейнер, 0 – в іншому випадку).
4.  $y_j$  – бінарна змінна, яка дорівнює 1, якщо  $j$ -ий контейнер використовується, та 0 в протилежному випадку).

Тобто, задача полягає в тому, щоб кількість контейнерів була найменшою:

$$\min \sum_{j=1}^n y_j,$$

враховуючи наступні обмеження:

1.  $\sum_{i=1}^n c_i x_i^j \leq C y_j, j = 1, \dots, n$  – умова, що кількість вантажу в контейнері не повинна перевищувати місткість/вагу самого контейнера;
2.  $\sum_{j=1}^n x_i^j = N$  – умова, що весь вантаж повинен бути запакований.

Було розглянуто наступні алгоритми:

- **NFA (Next Fit Algorithm)** – найпростіший алгоритм, який заповнює контейнер наскільки це можливо і якщо вільного місця недостатньо, тоді додає новий контейнер. Його перевагою є те, що він потребує найменшу кількість. Послідовність дій наступна:
  1. Беремо новий елемент.
  2. Беремо новий контейнер.
  3. Кладемо елемент в контейнер.
  4. Беремо наступний елемент.
  5. Якщо елемент вміщується в контейнер, то йдемо на крок 3. Якщо елемент не вміщується – йдемо на крок 2.
- **FFA (First Fit Algorithm)** – більш вдалий алгоритм. Якщо вантаж не поміщається в контейнер, серед уже наявних контейнерів шукаємо перший, у який даний товар може поміститися. Послідовність дій наступна:
  1. Беремо новий елемент.
  2. Беремо новий контейнер.
  3. Кладемо елемент в контейнер.
  4. Беремо наступний елемент.
  5. Якщо елемент вміщується в контейнер, то йдемо на крок 3. Якщо елемент не вміщується, перевіряємо всі контейнери по черзі, починаючи з першого. Якщо знайдено контейнер з достатньою кількістю місця для розташування вантажу – йдемо на крок 3. Якщо вантаж не вміщується в жоден наявний контейнер – йдемо на крок 2. Наступним активним контейнером (з якого починається перевірка) доцільно обирати останній за номером, оскільки, потенційно, він є найменш заповненим.
- **WFA (Worst Fit Algorithm)** – алгоритм для рівномірного розподілу. Якщо вантаж не поміщається в контейнер, серед уже наявних контейнерів шукаємо той, у якого найбільше вільного місця й у котрий усе ще можна завантажити даний товар. Послідовність дій наступна:
  1. Беремо новий елемент.
  2. Беремо новий контейнер.
  3. Кладемо елемент в контейнер.
  4. Беремо наступний елемент.
  5. Якщо елемент вміщується в контейнер, то йдемо на крок 3. Якщо елемент не поміщається в контейнер – перевіряємо всі контейнери на максимум вільного місця. Якщо в мінімально заповнений контейнер вантаж вміщується – йдемо на крок 3, якщо ні – на крок 2. Наступним активним контейнером (з якого починається перевірка) доцільно обирати останній за номером, оскільки, потенційно, він є найменш заповненим.
- **BFA (Best Fit Algorithm)** – алгоритм для створення найбільшої кількості повністю заповнених контейнерів. Якщо вантаж не поміщається в контейнер, серед уже наявних контейнерів шукаємо той, у якого найменше вільного місця, але все ще можна завантажити даний товар. Послідовність дій наступна:
  1. Беремо новий елемент.
  2. Беремо новий контейнер.
  3. Кладемо елемент в контейнер.
  4. Беремо наступний елемент.
  5. Якщо елемент вміщується в контейнер, то йдемо на крок 3. Якщо елемент не поміщається в контейнер – перевіряємо всі контейнери на мінімум вільного місця, але в який ще можна покласти вантаж. Якщо такий контейнер знайдено – йдемо на крок 3, якщо ні – на крок 2. Наступним активним контейнером (з якого починається перевірка) обирається останній за номером.

Було запропоновано новий алгоритм SFA, ідея якого полягає в тому, щоб розбивати вантаж на кілька частин за умови, якщо він не поміщається в контейнер повністю.

- **SFA (Split Fit Algorithm)** – алгоритм для розбиття вантажу, щоб помістити якнайбільше вантажу у вантажівки. Послідовність дій наступна:
  1. Беремо новий елемент.
  2. Беремо новий контейнер.
  3. Кладемо елемент в контейнер.
  4. Беремо наступний елемент.
  5. Якщо елемент поміщається в контейнер, то йдемо на крок 3. Якщо елемент не поміщається в контейнер – ділимо товар на дві частини: перша, що буде рівна кількості вільного місця цього контейнера, щоб заповнити все доступне місце та друга частина – те, що не помістилося в контейнер. Другу частину зберігаємо на даному кроці.
  6. Беремо новий контейнер.
  7. Кладемо другу частину розділеного елемента в контейнер та йдемо на крок 4.

Ці алгоритми поділяються на впорядковані та неупорядковані. Ми використовуємо лише впорядкований варіант, зміст якого полягає в тому, що перед розподілом увесь товар впорядковується від найбільшого до найменшого за вагою.

Оскільки платформа працює не лише із замовленнями, а й з різними сутностями, виникає потреба зберігати ці всі дані в базі даних [7]. Для цього використовувалася SQLite3 база даних. Ключові сутності на нашій платформі є: Користувач (User), Водій (Driver), Вантажівка (Truck), Замовлення (Order), Місто доставки (City), Продукт (Product) та сама таблиця, яка складатиметься з комірок (TableCell). Кожне замовлення містить в собі набір міст, в які потрібно доставити продукти, алгоритм, за яким відбувався розподіл товару, водії та вантажівки, які беруть участь у перевезенні, та, відповідно, сама таблиця. Усе це схематично зображено на рисунку 1. Для візуалізації схеми бази даних використовувався веб-ресурс DiagramIo [8].

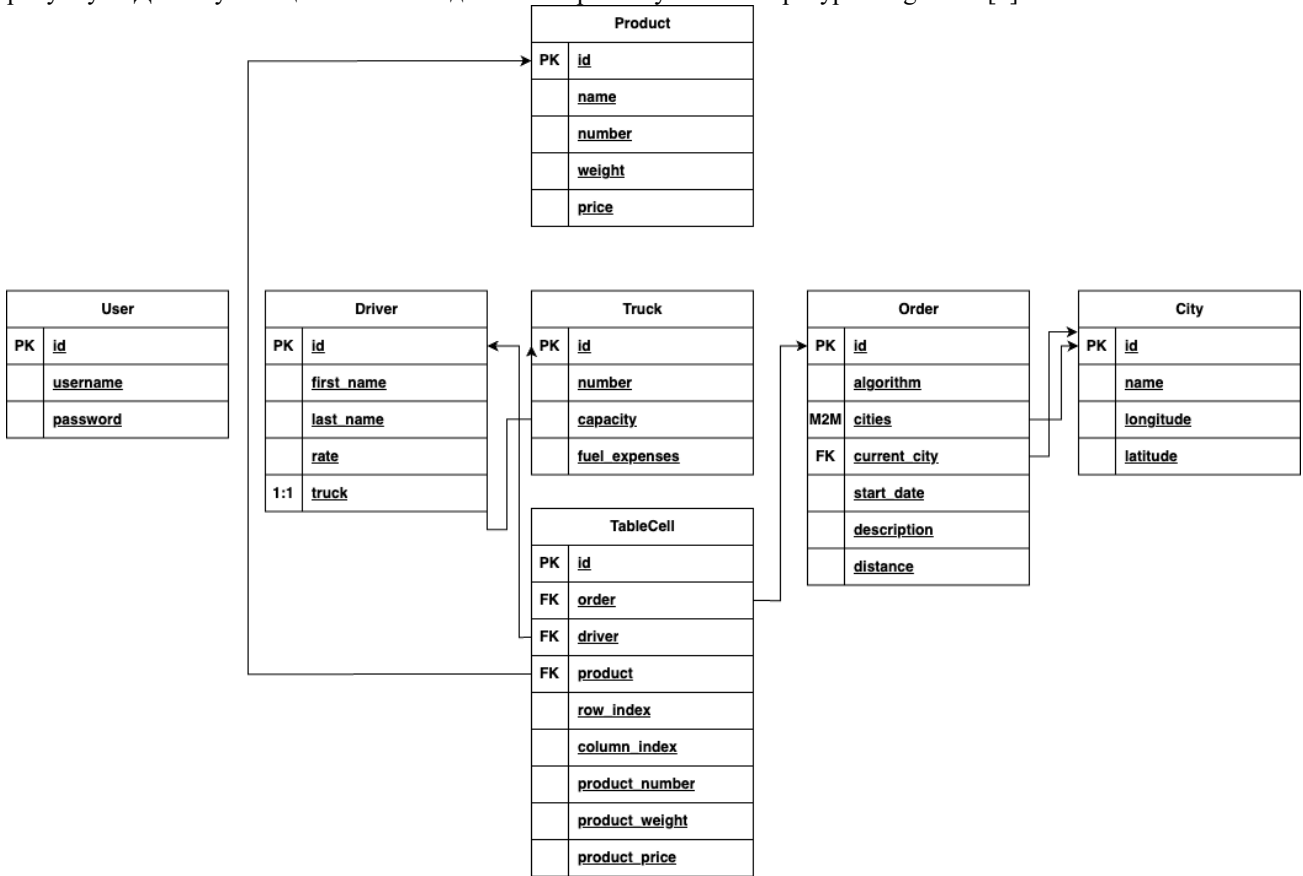


Рис. 1. Схема бази даних

Крім алгоритмів, що будуть, власне, оптимізувати перевезення, потрібно також мати можливість переглянути вже створені замовлення, переглядати як система розподілила товар серед вантажівок, його кількість, яких водіїв та вантажівок система обрала, а також які витрати на паливо, на послуги водіїв, прибуток від проданого товару й чистий прибуток. Не буде зайвим мати можливість переглядати детальну інформацію про водіїв, їх рейтинг, вартість перевезення за певну відстань, історію успішних замовлень і т. д. На рисунку 2 зображена головна сторінка платформи, яка відображає уже створені замовлення, в яких товар уже розподілений.

Продемонструємо застосування алгоритмів для оптимізації перевезення певного замовлення. Нехай перелік товару, що потрібно перевезти, його кількість та вага наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Товар, що потрібно перевезти										
Товар		Анчоуси		Майонез		Морозиво	Мідії	Олія	Цукор	Шоколад
Кількість	2900	1200	1200	1250	3000	2000	1000	1000	1000	900
Загальна вага	2320	360	480	250	3000	600	1000	1000	1000	360

Оскільки товар перевозиться водіями та поміщається у вантажівки, то ми повинні мати кількох водіїв у базі даних, а також кілька вантажівок, вантажопідйомність яких визначатиметься в кілограмах. Ці дані наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Водії та вантажопідйомність їх вантажівок						
Водій	Матвій Степанчук	Дем'ян Рудий	Ярослав Всемогутній	Дмитро Теремко	Іван Корун	Ігор Степанчук
Вантажопідйомність	1000	2000	2000	2500	3500	3000

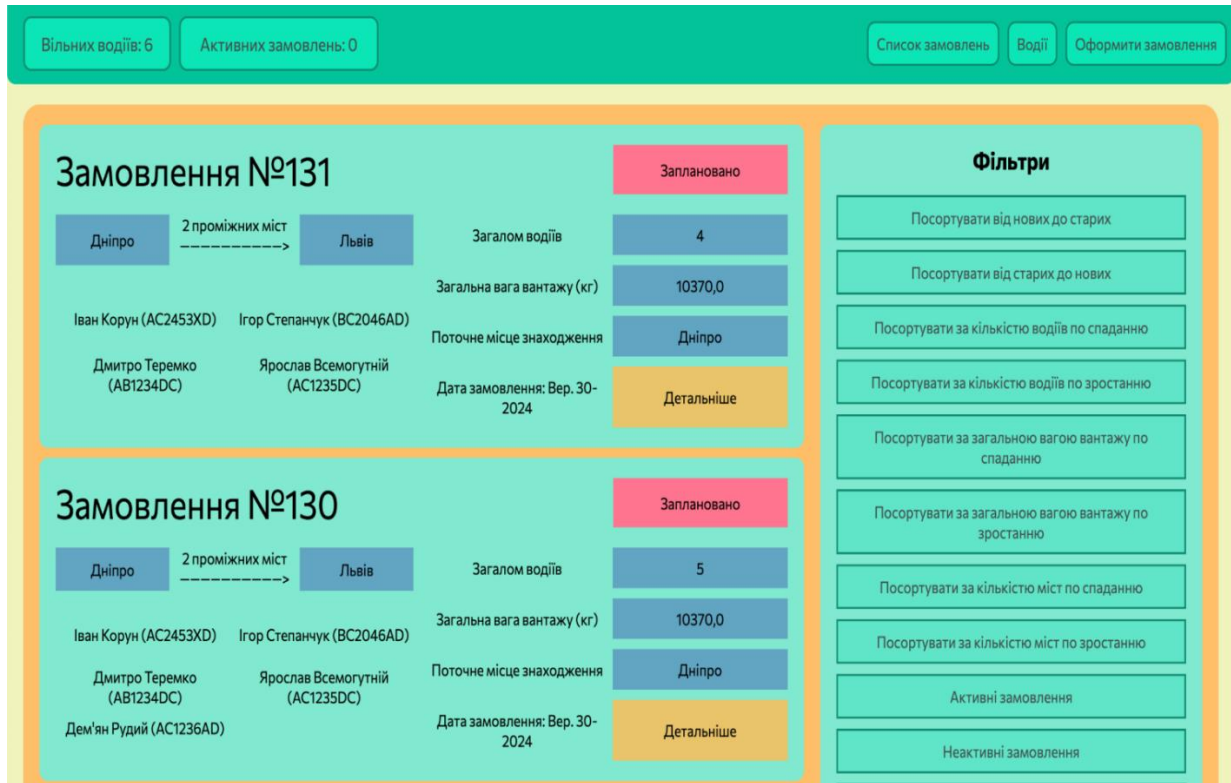


Рис. 2. Головна сторінка платформи

Наведемо результати того, як платформа розподілила товар за допомогою кожного з наведених алгоритмів. Варто відзначити, що найбільш ефективними в цьому випадку є FFA та SFA алгоритм, які найкраще оптимізували вартість перевезення на даній вибірці товарів. Розподіл по кожному алгоритму зображено на відповідних рисунках (рис. 3 – рис. 7).

Водій (/кг - /шт)	Макаронні вироби (3000,0/кг - 3000,0/шт)	Соса-сола (2320,0/кг - 2900,0/шт)	Мідії (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Олія (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Цукор (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Морозиво (600,0/кг - 2000,0/шт)	Крабові палички (480,0/кг - 1200,0/шт)	Анчоуси (360,0/кг - 1200,0/шт)	Шоколад (360,0/кг - 900,0/шт)	Майонез (250,0/кг - 1250,0/шт)
Іван Корун	3000,0 кг / 3000,0 шт	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ігор Степанчук	-	2320,0 кг / 2900,0 шт	-	-	-	-	-	-	-	-
Дмитро Теремко	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	1000,0 кг / 1000,0 шт	-	-	-	-	-	-
Ярослав Всемогутній	-	-	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	600,0 кг / 2000,0 шт	-	-	-	-
Дем'ян Рудий	-	-	-	-	-	-	480,0 кг / 1200,0 шт	360,0 кг / 1200,0 шт	360,0 кг / 900,0 шт	250,0 кг / 1250,0 шт

Рис. 3. Розподіл за алгоритмом NFA

Водій (/кг - /шт)	Макаронні вироби (3000,0/кг - 3000,0/шт)	Соса-сола (2320,0/кг - 2900,0/шт)	Мідії (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Олія (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Цукор (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Морозиво (600,0/кг - 2000,0/шт)	Крабові палички (480,0/кг - 1200,0/шт)	Анчоуси (360,0/кг - 1200,0/шт)	Шоколад (360,0/кг - 900,0/шт)	Майонез (250,0/кг - 1250,0/шт)
Іван Корун	3000,0 кг / 3000,0 шт	-	-	-	-	-	480,0 кг / 1200,0 шт	-	-	-
Ігор Степанчук	-	2320,0 кг / 2900,0 шт	-	-	-	-	-	-	-	-
Дмитро Теремко	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	1000,0 кг / 1000,0 шт	-	-	-	-	-	-
Ярослав Всемогутній	-	-	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	600,0 кг / 2000,0 шт	-	-	-	-
Дем'ян Рудий	-	-	-	-	-	-	-	360,0 кг / 1200,0 шт	360,0 кг / 900,0 шт	250,0 кг / 1250,0 шт

Рис. 4. Розподіл за алгоритмом FFA

Водій (/кг - /шт)	Макаронні вироби (3000,0/кг - 3000,0/шт)	Соса-sola (2320,0/кг - 2900,0/шт)	Мідії (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Олія (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Цукор (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Морозиво (600,0/кг - 2000,0/шт)	Крабові палички (480,0/кг - 1200,0/шт)	Анчоуси (360,0/кг - 1200,0/шт)	Шоколад (360,0/кг - 900,0/шт)	Майонез (250,0/кг - 1250,0/шт)
Іван Корун	3000,0 кг / 3000,0 шт	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ігор Степанчук	-	2320,0 кг / 2900,0 шт	-	-	-	-	480,0 кг / 1200,0 шт	-	-	-
Дмитро Теремко	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	1000,0 кг / 1000,0 шт	-	-	-	-	-	-
Ярослав Всемогутній	-	-	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	600,0 кг / 2000,0 шт	-	-	-	-
Дем'ян Рудий	-	-	-	-	-	-	-	360,0 кг / 1200,0 шт	360,0 кг / 900,0 шт	250,0 кг / 1250,0 шт

Рис. 5. Розподіл за алгоритмом WFA

Водій (/кг - /шт)	Макаронні вироби (3000,0/кг - 3000,0/шт)	Соса-sola (2320,0/кг - 2900,0/шт)	Мідії (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Олія (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Цукор (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Морозиво (600,0/кг - 2000,0/шт)	Крабові палички (480,0/кг - 1200,0/шт)	Анчоуси (360,0/кг - 1200,0/шт)	Шоколад (360,0/кг - 900,0/шт)	Майонез (250,0/кг - 1250,0/шт)
Іван Корун	3000,0 кг / 3000,0 шт	-	-	-	-	-	480,0 кг / 1200,0 шт	-	-	-
Ігор Степанчук	-	2320,0 кг / 2900,0 шт	-	-	-	-	-	-	-	-
Дмитро Теремко	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	1000,0 кг / 1000,0 шт	-	-	-	-	-	-
Ярослав Всемогутній	-	-	-	-	1000,0 кг / 1000,0 шт	600,0 кг / 2000,0 шт	-	-	-	-
Дем'ян Рудий	-	-	-	-	-	-	-	360,0 кг / 1200,0 шт	360,0 кг / 900,0 шт	250,0 кг / 1250,0 шт

Рис. 6. Розподіл за алгоритмом BFA

Водій (/кг - /шт)	Макаронні вироби (3000,0/кг - 3000,0/шт)	Соса-sola (2320,0/кг - 2900,0/шт)	Мідії (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Олія (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Цукор (1000,0/кг - 1000,0/шт)	Морозиво (600,0/кг - 2000,0/шт)	Крабові палички (480,0/кг - 1200,0/шт)	Анчоуси (360,0/кг - 1200,0/шт)	Шоколад (360,0/кг - 900,0/шт)	Майонез (250,0/кг - 1250,0/шт)
Іван Корун	3000,0 кг / 3000,0 шт	500,0 кг / 624,0 шт	-	-	-	-	-	-	-	-
Ігор Степанчук	-	1820,0 кг / 2276,0 шт	1000,0 кг / 1000,0 шт	180,0 кг / 180,0 шт	-	-	-	-	-	-
Дмитро Теремко	-	-	-	820,0 кг / 820,0 шт	1000,0 кг / 1000,0 шт	600,0 кг / 2000,0 шт	80,0 кг / 199,0 шт	-	-	-
Ярослав Всемогутній	-	-	-	-	-	-	400,0 кг / 1001,0 шт	360,0 кг / 1200,0 шт	360,0 кг / 900,0 шт	250,0 кг / 1250,0 шт

Рис. 7. Розподіл за алгоритмом SFA

Було обрано декілька варіантів конкретного замовлення (товари перевозилися з міста Дніпро до міста Львів), щоб перевірити результати реалізації кожного алгоритму. Отримані результати відображені в таблиці 3.

Таблиця 3

#### Результати вартості перевезення

Назва алгоритму	NFA	FFA	WFA	BFA	SFA
Витрати на оплату водію	82363.14	83563.14	82963.14	83563.14	53378.64
Витрати на паливо	56961.88	56961.88	56961.88	56961.88	42921.98
Чистий прибуток	827274.98	826074.98	826674.98	826074.98	870299.38

Варто зазначити, що результати розподілу алгоритмів FFA та BFA є однаковими, та те, що найкращий результат надав новий алгоритм SFA, що доводить його ефективність.

#### Висновки

Експериментальним шляхом досліджено ефективність кожного алгоритму. Надано змогу користувачеві вибрати алгоритм, який найбільше підходить, оскільки бувають ситуації, коли не так важливі витрати на перевезення, як необхідність перевезти весь товар якомога швидше і за будь-якої кількості вантажівок. Застосувавши відомі алгоритми NFA, FFA, WFA, BFA, ми переконалися в їх ефективності при рішенні задачі в умовах повної інформації. Також вдалося реалізувати власний SFA метод, що надав кращі результати за попередні і дав змогу зменшити витрати на перевезення використовуючи підхід розподілу товару. Варто відмітити, що на відміну від SFA, інші алгоритми потребують п'ять вантажівок, коли SFA вимагає лише чотири.

**Література**

1. Репіч Т. А. Оптимізація логістичної інфраструктури міжнародних вантажних перевезень / Т. А. Репіч, Д. Ю. Великий // Ефективна економіка. – 2017. – № 1. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5377>
2. Мамрош І. Перевезення товарів повсякденного вжитку / І. Мамрош, Р. Ярема. [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44601/2/MTEMSTE\\_2023\\_Mamrosh\\_I-Transportation\\_of\\_goods\\_132-133.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44601/2/MTEMSTE_2023_Mamrosh_I-Transportation_of_goods_132-133.pdf)
3. Попович П. В. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах // П. В. Попович, О. С. Шевчук, А. Й. Матвішин, В. М. Лотоцька // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2016. <http://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/5319>
4. Савицький Е. Е. Вплив оптимізації логістичних процесів на ефективність комерційної діяльності підприємства / Е. Е. Савицький // Економіка та суспільство. – 2023 - № 52. <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2565>.
5. Задача про упакування в ємності. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bin\\_packing\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Bin_packing_problem).
6. Марікуца У. Б. Математичні методи дослідження операцій: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів / Укл. Марікуца У.Б. – Львів. : НУ «Львівська політехніка», 2013. – 97 с.
7. База даних SQLite3. <https://www.sqlite.org/>
8. Побудова діаграм Diagram.io. <https://app.diagrams.net/>

**References**

1. Repich T. A. Optymizatsiia lohistychnoi infrastruktury mizhnarodnykh vantazhnykh perevezen / T. A. Repich, D. Yu. Velykyi // Efektyvna ekonomika. – 2017. – № 1. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5377>
2. Mamrosh I. Perevezennia tovariv povsiakdennoho vzhytku / I. Mamrosh, R. Yarema. [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44601/2/MTEMSTE\\_2023\\_Mamrosh\\_I-Transportation\\_of\\_goods\\_132-133.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44601/2/MTEMSTE_2023_Mamrosh_I-Transportation_of_goods_132-133.pdf)
3. Popovych P. V. Doslidzhennia tendentsii rozvytku rynku vantazhnykh avtomobilnykh perevezen u suchasnykh umovakh // P. V. Popovych, O. S. Shevchuk, A. Y. Matviishyn, V. M. Lototska // Visnyk ZhDTU. Serii: Tekhnichni nauky. – 2016. <http://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/5319>
4. Savytskyi E. E. Vplyv optymizatsii lohistychnykh protsesiv na efektyvnist komertsii noi diialnosti pidpriemstva / E. E. Savytskyi // Ekonomika ta suspilstvo. – 2023 - № 52. <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2565>.
5. Zadacha pro upakovannia v yemnosti. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bin\\_packing\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Bin_packing_problem).
6. Marikutsa U. B. Matematychni metody doslidzhennia operatsii: Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit dla studentiv / Ukl. Marikutsa U.B. – Lviv. : NU «Lvivska politekhnik», 2013. – 97 s.
7. Baza danykh SQLite3. <https://www.sqlite.org/>
8. Pobudova diahram Diagram.io. <https://app.diagrams.net/>