

М.С. ГРИЦЮК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК  
Хмельницький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПЛАНУВАННЯ НАЙКРАЩОГО ШЛЯХУ ДЛЯ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

*Розроблена інформаційна система планування найкращого шляху для доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера. Даний сервіс забезпечує прокладання маршруту у відповідності з початковими даними (початкова та кінцева точка) та обмеженнями (проміжні точки маршруту, часові обмеження, масо-габаритні тощо). Інформаційна система також містить вбудований калькулятор вартості перевезень, який враховує довжину маршруту та вагу вантажу.*

*Ключові слова: вантажні перевезення, далекобійники, вантаж, задача комівояжера, оптимальний маршрут.*

M.S. HRYTSYUK, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK  
Khmelnitskyi National University

## PLANNING INFORMATION SYSTEM FOR THE BEST WAY TO DELIVER CARGO WITH THE HELP OF THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM SOLVER

*The Internet has made it possible to transfer most areas of activity online, as well as solve various types of problems without leaving home. As a result, many innovative projects have emerged that have simplified and improved routines. Freight transportation in Ukraine occupies the largest share among all types of transport services. The minimum part of the carriers involved in this process works on a contractual basis with large enterprises-customers. Other market participants interact with customers without signing long-term cooperation agreements. This option of bilateral partnership is extremely risky because the search for a customer or carrier on the bulletin boards can end in a meeting with fraudsters. As a result, the transport organization is left without earnings, and the customer loses the cargo. Many drivers working in trucking companies are thinking about starting a business in this field, but in order to be independent of the transport company, it is not enough to own a truck, as one of the main services provided by transport companies in the search. orders. Given that the orders placed by companies do not always meet the expectations of drivers, and the place of loading can be in the tens or even hundreds of kilometres from the location of the driver. Not all companies reimburse the fuel used to get to the place of loading. As a result, drivers are required to pay for the services of the operator, as well as to compensate out of pocket to get to the place of loading, which significantly reduces their income. Therefore, an information system was developed to plan the best way to deliver the goods using the task of a salesman. This service provides routing in accordance with the initial data (start and end point) and restrictions (intermediate points of the route, time restrictions, mass and size, etc.). The information system also contains a built-in cost calculator that takes into account the length of the route and the weight of the cargo.*

*Keywords: freight transportation, truckers, cargo, the traveller's task, optimal route.*

### Аналіз предметної області

Кожен великий бізнес, сфера діяльності якого тісно пов'язана з великими грошима, будь-то виробництво, оптова чи широка роздрібна мережа, будує свій бізнес на правильно сформованому вантажоперевезенню. Вчасно доставлений вантаж підтримує в стабільності весь процес бізнесу. Якщо на виробництво не буде вчасно доставлений хоч один компонент все зупиниться і почнуться збитки. У тій же оптовій або роздрібній мережі відсутність певного товару вказує дорогу до конкурентів. Клієнтам не важливо з якої причини є необхідних товарів, їм важливо володіти ними.

Сфера вантажоперевезень активно розвивається, завдяки тому, що через Україну проходять великі транспортні шляхи, дедалі більше людей розпочинають свою кар'єру саме в цій сфері. Завдяки сучасним технологіям, вантажоперевезення стає максимально ефективним і прибутковим. Подання асортименту в Інтернеті є перспективним напрямком розвитку бізнесу. Невеликого стартового капіталу цілком достатньо, щоб відкрити інтернет-магазин, який стане основою для подальшого розширення компанії та досягнення рівня роздрібною мережі.

Веб-додатки, які вирішують проблеми вантажоперевезень, стають дедалі популярними серед перевізників. Автомобільні перевезення широко використовується у всіх галузях економіки: в торгівлі, виробництві, сільському господарстві.

### Аналіз існуючого програмного забезпечення предметної області

Сьогодні розвиток технології дозволяє автоматизувати ті процеси, які ще декілька років тому не могли б існувати без підтримки людини. Доволі часто ми чуємо про нові сервіси, які вдосконалюють ті процеси, які людина не здатна вирішувати на високому рівні. Наприклад, всім знайомий сервіс для виклику авто (таксі) Uklon – це досить хороший приклад сервісу, який вирішує проблеми, будування найкращого маршруту для водіїв таксі, за допомогою сучасних технологій, що, в свою чергу, дозволяє скоротити витрати на паливе, задовольнити потреби клієнта, а також дає змогу виконати більше замовлень за один і той же час.

Сфера вантажоперевезень не виключення, завдяки доступності мережі Інтернет, з'являється можливість до реалізації нових ідей, які змінюють всі процеси, які були до цього запроваджені в тій чи іншій галузі.

Одним з прикладів сервісів в сфері вантажоперевезень є “Lardi Trans” [1] – це сервіс, який спеціалізується на міжнародних вантажоперевезеннях (рис. 1).

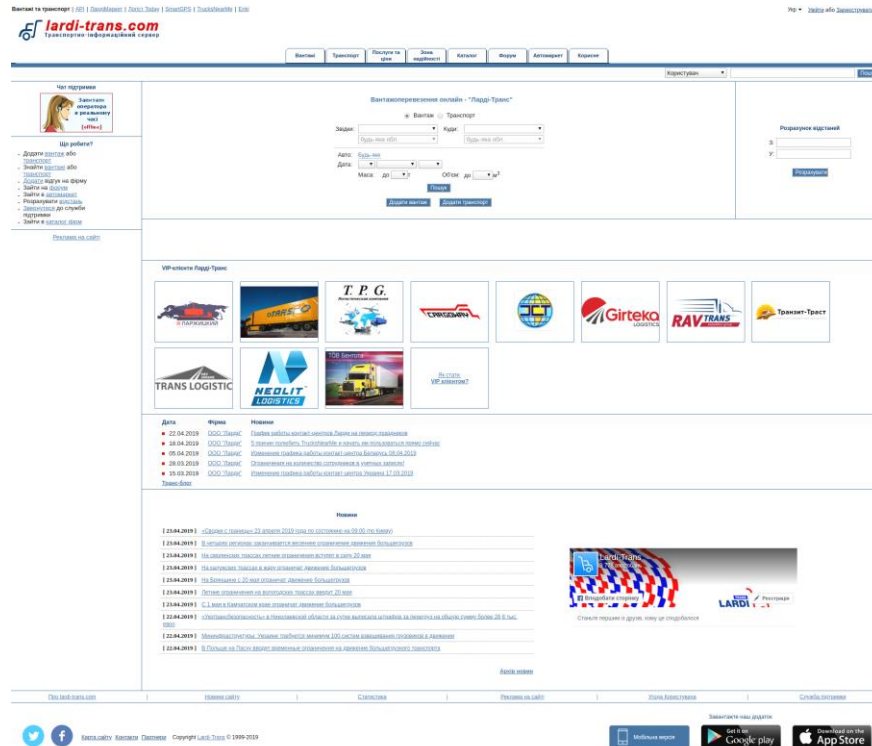


Рис. 1. Даталогічна модель БД

Наявність певних недоліків в існуючому програмному забезпеченні для вирішення задачі планування найкращого шляху доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера в межах інформаційної системи потребує реалізації такого функціоналу: впровадити зручний і сучасний інтерфейс користувача, пошук маршруту вказуючи початкову, проміжні і кінцеві точки, що в свою чергу дозволить спланувати рейс для водія.

### Аналіз та автоматизація обробки інформаційних потоків

Розробка нових інформаційних технологій дозволяє розвивати суспільство в тих чи інших напрямках. Вони активно перетворюють інші технології матеріального і нематеріального виробництва, в кінцевому підсумку формуючи новий стиль роботи, спосіб життя в цілому. Суть інформаційних технологій становлять методи і засоби формування та підтримки інформаційних потоків у системах управління об'єктами. Якщо розглядати роботу звичайної транспортної компанії, то можна побачити, як неефективно розподіляються ресурси, дана галузь створює багато непотрібних, суміжних процесів, які сьогодні можна автоматизувати: обробка замовлень, планування маршруту, виконання замовлень.

Бізнес-процес «**Обробка замовлень**». Даний бізнес-процес передбачає опрацювання інформації, що стосується замовлень, й включає в себе наступні функції: збір інформації по вантажу, розрахунок актуальної вартості доставки, прийняття пропозиції від водіїв, оформлення замовлення;

Бізнес-процес «**Планування маршруту**». Даний процес потребує багато зусиль, для того, щоб спланувати максимально ефективний маршрут, який дозволить збільшити прибутки компанії, й, зокрема, задовольнити відправника вчасним доставленим вантажем.

Планування маршруту передбачає опрацювання інформації, що стосується, починаючи від стану доріг, закінчуючи відстанню між пунктом відправки й пунктом призначення, даний процес включає в себе наступні дії: розрахунок відстані між точкою А та точкою Б, дослідження можливих маршрутів, врахування різних факторів, які впливають на тривалість доставки вантажу, вибір найкращого маршруту.

Бізнес-процес «**Виконання замовлень**». При роботі із замовленням водій отримує можливість напряму спілкуватися з клієнтом, через владштований месенджер, що дозволяє отримати максимально точну інформацію щодо вантажу, в свою чергу це дозволяє водію спланувати свій маршрут максимально ефективно, а саме взяти попутні замовлення, якщо це дозволяє параметри його автомобіля. Виконання замовлення включає в себе наступні функції: перегляд даних замовлення, будівництво найкращого маршруту, виконання попутних замовлень, відмова від замовлення, керування рейтингом водія.

Для того, щоб автоматизувати роботу веб-сервісу, дані потрібно організувати у таблиці базу даних і провести нормалізацію.

Даталогічна модель БД створюється відповідно до бізнес-процесів та їх функцій (рис. 2).

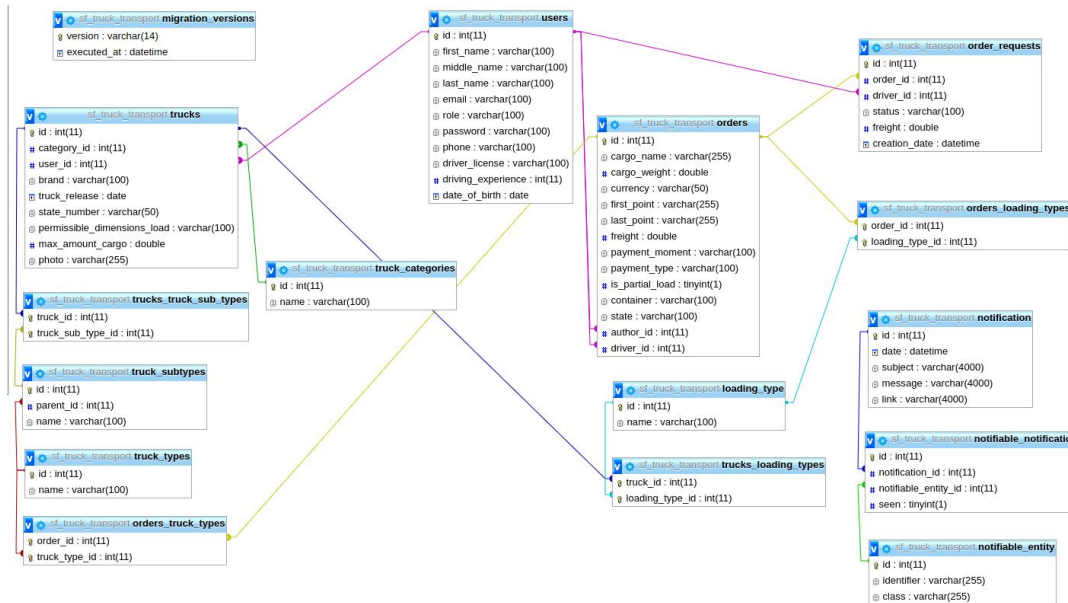


Рис. 2. Даталогічна модель БД

Розробка структури інформаційної системи

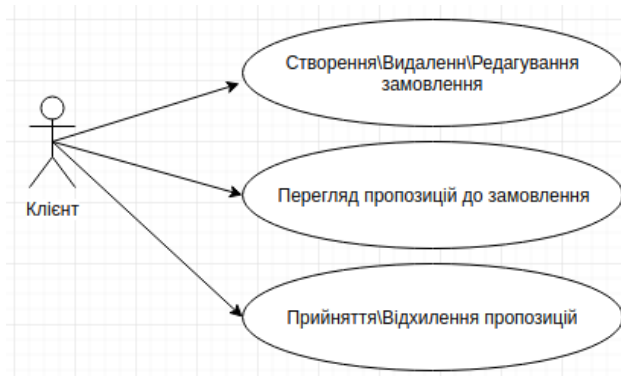


Рис. 3. Роль користувача «Клієнт»

Розроблений веб-сервіс буде корисним у використанні для клієнтів які, часто використовують послуги транспортних компаній, а також для водій, які мають власний вантажний автомобіль, і хочуть бути незалежні від транспортної компанії.

У сервісі буде два типи користувачів: «Клієнт» та «Водій». Для кожного з користувачів будуть доступні відповідні функції.

Користувач «Клієнт» після авторизації, буде мати змогу створити вантаж, який буде містити в собі всю необхідну інформацію, для того, щоб знайти водія з вантажівкою, котра буде відповідати вимогам транспортування вантажу. «Клієнту» буде доступний перегляд

усіх пропозицій від водіїв, які він може відхилити або прийняти. Схема доступних функцій для користувача «Клієнт» зображено на рис. 3.

Користувач «Водій» може отримати доступ до особистого кабінету після авторизації. Даному користувачу буде доступна можливість керування своїми вантажівками, пошук замовлень, і відправлення запиту на замовлення (рис. 4).

Інтерпретація алгоритму задачі комівояжера

Задача комівояжера полягає у пошуку найкращого маршруту, що проходить через обрані міста хоча б один раз. В умовах завдання вказуються критерій вигідності маршруту (найкоротший, найдешевший, сукупний критерій тощо) і відповідні матриці відстаней, вартості тощо. Зазвичай задано, що маршрут повинен проходити через кожне місто тільки один раз, в такому випадку розв'язок знаходиться серед гамільтонових циклів. Для реалізації пошуку найкращого шляху було використано метод грубої сили. Є  $N$  міст, з'єднаних між собою дорогами. Між ними необхідно прокласти найкоротший замкнутий маршрут, що проходить через кожне місто тільки один раз. Намальований граф (рис. 5), що складається з п'яти вузлів (міст), з'єднаних ребрами (дорогами). Довжини доріг приведені поруч з ребрами. Це зв'язний граф, в якому кожен вузол з'єднаний з будь-яким іншим. Ребра графа ненаправлені і переміщення по ним від вузла до вузла можливо в будь-якому напрямку. Позначимо відстань між містами  $i$  та  $j$  через  $D_{ij}$ . Зазвичай передбачається, що  $D_{ij} \geq 0$ ,  $D_{ij} = D_{ji}$

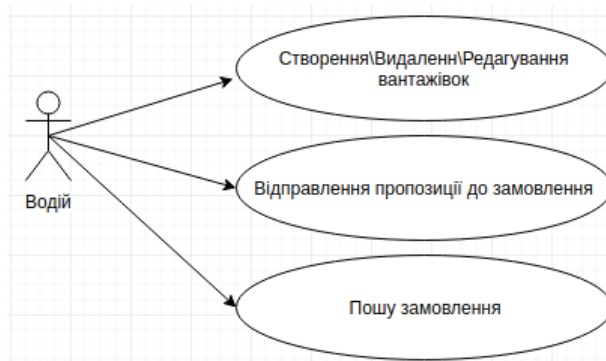


Рис. 4. Роль користувача «Водій»

Взагалі кажучи,  $D_{ij}$  – не обов'язково "фізична довжина" дороги. Це може бути час переміщення, вартість квитка або довільно заданий невід'ємне число. Проте, у всіх цих випадках,  $D_{ij}$  буде називатися відстанню. Запишемо відстані між містами у вигляді матриці (рис. 6). Наприклад, відстань з міста 2 в місто 3 (і з 3 в 2) дорівнює 7. Так як граф ненаправлений, ця матриця симетрична. Прочерками відзначені "заборонені" переходи з міста в нього ж.

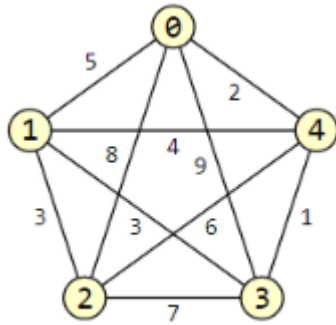


Рис. 5. Граф

	0	1	2	3	4
0	-	5	8	9	2
1	5	-	3	3	4
2	8	3	-	7	6
3	9	3	7	-	1
4	2	4	6	1	-

Рис. 6. Матриця відстані між містами

Шуканий шлях замкнутий, тому будь-яке місто можна вибрати в якості початкового (і кінцевого). Нехай таким буде нульовий місто. Тоді будь-яка перестановка чисел від 1 до 4, оточена нулями, символізує певний шлях, що проходить через кожне місто один раз. Наприклад, 0,1,3,2,4,0, означає, що стартуючи з міста 0, ми подорожуємо у місто 1, потім в місто 3 і т.д. На останньому кроці з міста 4 повертаємося в стартову точку – місто 0. Довжина цього шляху дорівнює  $5 + 3 + 7 + 6 + 2 = 23$  і він не найкоротший. В даному випадку є дві перестановки довжиною 17. Це 0,2,1,3,4,0 і 0,4,3,1,2,0. Насправді це один і той же шлях, який проходить в "прямому" або "зворотному" напрямку. Подібні перестановки, що відрізняються зверненням шляху, вважаються тотожними. Надалі фінальне місто буде опускатися і мається на увазі, що він завжди збігається зі стартовим. Таким чином, на наведеному вище графі існує єдине оптимальне рішення 0,2,1,3,4 з довжиною шляху, рівній 17.

Нехай один з  $N$  міст фіксований. Тоді решта  $N-1$  міст можна переставити  $(N-1)!$  способами. Половина з них є зверненням шляху (циклічної перестановки). Тому існує  $(N-1)! / 2$  варіантів різних шляхів, серед яких необхідно знайти хоча б один шлях мінімальної довжини.

### Калькулятор вартості перевезень

Для розрахунку вартості перевезення використовуються наступні вхідні дані: місце відправки вантажу, місце прибуття вантажу, вага вантажу. Процес перевезення вантажів складається з трьох етапів: початкового, рухомого та кінцевого. З урахуванням типовості початкового та кінцевого етапів виокремлюють витрати на здійснення початково-кінцевих та рухомих операцій. До початково-кінцевих належать витрати на утримання рухомого складу на стоянках, на його підготовку та завантаження, на різні маневрові роботи, тобто на всі роботи, не пов'язані з рухом і відстанню перевезення. Рухомі операції передбачають витрати на утримання рухомого складу на шляху пересування вантажу.

Загалом собівартість транспортного тарифу розраховується за формулою:  $C_{тт} = V_{п.к} + V_{рВ}$ , де  $V_{п.к}$  – витрати на початково-кінцеві операції, гр. од.;  $V_{р}$  – рухомі (шляхові) витрати на 1 км відстані, гр. од.;  $V$  – відстань перевезення вантажів, км.

Використовуючи цю формулу, розраховують собівартість перевезення на 1 км вантажу масою 1 т. Зі збільшенням відстані перевезення вантажів собівартість перевезення 1 т/км зменшується, тому що зменшуються відносні витрати на початково-кінцеві операції з переміщення вантажів на 1 км.

Даний функціонал, який дозволить розраховувати вартість вантажу буде корисним не лише для користувачів, які відправляють вантаж, а й для самих водіїв початківців, які, в свою чергу, можуть цей калькулятор використовувати для формування вартості 1 км.

### Розрахунок відстаней і вартості перевезення

Щоб розрахувати відстань і рекомендовану вартість перевезення вантажу заповніть поля маршруту і вкажіть тоннаж.

Звідки

Куди

Тоннаж вантажу (т)

РОЗРАХУВАТИ ВАРТІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

Рис. 7. Інтерфейс калькулятора розрахунку вартості перевезення вантажу

### Програмна реалізація інформаційної системи

Реалізована інформаційна система для розв’язання задачі планування найкращого шляху для доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера забезпечує прокладання маршруту у відповідності з початковими даними та обмеженнями (рис. 8, рис. 9), а також забезпечує калькуляцію вартості перевезень (рис. 10).

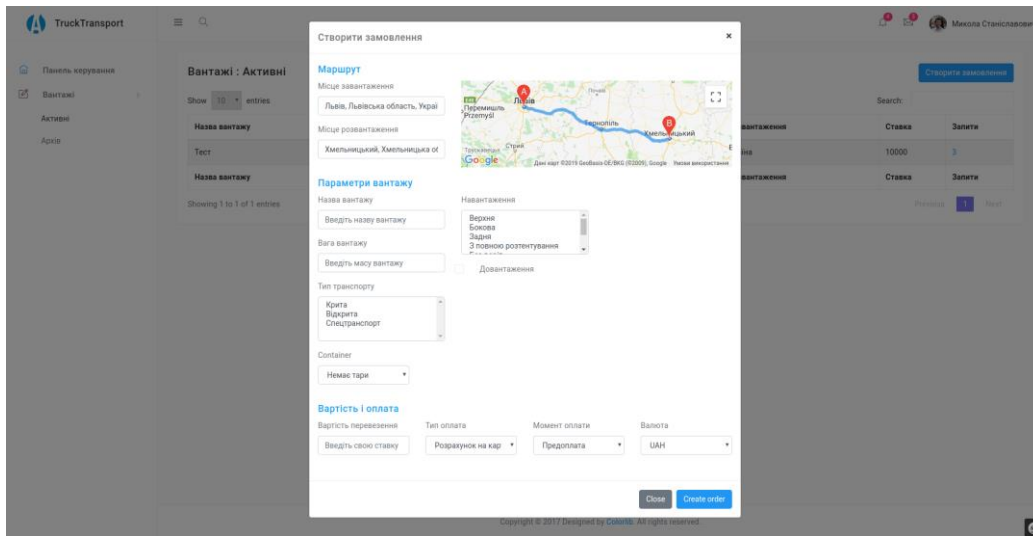


Рис. 8. Інтерфейс створення замовлення

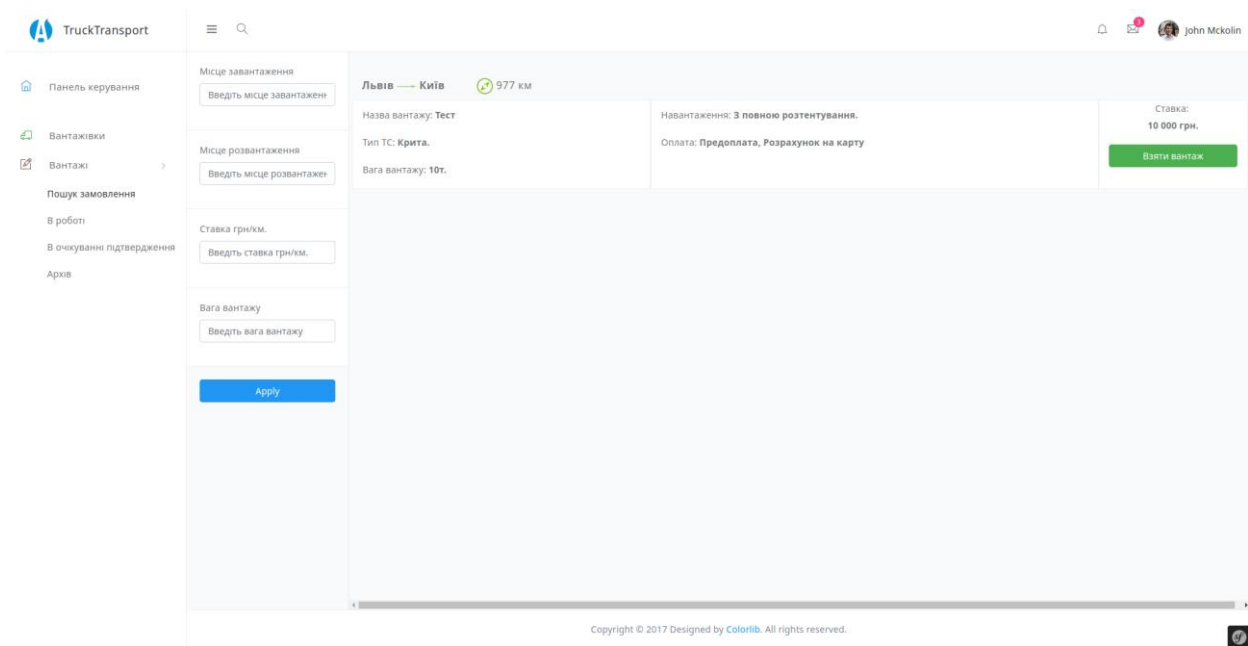


Рис. 9. Інтерфейс пошуку замовлення

### Розрахунок відстаней і вартості перевезення

Щоб розрахувати відстань і рекомендовану вартість перевезення вантажу заповніть поля маршруту і вкажіть тоннаж.

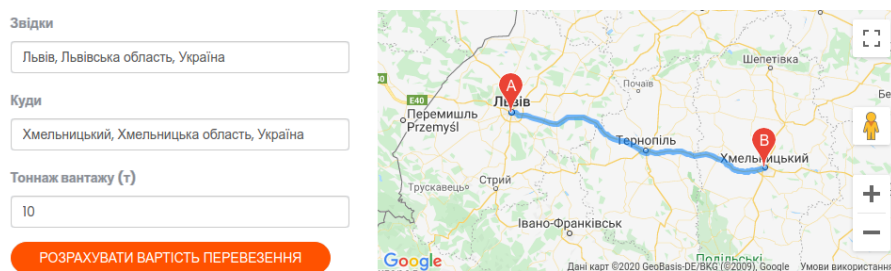


Рис. 10. Інтерфейс пошуку замовлення

Для реалізації було вибрану мову програмування PHP. Завдяки своїй популярності, PHP в арсеналі має достатньо хороших фреймворків, які дозволяють ефективно, швидко і надійно розробляти веб-додатки. Для вирішення своїх потреб, ми обрали фреймворк Symfony 4 – один з найпопулярніших фреймворків, який славиться своєю архітектурою. Доволі багато фреймворків, CMS і E-commerce базують своє ядро на Symfony. Для організації бази даних було обрано систему керування базами даних MySQL.

### Висновки

Реалізована інформаційна система для вирішення задачі планування найкращого шляху для доставки вантажу за допомогою задачі комівояжера. Програмний застосунок забезпечує прокладання маршруту у відповідності з початковими даними (початкова та кінцева точка) та обмеженнями (проміжні точки маршруту, часові обмеження, масо-габаритні тощо). Інформаційна система містить вбудований калькулятор вартості перевезень, який враховує довжину маршруту та вагу вантажу.

### Література

1. Lardi Trans [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://lardi-trans.com/en/>
2. Applegate D.L., Bixby R.E., Chvátal V. & Cook W.J. (2007). The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press.
3. Левитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ. Глава 3. Метод грубой силы: Задача коммивояжера / Ананий В. Левитин. – М. : Вильямс, 2006. – С. 159–160. – ISBN 0-201-74395-7.
4. Bernhard Korte, Jens Vygen (2006). Combinatorial Optimization. 3d ed. Springer. ISBN 3-540-25684-9.
5. Reinelt, Gerhard (1992). Fast heuristics for large geometric traveling salesman problems. ORSA Journal on computing, 4:206-217
6. Ковалев В.П. Эффективность грузовых автомобильных перевозок: Состояние, проблемы, перспективы / Ковалев В.П. – Минск : Беларусь, 1984. – 112 с.
7. Просветов Г.И. Математические методы в логистике / Просветов Г.И. – М. : РДЛ, 2006. – 272 с.
8. Меламед И.И. Задача коммивояжера. Вопросы теории / И.И. Меламед, С.И. Сергеев, И.Х. Сигал // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 9. – С. 3–33.
9. Chisman J.A. The clustered traveling salesman problem / J.A. Chisman // Computers & Operations Research. — September 1975. – Volume 2. – Issue 2. – P. 115–119.

### References

1. Lardi Trans. URL: <https://lardi-trans.com/en/>
2. Applegate D.L., Bixby R.E., Chvatal V. & Cook W.J. (2007). The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press.
3. Levitin A. V. Algoritmy: vvedenie v razrabotku i analiz. Glava 3. Metod gruboj sily: Zadacha kommivoyazhera / Ananij V. Levitin. – M. : Vilyams, 2006. – S. 159–160. – ISBN 0-201-74395-7.
4. Bernhard Korte, Jens Vygen (2006). Combinatorial Optimization. 3d ed. Springer. ISBN 3-540-25684-9.
5. Reinelt, Gerhard (1992). Fast heuristics for large geometric traveling salesman problems. ORSA Journal on computing, 4:206-217
6. Kovalev V.P. Effektivnost gruzovyh avtomobilnyh perevozok: Sostoyanie, problemy, perspektivy / Kovalev V.P. – Minsk : Belarus, 1984. – 112 s.
7. Prosvetov G.I. Matematicheskie metody v logistike / Prosvetov G.I. – M. : RDL, 2006. – 272 s.
8. Melamed I.I. Zadacha kommivoyazhera. Voprosy teorii / I.I. Melamed, S.I. Sergeev, I.H. Sigal // Avtomatika i telemehanika. – 1989. – № 9. – S. 3–33.
9. Chisman J.A. The clustered traveling salesman problem / J.A. Chisman // Computers & Operations Research. — September 1975. – Volume 2. – Issue 2. – P. 115–119.

Рецензія/Peer review : 19.10.2020 р.

Надрукована/Printed :06.11.2020 р.