



М. О. Афонін¹, І. В. Паснак², Р. Т. Рибак¹, О. А. Максимюк¹

¹Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5850-7478> – М. О. Афонін

<https://orcid.org/0000-0002-8405-4625> – І. В. Паснак

<https://orcid.org/0000-0002-0745-6620> – Р. Т. Рибак

<https://orcid.org/0009-0006-3534-792X> – О. А. Максимюк



van-pas@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ЧАСУ

Проблема. Забезпечення ефективності транспортної логістики в аграрному секторі ускладнюється сезонністю, стислими термінами збереження біосировини та значними обсягами вантажопотоків. Традиційно маршрути оптимізують класичними методами лінійного програмування, що базуються на сталих відстанях. Їх недолік – ідеалізація умов та ігнорування мінливих зовнішніх чинників (погода, стан покриття). В умовах бездоріжжя та опадів швидкість транспорту критично знижується, тому математичне планування лише за відстанню є недостовірним і неефективним.

Мета. Встановлення закономірностей між часовим критерієм доставки аграрної продукції та фінансовою ефективністю процесу перевезень залежно від впливу погодних умов.

Методи дослідження. Дослідження спирається на масиви даних вантажопотоків та GPS-моніторингу компанії, що перевозить цукровий буряк самоскидами у Тернопільській області (22 постачальники, 4 заводи). Робочий план, оптимізований за мінімальною відстанню (метод Фогеля), порівнювався з новим планом, розрахованим за матрицею фактичних витрат часу. Для оцінки відхилень від базового нормативу швидкості (36 км/год) використано Google Maps та натурні GPS-дані за умов дощу. Перерозподіл вантажів ілюстрували діаграмами Сенкі.

Основні результати дослідження. Базовий план (за відстанню) для перевезення 1 553 809 т сировини (77,703 тис. рейсів) потребує 94 455,926 тис. т·км транспортної роботи, 19 997,814 тис. хв часу та 120,007 млн грн. Зафіксовано суттєве падіння швидкості під час дощу (в середньому до 28 км/год, локально – до 14,4 км/год), що доводить хибність планування без урахування реального стану доріг. Побудова плану за критерієм фактичного часу скоротила транспортну роботу на 804,738 тис. т·км (-0,85%), а витрати часу – на 166,724 тис. хв (-0,83%). Фінансові витрати зменшилися на 0,62% (0,739 млн грн), склавши 119,268 млн грн.

Висновки та конкретні пропозиції авторів. Оптимізація маршрутів перевезення агропродукції за критерієм часу є економічно доцільною, особливо для маршрутів зі змішаним покриттям за несприятливих погодних умов. Автори пропонують відмовитися від складання планів виключно за критерієм відстані, оскільки час виконання рейсів на однакових дистанціях суттєво відрізняється. Застосування динамічних матриць часу забезпечує абсолютну економію коштів та підвищує загальну ефективність транспортування.

Ключові слова: транспортна задача, оптимізація маршрутів, опорний план, матриця часу, погодні умови, технічна швидкість, вантажопотоки, автомобільні вантажні перевезення, економічна ефективність, логістичне забезпечення.

М. О. Afonin¹, I. V. Pasnak², R. T. Rybak¹, O. A. Maksymiuk¹

¹Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

²Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

STUDY OF THE EFFICIENCY OF FREIGHT ROAD TRANSPORTATION UNDER ROUTE OPTIMIZATION BASED ON THE TIME CRITERION

Problem. Ensuring the efficiency of transport logistics in the agricultural sector is complicated by seasonality, the short shelf life of bio-raw materials, and significant cargo volumes. Routes are traditionally optimized using classical

linear programming methods based on fixed distances. Their drawback is the idealization of conditions and the disregard of variable external factors (weather, road conditions). In conditions of rough terrain and precipitation, transport speed is critically reduced, so mathematical planning based solely on distance is unreliable and ineffective.

Purpose. To identify patterns between the time criterion for agricultural product delivery and the financial efficiency of the transportation process, depending on the influence of weather conditions.

Research methods. The study is based on data sets of freight flows and GPS monitoring from a company that transports sugar beets by dump trucks in the Ternopil region (22 suppliers, 4 factories). The route plan, optimized for minimum distance (Fogel's method), was compared with a new plan calculated using a matrix of actual travel times. Google Maps and field GPS data under rainy conditions were used to assess deviations from the baseline speed standard (36 km/h). The redistribution of cargo was illustrated using Sankey diagrams.

The main results of the study. The baseline plan (based on distance) for transporting 1,553,809 tons of raw materials (77,703 trips) requires 94,455,926 ton-kilometers of transport work, 19,997,814 minutes of time, and 120.007 million UAH. A significant drop in speed was recorded during rain (on average to 28 km/h, locally to 14.4 km/h), which proves the fallacy of planning without taking into account the actual condition of the roads. Developing a plan based on actual time reduced transport work by 804,738 thousand t·km (-0.85%) and time spent by 166,724 thousand minutes (-0.83%). Financial costs decreased by 0.62% (0.739 million UAH), amounting to 119.268 million UAH.

Conclusions and specific proposals of the authors. Optimizing agricultural product transport routes based on time criteria is economically viable, especially for routes with mixed road surfaces under adverse weather conditions. The authors propose abandoning the practice of drawing up plans based solely on distance, since travel times for identical distances vary significantly. The use of dynamic time matrices ensures absolute cost savings and increases the overall efficiency of transportation.

Keywords: transportation problem, route optimization, reference plan, time matrix, weather conditions, technical speed, freight flows, road freight transport, cost-effectiveness, logistics support.

Вступ. Зростання ринкового попиту та впровадження інноваційних технологій стимулюють масштабування аграрного сектору, який є стратегічно важливим для економіки України. Специфіка галузі – сезонність, стислі терміни збереження якості біосировини та значні обсяги вантажопотоків – зумовлює високі вимоги до логістичного забезпечення. Ефективність транспортування потребує комплексного підходу, що інтегрує класичні логістичні стратегії, раціональний вибір рухомого складу та дотримання нормативів режимів праці й відпочинку персоналу.

Незважаючи на наявність теоретичного базису, заснованого на статистичних методах аналізу, практична імплементація цих підходів на підприємствах ускладнена технологічною застарілістю та дефіцитом верифікованих даних. Актуальність дослідження полягає у необхідності оптимізації транспортних циклів для мінімізації логістичних витрат і втрат продукції.

Традиційно для розв'язання транспортних задач та маршрутизації в агропромисловому комплексі застосовуються класичні методи лінійного програмування [1-2]. Базовим підходом є побудова опорних планів (зокрема, методом найменшої вартості або північно-західного кута) із подальшою їх оптимізацією за допомогою симплекс-методу [3-4]. Ці точні математичні підходи забезпечують знаходження оптимального розв'язку за критеріями найкоротшої відстані або мінімальних фінансових витрат. Проте на практиці задачі вибору транспортних засобів та планування маршрутів часто вирішуються менеджерами

інтуїтивно через високу трудомісткість класичних обчислень для оперативної роботи [5-6]. Головним недоліком класичних методів є ідеалізація умов доставки та вимога стабільності вхідних даних [2-3]. Розрахунки, побудовані виключно на матрицях сталих відстаней, дають суттєву похибку, оскільки не здатні врахувати динамічну природу транспортного процесу та явища імовірнісного характеру, притаманні процесу доставки агропродукції [4-5].

Сучасні дослідження доводять, що процес перевезення сільськогосподарських вантажів формується під жорстким впливом комплексу мінливих зовнішніх чинників [7]. Науковці наголошують, що на транспортний процес впливає їх множина, серед яких найвагомішими є дорожні, погодні, техніко-експлуатаційні та людські чинники [5, 8-9]. Транспортний цикл в агрологістиці переважно розпочинається в умовах бездоріжжя або на ґрунтових дорогах, де низька якість покриття та специфічний ландшафт (наявність ухилів та кривизна шляху) критично знижують експлуатаційну швидкість автомобілів і збільшують питомі витрати пального [1, 6]. Погодні і температурні умови не лише визначають фізичну прохідність доріг, але й диктують жорсткі вимоги до збереження якості швидкопсувних вантажів під час доставки [10-11]. Крім того, просторовий і часовий чинники (зокрема пікова сезонність під час збирання врожаю) породжують високу нерівномірність попиту, що неминуче призводить до масових скупчень техніки в пунктах розвантаження [8]. Відповідно, ігнорування цих змінних параметрів знижує достовірність математичного планування [10].

Через високу обчислювальну складність та негнучкість точних математичних моделей в умовах динамічних змін, фокус досліджень змістився на використання метаевристичних підходів та методів обчислювального інтелекту [5, 12]. У плануванні складних маршрутів високу ефективність демонструють генетичні алгоритми, алгоритми імітації відпалу та мурашиної колонії, які здатні оперативним чином знаходити квазіоптимальні рішення для різних типів транспортних засобів у мінливих умовах [12]. Одним інноваційним напрямком є використання алгоритмічних моделей машинного навчання (штучні нейронні мережі, дерева рішень, випадковий ліс) для високоточного прогнозування витрат пального та часу виконання рейсу [5, 8]. Оцінюючи реальні перспективи, варто зазначити, що методи лінійного програмування не втратили своєї фундаментальної значущості як математичний базис оптимізації. Однак у чистому вигляді їхнє застосування є обмеженим. Найбільш перспективним підходом є гібридизація: використання класичних алгоритмів транспортування на основі динамічних матриць часу та витрат, а не статичних матриць відстаней [4]. Ці матриці повинні формуватися сучасними цифровими інструментами (штучним інтелектом, GPS-моніторингом, системами електронної черги та TMS-системами), які в режимі реального часу враховують погодні чинники, затори, стан доріг та простої [8, 12]. Отже, класичні алгоритми залишаються основою оптимізації, параметри якої генеруються сучасними інтелектуальними масивами даних [5, 12].

Мета. Встановлення закономірностей між часовим критерієм доставки агропродукції та фінансовою ефективністю процесу автомобільних перевезень.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючого плану перевезень на підприємстві;
- встановити закономірності зміни технічної швидкості руху автомобілів-самоскидів за різних погодних умов і порівняти її із прогнозними значеннями;
- побудувати опорний план оптимізаційної задачі, де критерієм є час доставки;
- встановити значення ефективності з урахуванням обсягів перевезень.

Очікуваним результатом є наукове обґрунтування критерізації оптимізаційних задач у сфері автомобільних вантажних перевезень аграрної продукції залежно від погодних умов.

Методика дослідження. Для досліджень взято дані про вантажопотоки та результати GPS-моніторингу транспортної компанії, яка спеціалізується на перевезенні цукрового буряку у західних районах Тернопільської області. Технологія перевезень – використання автомобілів-самоскидів, які працюють за принципом «крос-докінгу», тобто прямі поставки продукції до переробних підприємств. В межах наданих вхідних даних розглянуто результати роботи транспорту, закріпленого за чотирма переробними заводами, що отримують сировину від 22 найзначніших постачальників, які забезпечують понад 80% усього обсягу продукції.

Наданий підприємством робочий план перевезень є оптимізованим за методом Фогеля і представлений у вигляді класичної закритої транспортної задачі лінійного програмування, де критерієм виступає мінімальне значення транспортної роботи у тонно-кілометрах. Серед методів оптимізації, які планується застосувати для перевірки критерію мінімального часу за різних погодних умов, виділяємо вже застосований алгоритм Фогеля, більш класичні методи північно-західного кута та найменшої вартості. Опорні плани отримані цими методами і слугують планами перевезень, оскільки подальша оптимізація методом потенціалів є недоцільною для нашого випадку, зважаючи на ймовірність пропонування алгоритмом дрібних поставок.

Для розуміння фонових (розрахункових) параметрів доставки цукрового буряку до переробних заводів використано сервіс Google Maps, який на основі досвіду користувачів розраховує орієнтовний час руху та технічну швидкість. Для оцінки існуючих умов та впливу погодних чинників, проаналізовано дані GPS-моніторингу транспорту при русі маршрутами, визначеними планом перевезень підприємства.

Для кращої наочної інтерпретації та зручності порівняння розроблених планів перевезення використано не класичні таблиці транспортних задач лінійного програмування, а діаграми Сенкі, які краще ілюструють перерозподіл вантажопотоків.

Результати дослідження. Для того, щоб провести порівняльний аналіз існуючого плану та отриманих пропозицій оптимізації, наводимо отриманий методом Фогеля робочий план перевезень, який використовує підприємство у табл. 1. Оскільки мова йде про постановку класичної транспортної задачі лінійного програмування, у великих клітинках наведені обсяги вантажу у тонах, а в малих – відстань між вантажними пунктами у кілометрах.

Таблиця 1

Робочий план перевезення цукрового буряку

Постачальники	Заводи							
	З ₁		З ₂		З ₃		З ₄	
П ₁	158495	71	0	96	0	125	0	146
П ₂	61971	57	0	104	0	104	0	130
П ₃	34243	56	0	208	0	97	0	125
П ₄	0	109	183596	75	0	146	0	167
П ₅	0	50	119232	24	0	99	0	116
П ₆	0	155	46056	121	0	195	0	216
П ₇	0	56	0	71	141930	57	0	78
П ₈	0	40	0	57	63709	16	0	37
П ₉	0	56	0	96	50683	65	0	97
П ₁₀	0	49	0	56	49945	108	0	135
П ₁₁	0	64	0	81	41592	22	0	52
П ₁₂	0	69	0	81	40041	10	0	38
П ₁₃	0	57	0	29	36573	71	0	92
П ₁₄	0	45	0	68	30451	13	0	42
П ₁₅	0	142	0	149	0	94	105062	71
П ₁₆	0	101	0	43	0	85	103705	81
П ₁₇	0	85	0	80	0	36	81963	28
П ₁₈	0	42	0	25	0	62	50244	76
П ₁₉	0	124	0	165	0	132	45116	125
П ₂₀	0	121	0	117	0	52	39266	29
П ₂₁	0	107	0	116	0	52	38141	48
П ₂₂	0	182	0	171	0	113	31801	90

Такий план, яким зараз керується автопідприємство, дає можливість жорстко закріпити постачальників за заводами, а обсяг транспортної роботи в зонах обслуговування становить 94349652 т·км. Проте, розрахунок маршрутів виключно на основі відстаней між постачальниками та цукровими заводами визнано недостатньо об'єктивним, оскільки він ігнорує фактичні витрати часу на виконання рейсів і дає лише поверхневу оцінку ефективності. З огляду на специфічні умови транспортування сільськогосподарської продукції, зокрема незадовільний стан дорожнього покриття та зниження експлуатаційної швидкості транспортних засобів через максимальне використання їхньої вантажопідйомності, ухвалено рішення будувати опорний план за матрицею витрат часу, а не за критерієм відстані.

Для оцінки реальних дорожніх умов наводимо графіки руху транспортних засобів (в одну сторону) для кожного з переробних підприємств з урахуванням сприятливих (денний час, відсутність опадів) та несприятливих (денний час, опади середнього ступеня) погодних умов. Сприятливі дорожні умови можуть бути відображеними як фонові пряма, яка характеризується технічною швидкістю у 36 км/год і відповідає прогнозованому часу руху між вантажними пунктами, який розрахований за досвідом користувачів у Google Maps. Результати GPS-моніторингу наведені на цій же площині, що дозволяє зрозуміти відхилення від еталонного часу, який і є основою для оптимізації транспортної задачі за мінімальними відстанями (рис. 1-4).

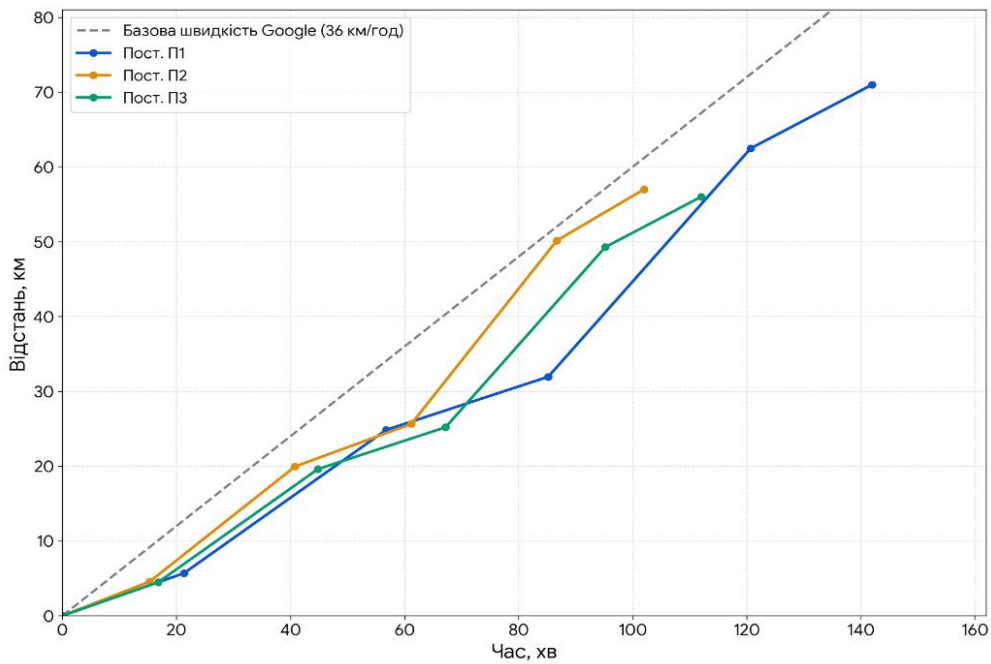


Рисунок 1 – Графік руху транспортних засобів при обслуговуванні заводу №1 за несприятливих погодних умов

Наведений графік ілюструє залежність відстані від часу транспортування для постачальників П1, П2 та П3 порівняно з базовою швидкістю розрахунку сервісу Google (36 км/год) для першого заводу – отримувача продукції.

Відхилення кривих усіх постачальників нижче еталонної пунктирної лінії наочно підтверджує зниження експлуатаційної швидкості вантажних автомобілів у реальних умовах транспортування сільськогосподарської продукції.

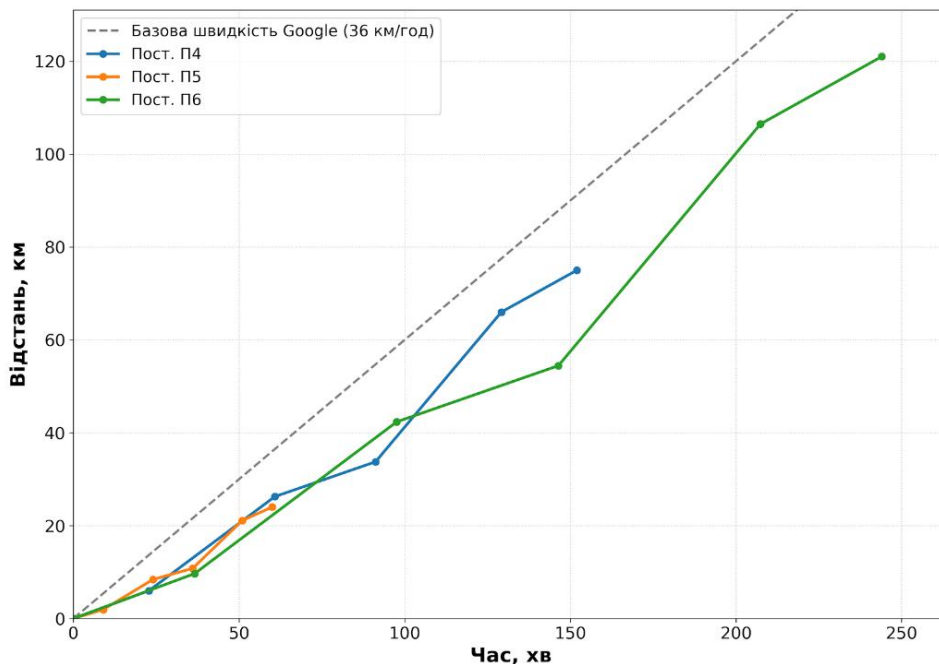


Рисунок 2 – Графік руху транспортних засобів при обслуговуванні заводу №2 за несприятливих погодних умов

Усі траєкторії руху для заводу №2 майже повністю знаходяться нижче еталонної лінії 36 км/год, що вказує на суттєве перевезення по часу. На маршруті П4 технічна швидкість на відрізьку 60-125

хвилин сягає 36,9 км/год, але на фінальній ділянці різко знижується до 20 км/год. П6, долаючи відстань 121 км, тривалий час (з 40 по 210 хв) утримує найбільш стабільний темп на рівні 34,2 км/год.

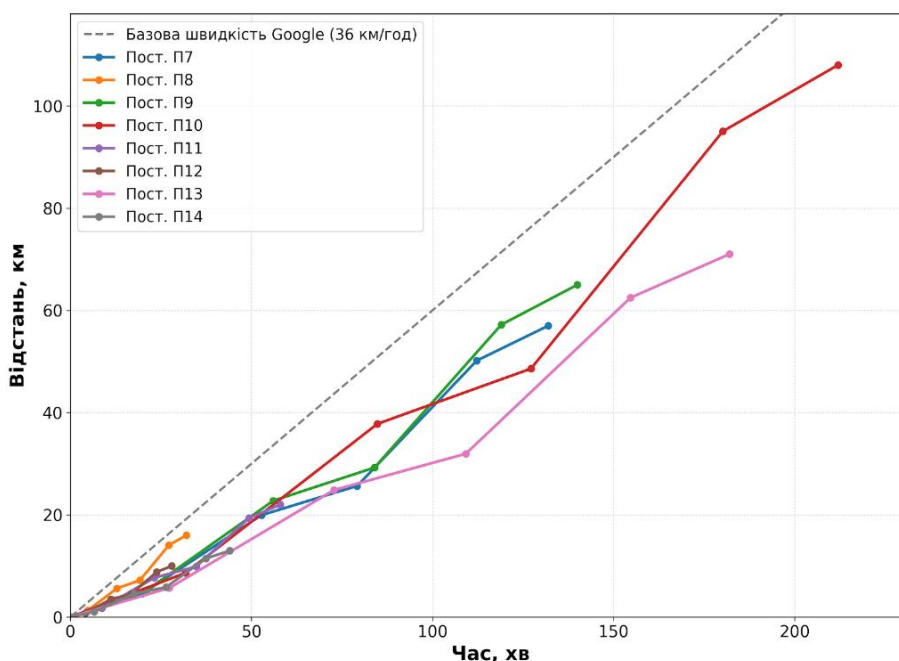


Рисунок 3 – Графік руху транспортних засобів при обслуговуванні заводу №3 за несприятливих погодних умов

Маршрути до Заводу №3 демонструють систематичне відставання від еталонної швидкості, причому найдовший рейс П10 на 108 км триває понад 210 хвилин. Характерною рисою є наявність ділянок із критичним падінням експлуатаційної швидкості: для П10 на відрізку 85-125 хв вона становить лише 16,5 км/год

(поделано 11 км за 40 хв), а для П13 між 75 і 110 хвилинами падає до 12 км/год. Водночас на окремих етапах фіксується інтенсивне компенсаційне прискорення, зокрема транспорт П9 на проміжку 85-120 хв розвиває швидкість 48 км/год, локально перевершуючи базовий норматив.

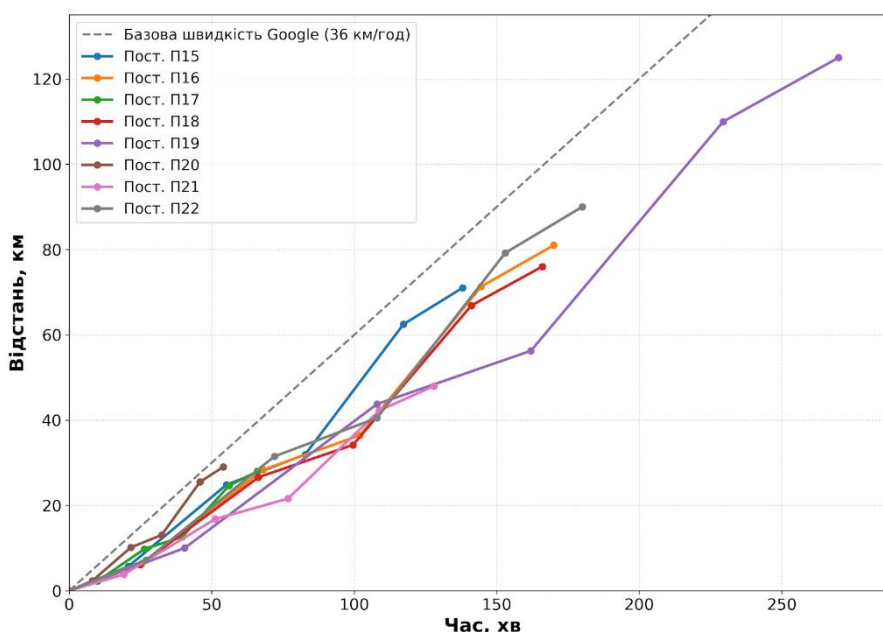


Рисунок 4 – Графік руху транспортних засобів при обслуговуванні заводу №4 за несприятливих погодних умов

Динаміка маршрутів до заводу №4 показує загальне відставання від базового нормативу, де найдовший рейс П19 на 125 км розтягується на 270 хвилин, демонструючи середню швидкість лише близько 28 км/год. Найбільш критичне

падіння швидкості фіксується на цьому ж маршруті П19 у проміжку між 110 та 160 хвилинами: транспорт долає 12-кілометровий відрізок із технічною швидкістю 14,4 км/год. Натомість спостерігаються і різкі прискорення

для надолуження часу, зокрема постачальник П15 на ділянці між 100 та 120 хвилинами проходить 26 км, локально підвищуючи швидкість до 80 км/год та максимально наближаючись до еталонної кривої.

Наступним етапом є заповнення транспортної таблиці таким чином, щоб в ній у клітинках вартості перевезень фігурували значення часу доставки за погіршених погодних умов, отриманих в попередніх дослідженнях (рис. 1-4). Перерозподіл

ми можемо навести у вигляді діаграми Сенкі на рисунку 5. Також варто провести порівняльний аналіз у тонно-кілометрах і тонно-хвилинах для обох планів, якщо в базовий включити фактор погіршених погодних умов (табл. 2).

По діаграмі ми бачимо, що основний перерозподіл відбувся в межах трьох переробних підприємств (31-34), які розташовані більш щільно до постачальників П1-П14. Далі проведемо кількісний аналіз обох планів.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз планів перевезення

Показник	Існуючий план перевезень (оптимізація за відстанню)	Пропонований план перевезень (оптимізація за часом)	Абсолютне відхилення	Відносне відхилення, %
Кількість рейсів, тис. од.	77,703	77,703	0,000	0,00%
Транспортна робота, тис. т·км	94 455,926	93 651,188	-804,738	-0.85%
Витрати часу, тис. хв	19 997,814	19 831,090	-166,724	-0.83%
Витрати на транспортування, млн грн	120,007	119,268	-0,739	-0.62%

Результати розрахунків підтверджують доцільність оптимізації маршрутів перевезення за критерієм часу, особливо, коли мова йдеться про маршрути зі змішаним типом покриття проїзної частини, за наявності значної кількості атмосферних опадів.

Обговорення результатів досліджень

Отримані результати дослідження чітко вказують на те, що несприятливі погодні умови в різній мірі впливають на транспортний процес. Важливим є той факт, що при складанні плану перевезень на осінній сезон не варто керуватись критерієм відстані, оскільки час руху самоскидів за однакового її значення може відрізнятись, як на рис. 4 (в межах від 20 до 100 км).

Аналіз цільових функцій вказує на невеликі відносні значення економії по часу, транспортній роботі чи витратам. Проте, в абсолютному вимірі – це економія часу, який може також бути конвертований в кошти. Це можливо за достатньо чіткого планування роботи, що може збільшити ефективність процесу перевезень більш ніж на 1%, що за таких обсягів транспортування виливається у значну суму.

Висновки

Аналіз існуючого опорного плану перевезень підприємства, побудованого за критерієм найкоротшої відстані, показав, що для забезпечення загальної потреби заводів у 1553809 т сировини необхідно виконати 77,703 тис. рейсів. За такого підходу загальна транспортна робота становить 94455,926 тис.

т·км, а сумарні витрати часу сягають 19 997,814 тис. хв. Відповідно, за актуальними тарифами фінансові витрати на транспортування в межах базового плану становлять 120,007 млн грн.

Встановлено суттєве відхилення фактичної технічної швидкості руху самоскидів під впливом погодних умов (дощ) від прогнозного базового нормативу (36 км/год). Більшість маршрутів демонструють систематичне відставання: наприклад, на рейсі П19 (125 км) середня швидкість становить лише 28 км/год із критичним падінням до 14,4 км/год на окремих відрізках, а на маршруті П10 швидкість локально знижується до 16,5 км/год. Наявність короткочасних компенсаційних прискорень (до 48-80 км/год) не здатна повністю нівелювати загальне зниження експлуатаційної швидкості, що підтверджує хибність планування виключно за відстанями без урахування реального стану доріг.

Побудовано та оптимізовано новий план перевезень, де головним критерієм виступає матриця фактичних витрат часу на виконання маршрутів. Завдяки математичному перерозподілу вантажопотоків між 22 постачальниками та 4 заводами вдалося скоротити загальні витрати часу на 166,724 тис. хв (на 0,83% менше від базового плану). Разом із тим, загальна транспортна робота також зменшилася на 804,738 тис. т·км (на 0,85%) і склала 93 651,188 тис. т·км.

Розрахунок економічної ефективності підтвердив доцільність впровадження оптимізованого за часом плану. При збереженні

незмінного обсягу перевезеної продукції та сталої кількості рейсів (77,703 тис. од.), прямі фінансові витрати на транспортування скоротилися на 0,62% і становлять 119,268 млн грн. Таким чином, з урахуванням зростання тарифів на паливо, абсолютна економія коштів для підприємства складе 0,739 млн грн.

Список літератури:

1. Аулін В. В., Голуб Д. В., Біліченко В. В., Замуренко А. С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 1 (11). С. 4–10. (<https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10>)

2. Бережна Н. Г. Підвищення ефективності та надійності функціонування транспортно-логістичного комплексу при перевезенні цукрового буряку : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.22.01. Харків, 2018, 22 с.

3. Медведєв Є.П. «Факторний аналіз організації транспортного забезпечення при збиранні врожаю зернових культур в Україні», *Управління проектами, системний аналіз і логістика, Науковий журнал, Випуск 18, Частина 1: Серія «Технічні науки»*. С.86-93, 2016

4. Шраменко Н.Ю., Шраменко В.О. Напрямки ефективної організації постачання сільськогосподарських вантажів. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання* : тези доповідей IV Всеукраїнської науково-теоретичної конференції. Львів : НУ «ЛП», 2021. С. 64–65.

5. Котенко В. І. Факторний аналіз функціональних та вартісних показників транспортного процесу доставки зернових культур. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. Том 2, № 19. С. 89–96. (<https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.907>)

6. Тимочко В. О., Падюка Р. І. Вибір транспортних засобів для транспортування сільськогосподарської продукції. *Розвиток транспорту*. 2018. № 1 (2). С. 116–125. (<https://doi.org/10.33082/td.2018.1-2.11>)

7. Біліченко В.В., Котенко В.І. Підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. № 2. С. 4–9. (<https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9>)

8. Shramenko N., Muzylyov D., Manukian A. Analysis of the grain market in Ukraine and directions for the development of logistics for the transportation of grain cargo. *Technical Service of Agriculture Forestry and Transport*. 2020. Vol. 18. P. 70–79.

9. Медведєв Є.П. Підвищення ефективності транспортного забезпечення збирально-

транспортного комплексу: дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.01. Київ, 2019. 212 с.

10. Музильов Д. О., Шраменко Н. Ю. Визначення середньої вантажності автомобілів при доставці швидкопсувних сільськогосподарських вантажів в ланцюгах постачань. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2021. Том 6, № 4. С. 280–286. (<https://doi.org/10.36887/2415-8453-2021-4-34>)

11. Soysal M., Bloemhof-Ruwaard J. M., van der Vorst J. G. A. J. Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 152. P. 57–70. (<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.012>)

12. Падюка Р. І. Моделі та методи управління ресурсами виробничих проектів рослинництва: дис. канд. техн. наук: спец. 05.13.22. Львів, 2020. 223 с.

References:

1. Aulin, V. V., Holub, D. V., Bilichenko, V. V., & Zamurenko, A. S. (2020). Formuvannia pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen [Formation of indicators for evaluating the efficiency of the transport process of transportation]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, (11), 4–10. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10> [in Ukrainian].

2. Berezhna, N. H. (2018). Pidvyshchennia efektyvnosti ta nadiinosti funktsionuvannia transportno-lohistychnoho kompleksu pry perevezenni tsukrovoho buriaku [Increasing the efficiency and reliability of the functioning of the transport and logistics complex during the transportation of sugar beet] (Publication No. 05.22.01) [Extended abstract of candidate's thesis].

3. Medviediev, Ye. P. (2016). Faktornyi analiz orhanizatsii transportnoho zabezpechennia pry zbyranni vrozhaiu zernovykh kultur v Ukraini [Factor analysis of the organization of transport support during the harvesting of grain crops in Ukraine]. *Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka*, (18, Part 1), 86–93. [in Ukrainian].

4. Shramenko, N. Y., & Shramenko, V. O. (2021, October). Napriamky efektyvnoi orhanizatsii postachannia silskohospodarskykh vantazhiv [Directions for effective organization of supply of agricultural goods]. In *Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozv'iazannia: tezy dopovidei IV Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii* (pp. 64–65). Lviv Polytechnic National University. [in Ukrainian].

5. Kotenko, V. I. (2022). Faktornyi analiz funktsionalnykh ta vartisnykh pokaznykiv transportnoho protsesu dostavky zernovykh kultur

[Factor analysis of functional and cost indicators of the transport process of grain crops delivery]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti*, 2(19), 89–96. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.907> [in Ukrainian].

6. Tymochko, V. O., & Padiuka, R. I. (2018). Vybir transportnykh zasobiv dlia transportuvannia silskohospodarskoi produktsii [Selection of vehicles for transportation of agricultural products]. *Rozvytok transportu*, (2), 116–125. <https://doi.org/10.33082/td.2018.1-2.11> [in Ukrainian].

7. Bilichenko, V. V., & Kotenko, V. I. (2019). Pidkhody do modeliuvannia popytu na vantazhni perevezennia u zernovii lohistytsi [Approaches to modeling the demand for freight transportation in grain logistics]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, (2), 4–9. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9> [in Ukrainian].

8. Shramenko, N., Muzylyov, D., & Manukian, A. (2020). Analysis of the grain market in Ukraine and directions for the development of logistics for the transportation of grain cargo. *Technical Service of Agriculture Forestry and Transport*, 18, 70–79.

9. Medvediev, Ye. P. (2019). Pidvyshchennia efektyvnosti transportnoho zabezpechennia zbyralno-

transportnoho kompleksu [Increasing the efficiency of transport support of the harvesting and transport complex] (Publication No. 05.22.01) [PhD Thesis, Kyiv]. [in Ukrainian].

10. Muzylov, D. O., & Shramenko, N. Y. (2021). Vyznachennia serednoi vantazhnosti avtomobiliv pry dostavtsi shvydkopsuvnykh silskohospodarskykh vantazhiv v lantsiuhakh postachan [Determination of the average carrying capacity of cars during the delivery of perishable agricultural goods in supply chains]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky*, 6(4), 280–286. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2021-4-34> [in Ukrainian].

11. Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & van der Vorst, J. G. A. J. (2014). Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *International Journal of Production Economics*, 152, 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.012>

12. Padiuka, R. I. (2020). Modeli ta metody upravlinnia resursamy vyrobnychykh proiektiv roslynnytstva [Models and methods of resource management of crop production projects] (Publication No. 05.13.22) [PhD Thesis, Lviv]. [in Ukrainian].

© М. О. Афонін, І. В. Паснак, Р. Т. Рибак,
О. А. Максимюк, 2026.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 20.03.2026.

Прийнята до друку 29.04.2026.

Опублікована 25.05.2026.