

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.3.013

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.169-187](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.169-187)

В.В. Аулін, проф., д-р. техн. наук, **О.М. Тертиця**, асп., **Т.М. Надич**, асп., **А.В. Гриньків**, ст. дослід., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

О.Л. Ляшук, проф., д-р. техн. наук, **В.З. Гудь**, проф., д-р. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

С.З. Залуцький, канд. техн. наук

ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ ім. І.Пулюя», м. Тернопіль, Україна

e-mail: AulinVV@gmail.com

Критерії вибору великовагових транспортних засобів для ефективних і безпечних перевезень

Визначено етапи вибору великовагових транспортних засобів для безпечного перевезення продукції підприємства. Обґрунтовано технічні, організаційні та економічні критерії. Враховано габаритні та вагові параметри, обмеження навантаження на вісь, а також типи комплектації (шторна, бортова, фургон/рефрижератор). Розглянуто дев'ять варіантів із позиціонуванням центру ваги. Запропоновано механізм вибору транспорту за технічною готовністю та економічною ефективністю. Виконано ранжування, з якого обрано три оптимальні варіанти для перевезень підприємства ЗАТ "Кіровоградграніт".

великоваговий транспортний засіб, критерій, ефективність, безпека, надійність, граничне навантаження, допустима вага, м'які контейнери

Постановка проблеми. Обґрунтування та вибір типу великовагових транспортних засобів (ВТЗ) для ефективного і безпечного перевезення готової продукції підприємства ґрунтуються на необхідності запропонування підходів, методів та інструментів, які дозволять отримати максимальну ефективність транспортної складової при стабільному та керованому ланцюгу постачань продукції [1-4]. При цьому за неправильну вказівку ваги та за перевищення допустимої маси та габаритів ВТЗ, навантаження на вісь ВТЗ, юридичними особами або індивідуальними підприємцями, що здійснювали навантаження вантажу на ВТЗ, передбачені штрафні санкції [5-7]. Тому важливим є вирішення завдання вибору ВТЗ, формування структури оцінюючих критеріїв та впорядкування ВТЗ для перевезень готової продукції підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В існуючих модельних уявленнях великі обсяги перевезення вантажів та вантажопідйомності ВТЗ на різних маршрутах доставки є рівноцінними [8,9]. В той час у ряді випадків буває більш ефективно змінити (збільшити), або зменшити обсяги перевезень вантажів на окремих маршрутах з використанням ВТЗ [10,11]. Можливо також пропорційно (у місці та часі) сформувати план перевезень між учасниками транспортно-логістичного ланцюга [11,12]. У цьому випадку модель перевізного процесу необхідно трансформувати, виходячи з введених додаткових умов функціонування транспортно-логістичної системи і вибору необхідних ВТЗ [13,14].

За наявності у підприємств автопоїздів різної вантажопідйомності, що обслуговують кілька маршрутів доставки, ефективна продуктивність доставки продукції залежатиме від типу ВТЗ та маршруту (плеча доставки, характеристики та обмежень автодоріг) доставки вантажу. У такій постановці ВТЗ, що є в наявності, необхідно розподілити по маршрутах таким чином, щоб максимізувати загальний обсяг перевезень, дотримуючись встановлених співвідношень обсягів доставки між маршрутами [16,17].

Критерієм оптимальності в даній постановці приймають сумарний обсяг перевезення вантажів у транспортно-логістичній системі, який дозволить досягти найбільш продуктивної роботи автопоїздів. У свою чергу необхідно знизити як сумарні, так і питомі витрати на перевезення готової продукції підприємства. У разі необхідності слід врахувати рівень значущості (пріоритетності) певних маршрутів, а також необхідності дотримання заходів безпеки на маршрутах [10,18,19]. При цьому для співвідношення обсягів доставки вантажів, що визначаються плановими умовами перевезень, можна запровадити коефіцієнт пріоритетності певного маршруту доставки K_j [20,21], відповідно, для сукупності всіх маршрутів транспортно-логістичної системи підприємства $\sum_{j=1}^{j=m} K_j = 1$ [22,23]. В такій постановці завдання цільова функція має

вигляд:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} x_{ij} K_j \rightarrow \max. \quad (1)$$

Спостерігається обмеження по кількості ВТЗ (автопоїздів):

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{x_{ij}}{\text{Пр}_{ij}} \leq N_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

де N_i – кількість ВТЗ i -го типу.

При цьому необхідне дотримання встановленого співвідношення обсягів перевезень між маршрутами [24,25]:

$$\frac{\sum_{j=1}^{j=m} x_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=n} x_{ij}} = V_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де V_j – відношення обсягів перевезень за формою маршруту до загального обсягу доставки вантажів.

Не зважаючи на зазначене, не надано обґрунтування критеріїв і моделей вибору ВТЗ (автопоїздів) для перевезення готової продукції підприємств з урахуванням питань безпеки в процесах вантажних перевезень.

Постановка завдання. Метою даної роботи є обґрунтування критеріїв і моделей вибору великовагових транспортних засобів для ефективних і безпечних перевезення готової продукції підприємства з врахуванням перевантажень та варіантів розміщення вантажів.

Для реалізації поставленої мети в роботі розв'язувались наступні завдання:

1. Обґрунтувати сукупність технічних, організаційних та економічних (ринкових) оціночних критеріїв для формування вихідної множини альтернативних варіантів великовагових транспортних засобів ефективності перевезень.
2. Виявити можливі варіанти використання з урахуванням граничних навантажень на вісь та повної ваги великовагових транспортних засобів.
3. Оцінити та проаналізувати розміри шкоди від перевищення допустимих

осьових навантажень та від перевищення значень допустимої маси, оціночні критерії вибору великовагових транспортних засобів з метою оцінки ефективності перевезень готової продукції підприємства.

Виклад основного матеріалу. Основні етапи вирішення проблеми вибору ВТЗ для ефективного та безпечного транспортування готової продукції підприємства полягають у наступному:

Етап 1. Формування вихідної множини альтернативних варіантів ВТЗ та сукупності критеріїв для оцінки ефективності перевезення готової продукції підприємства;

Етап 2. Формування структури переваг оціночних критеріїв для певного типу ВТЗ перевезення готової продукції підприємства з урахуванням навантаження на вісь ВТЗ і безпеки перевезень;

Етап 3. Формування впорядкованої множини ВТЗ для перевезення готової продукції підприємства з оцінкою заподіяної шкоди при перевищенні допустимого навантаження на вісь та перевищення маси в цілому.

У рамках першого етапу вибір ВТЗ відбувався на підставі наступних груп критеріїв:

Група 1. Технічні особливості рухомого складу та вагових параметрів ВТЗ (технічні критерії):

- 1.1 Вантажопідйомність автомобіля, т (ТКр₁);
- 1.2 Споряджена маса автомобіля, т (ТКр₂);
- 1.3 Повна маса автопоїзда, т (ТКр₃);
- 1.4 Довжина автомобіля, м (ТКр₄);
- 1.5 Ширина автомобіля, м (ТКр₅);
- 1.6 Висота автомобіля, м (ТКр₆);
- 1.7 Об'єм кузова автомобіля, м³ (ТКр₇);
- 1.8 Номінальна потужність двигуна автомобіля, кВт (ТКр₈);
- 1.9 Максимальна швидкість автомобіля, км/год (ТКр₉);
- 1.10 Витрати палива, л/100 км (ТКр₁₀);
- 1.11 Об'єм двигуна автомобіля, л (ТКр₁₁);
- 1.12 Потужність двигуна автомобіля, кВт (ТКр 12);
- 1.13 Шини, дюйми (ТКр₁₃);
- 1.14 Об'єм паливного бака автомобіля, л (ТКр₁₄);
- 1.15 Радіус розвороту, м (ТКр₁₅).

Група 2. Розташування вантажу в кузові, збереження вантажу при транспортуванні, безпеки вантажно-розвантажувальних операцій (організаційні критерії):

- 2.1 Час у наряді за добу, год (ОКр₁);
- 2.2 Число робочих днів на рік, дні (ОКр₂);
- 2.3 Число днів у капітальному ремонті, дні (ОКр₃);
- 2.4 Ресурс до капітального ремонту, тис. км (ОКр₄);
- 2.5 Коефіцієнт ТОіР, К, чол.·год/1000 км (ОКр₅);
- 2.6 Простої з організаційних причин, дні (ОКр₆);
- 2.7 Кількість ремонтних робітників, чол. (ОКр₇);
- 2.8 Кількість механіків у гаражі, чол. (ОКр₈).

Система обмежень за цією групою оціночних критеріїв полягає в наступному: дотримання допустимих осьових навантажень за максимального корисного навантаження ВТЗ; відповідальність відправника вантажу за збереження вантажу при

транспортуванні; оптимізація часу вантажно-розвантажувальних операцій.

Група 3. Поєднання потенційних технічних та технологічних інтересів з можливостями ринку автотранспортних послуг (економічні (ринкові) критерії).

- 3.1 Термін служби автомобіля, років;
- 3.2 Темп зростання експлуатаційних витрат на ТОiP на рік, % (PKp₁);
- 3.3 Тарифна ставка ремонтників, грн./год (PKp₂);
- 3.4 Коефіцієнт накладних витрат (PKp₃);
- 3.5 Коефіцієнт витрат за запасні частини (PKp₄);
- 3.6 Вартість шини, тис. грн. (PKp₅);
- 3.7 Ціна автопоїзда, млн. грн. (PKp₆);
- 3.8 Частка залишкової вартості ціни після 8 років експлуатації, % (PKp₇).

На другому етапі кожна комплектація рухомого складу аналізувалась з дотриманням вагових параметрів у порожньому стані, при рівномірному (розташування центру тяжіння посередині вантажного відсіку) завантаженні до повної маси, при завантаженні до повної маси зі зміщенням центру тяжіння та при весняно-осінніх обмеженнях: 6 т на одну вісь, 10 т на групу з двох осей, 12 т на групу з трьох осей, 16 т на групу з чотирьох осей.

Найпопулярніший (поширений) тип ВТЗ є сідельний автопоїзд, у складі тягача з колісною формулою 4X2 (двохосний з двосхилим ошиновуванням) і тривісного шторного напівпричепа. Оптимальний варіант причіпного рухомого складу - стандартний шторний напівпричіп власною масою не більше 6500 кг у складі з двовісним сідельним тягачем і 6800 кг з сідельним тривісним тягачем.

Переваги шторної комплектації перед бортовим варіантом тенту полягає в тому, що даний варіант легше на 300..350 кг, немає необхідності відкривати і закривати борти, отже, швидше можливо здійснити навантаження і розвантаження, спрощена система кріплення стяжними пасками. Алюмінієві борти сучасних напівпричепів не можуть бути засобом кріплення, оскільки при перевищенні навантаження висока ймовірність його деформації і, отже, виникнення додаткових витрат на ремонт та обслуговування ВТЗ.

Переваги шторної комплектації перед відкритим бортовим варіантом полягають у тому, що вантаж захищений від опадів, питоме навантаження (на один погонний метр) на раму/підлогу шторного напівпричепа дещо вище, тому що частина навантаження забирає на себе надбудову. Переваги шторної комплектації перед фургоном/рефрижератором полягають у тому, що вона легша на 800...1000 кг і є можливість завантаження збоку відразу 2 м'які контейнери (МКР).

При перевезенні готової продукції підприємства в МКР масою в 1т і номінальною площею 1,0x1,0 м² можна досягти максимального корисного навантаження за рахунок точного розташування і оптимального кріплення вантажу.

Для вибору ВТЗ були розглянуті технічні особливості рухомого складу та розташування вантажу в кузові під час контейнерного перевезення для наступних варіантів комплектацій (табл. 1).

Крім того, у роботі були розглянуті різні варіанти використання автопоїздів при перевезенні готової продукції підприємства. У транспортно-логістичній системі підприємства має низку значних переваг, таких як: більший обсяг перевезення за один рейс; можливість різного рівня ремонту, технічного обслуговування чи заміни лише однієї частини автопоїзда; менші окремі статті експлуатаційних витрат порівняно з одиночними ВТЗ.

Варіант 1. П'ятивісний автопоїзд (табл. 1) у складі двовісного сідельного тягача з колісною формулою 4x2 та тривісного напівпричепа ("єврофура").

Даний вид транспортного пропонується використовувати як один із основних, виходячи з описаних критеріїв вибору рухомого складу.

Внутрішні розміри напівпричепа: тент 13,62 м x 2,47 м x 2,67-2,71 м, допустиме осьове навантаження навантажувача на підлогу 5,4 або 7,1 т; рефрижератор 13,31 м x 2,46 м x 2,6 м, допустиме осьове навантаження навантажувача на підлогу 7 т.

Таблиця 1 – Вихідна множина можливих варіантів використання великоваговими транспортних засобів для перевезення готової продукції підприємства

№ п/п	Тип ТЗ	Мінімально граничне навантаження на вісь при повному завантаженні ТЗ, т	Повна вага ТЗ при повному завантаженні, т
1	П'ятивісний автопоїзд в складі двохвісного сидельного тягача з колісною формулою 4x2 і трьохвісного причепа (єврофура)(ТЗ ₁)	10	40
2	П'ятивісний автопоїзд в складі двохвісного сидельного тягача з рефрижератором і трьохколісного причепа (ТЗ ₂)	10	40
3	Шеститивісний автопоїзд в складі двохвісного сидельного тягача і трьохколісного причепа (ТЗ ₃)	10	44
4	Шеститивісний автопоїзд в складі двохвісного сидельного тягача і чотирьохколісного причепа (ТЗ ₄)	10	44
5	Одинична 2-х вісна вантажівка 4x2 (ТЗ ₅)	10	18
6	Одинична 3-х вісна вантажівка 6x2 (ТЗ ₆)	15 на 2 осі	25
7	Одиночний самоскид з колісною формулою 8x4 (ТЗ ₇)	16 на 2 осі	32
8	Самоскидний автопоїзд в складі трьохвісного сидельного тягача з колісною формулою 6x2 і трьохвісного напівпричепа (ТЗ ₈)	36,5 на три осі	44
9	Самоскидний автопоїзд в складі двохвісного сидельного тягача з колісною формулою 4x2 і трьохвісного напівпричепа (ТЗ ₉)	18	40

Джерело: розроблено авторами

Для розрахунку взято автопоїзд власною масою 15338 кг з допустимою повною масою для п'ятивісного автопоїзда в Україні 40 000 кг. Корисне навантаження може становити 24642 кг (рис. 1).

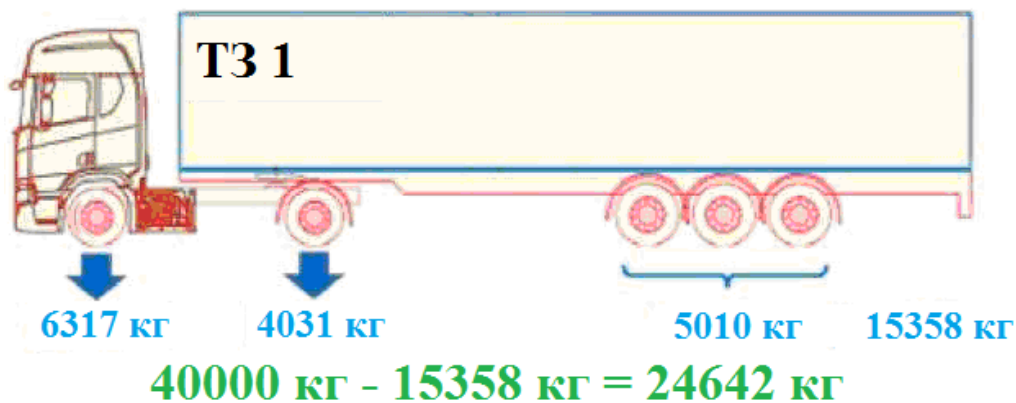


Рисунок 1 – Загальний вид автопоїзда власною масою 15338 кг з допустимою повною масою для п'ятивісного автопоїзда 40 000 кг та корисним навантаженням 24642кг

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

При цьому при рівномірному завантаженні даного автопоїзда до максимальної повної маси з розташуванням центру ваги посередині напівпричепи отримуємо перевантаження провідною віссю тягача (рис. 2).



Рисунок 2 – Варіант рівномірного завантаження автопоїзда до максимальної повної маси з розташуванням центру ваги посередині напівпричепи

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

При завантаженні з розташуванням центру тяжіння посередині без перевищення осевих навантажень максимальне корисне навантаження не повинно перевищувати 21900 кг (рис. 3).

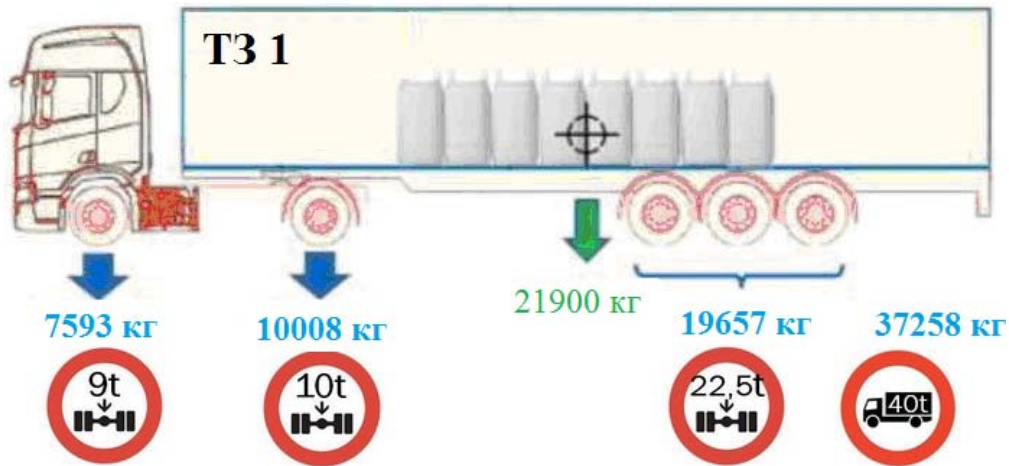


Рисунок 3 – Завантаження автопоїзда з розташуванням центру тяжіння посередині без перевищення осьових навантажень

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

Основною проблемою дотримання осьових навантажень даного виду автопоїзда є перевантаження провідної осі тягача при недовантаженій групі осей. Розставивши вантаж так, щоб центр ваги зрушив назад, можемо занурити 24 000 кг або 24 м'яких контейнерів (МКР) (рис. 4).

Було розглянуто два варіанти розміщення МКР: варіант 1 - розміщення 21 МКР; варіант 2 – розміщення 24 МКР.

Варіант 1 розміщення 21 МКР (спосіб 1). У цьому варіанті перші три ряди розставляються по 1 МКР без відстані між передньою стінкою та між собою. Далі слідує 9 рядів по два МКР у кожному. При цьому варіанті розміщення відбувається перевантаження по провідній осі тягача. Таким чином, такий спосіб розміщення МКР не допустимий (рис.5).

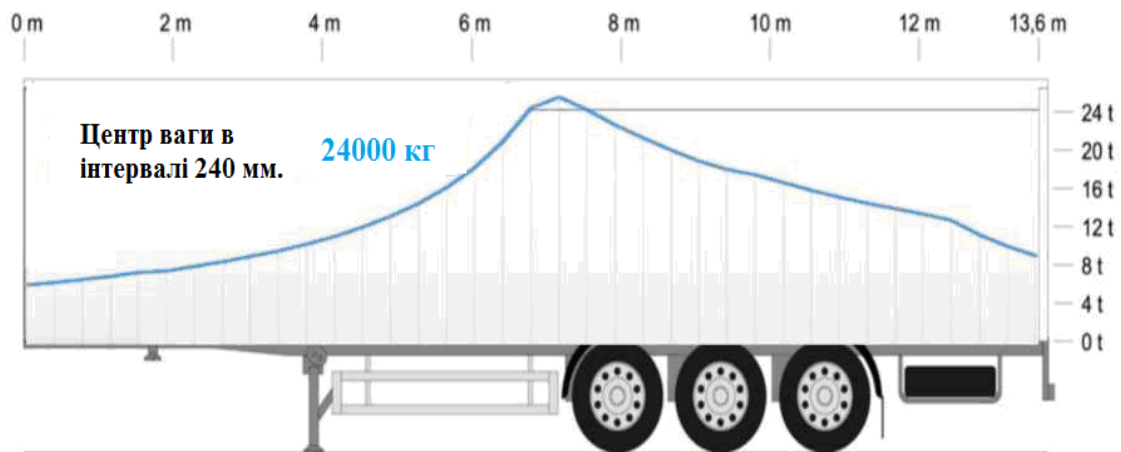


Рисунок 4 – Діаграма позиціонування центру ваги автопоїзда при максимальному завантаженню

Джерело: розроблено авторами

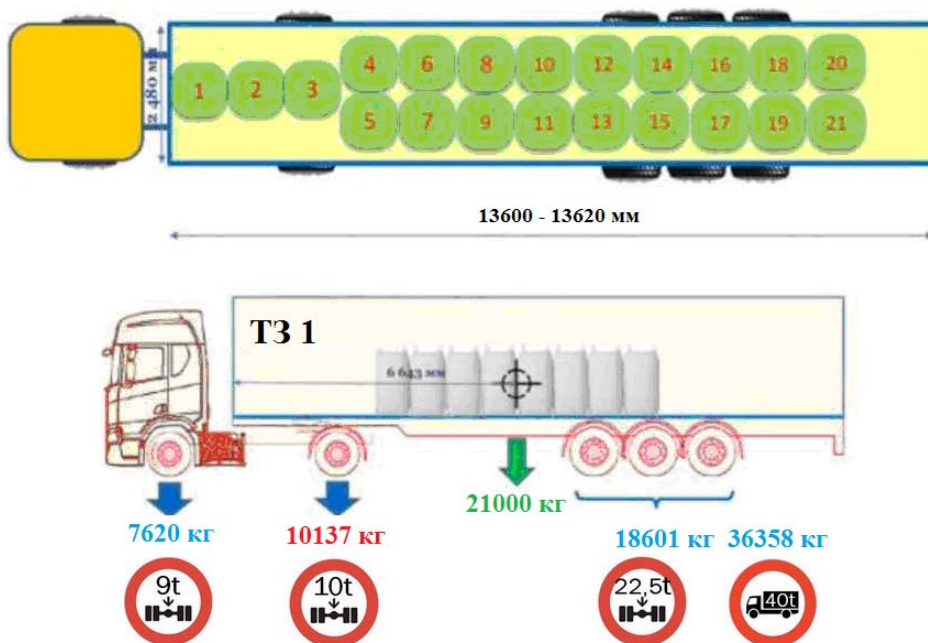


Рисунок 5 – Варіант розміщення в автопоїзді 21 м'яких контейнерів (спосіб 1)

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

Варіант 1 розміщення 21 МКР (спосіб 2) (рис. 6). У цьому варіанті перші чотири ряди розставляються по 1 МКР без відстані між передньою стінкою та між собою. Далі слідує 8 рядів по два МКР у кожному і ще один ряд по 1 МКР. При цьому варіанті розміщення перевантаження по осях немає. Необхідно використовувати цей варіант розміщення МКР (рис. 6).

Варіант 1 розміщення 24 МКР (рис. 7). У цьому варіанті перші два ряди розставляються по 1 МКР без відстані між передньою стінкою та між собою. Якщо решта 11 рядів стануть рівно в 11 м, то відстань від передньої стінки до 3-го ряду має бути не менше 2,1 м. Інакше буде перевантаження по провідній осі тягача. 24 МКР увійде, якщо в середньому в довжину кожен МКР не перевищуватиме 1,04 м.

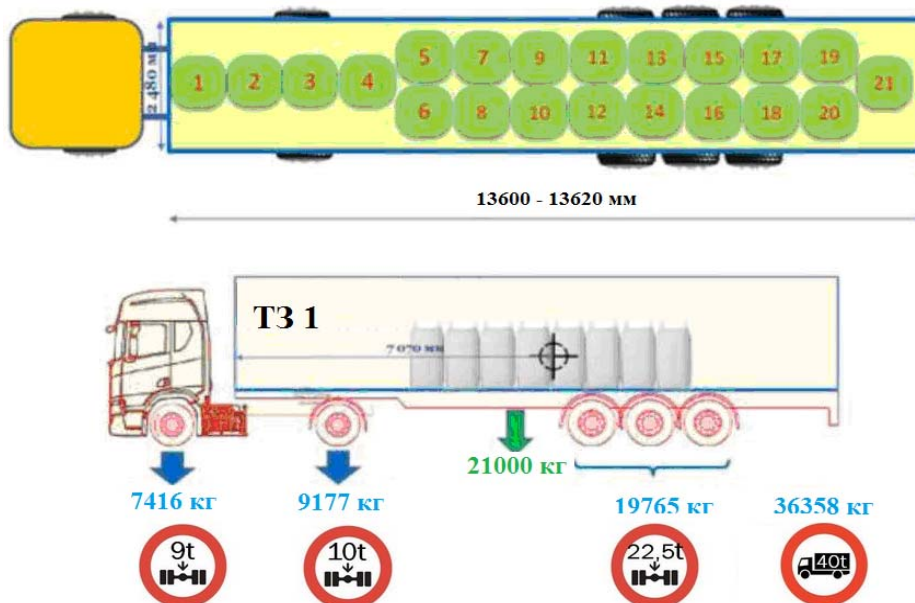


Рисунок 6 – Варіант розміщення в автопоїзді 21 м'яких контейнерів (спосіб 2)

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

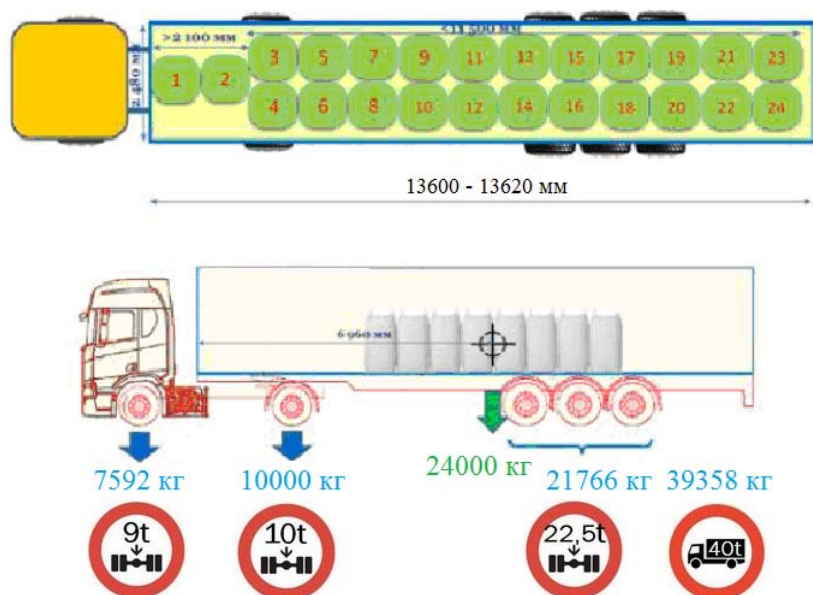


Рисунок 7 – Варіант розміщення в автопоїзді 24 м'яких контейнерів

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

Варіант 2 (табл. 1). П'ятівісний автопоїзд у складі двовісного сидельного тягача з рефрижератором та напівпричепа тривісного

Спосіб 1. У цьому способі перші три ряди розставляються по 1 МКР без відстані між передньою стінкою та між собою. Далі слідує 9 рядів по два МКР у кожному. Місткість складає 21 м'який контейнер (МКР). При цьому варіанті розміщення відбувається перевантаження по провідній осі тягача. Таким чином, такий спосіб розміщення МКР не допустимий.

Спосіб 2. У цьому способі перші чотири ряди розставляються по 1 МКР без відстані між передньою стінкою та між собою. Далі слідує 8 рядів по два МКР у кожному і ще один ряд по 1 МКР. Місткість складає 21 МКР. При цьому варіанті розміщення перевантаження по осях немає. Необхідно використовувати цей варіант розміщення МКР (рис. 8).

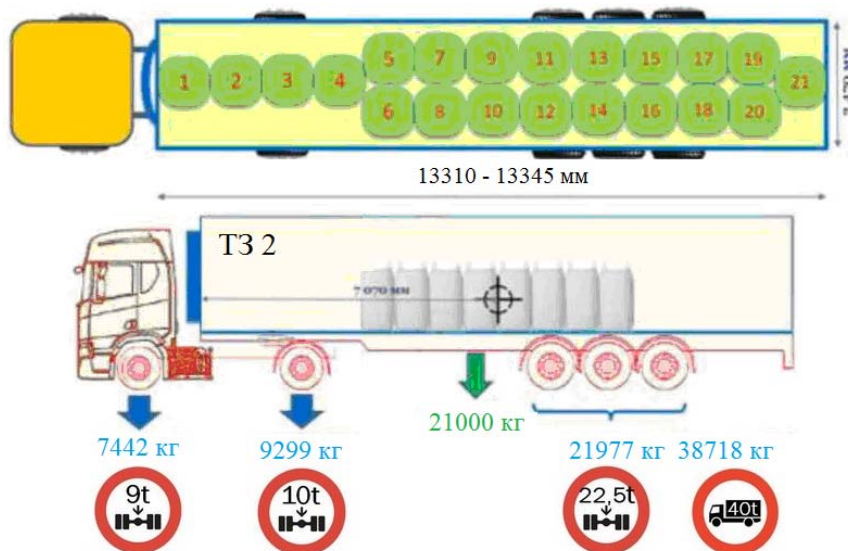


Рисунок 8 – Розстановка 21 МКР (спосіб 2) у двовісному сидельному тягачі з рефрижератором та тривісним напівприцепом

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

Варіант 9 (табл.1). Самоскидний автопоїзд у складі двовісного сідельного тягача з колісною формулою 4x2 та тривісного напівпричепа

У даного типу автопоїзда рульова вісь та ведуча вісь з подвійною ошиновкою, а об'єм кузова становить 34 м³. Це один із найбільших кузовів, що застосовуються на території України ("Тонар"), і один із найлегших.

При задньому положенні зчіпного шворня потенційне корисне навантаження становить 22352кг. При рівномірному завантаженні 22352кг до дозволеної повної маси 40000 кг відбувається перевантаження по провідній осі тягача. Передбачувано змістити центр тяжкості сипучого вантажу майже неможливо (рис. 9).

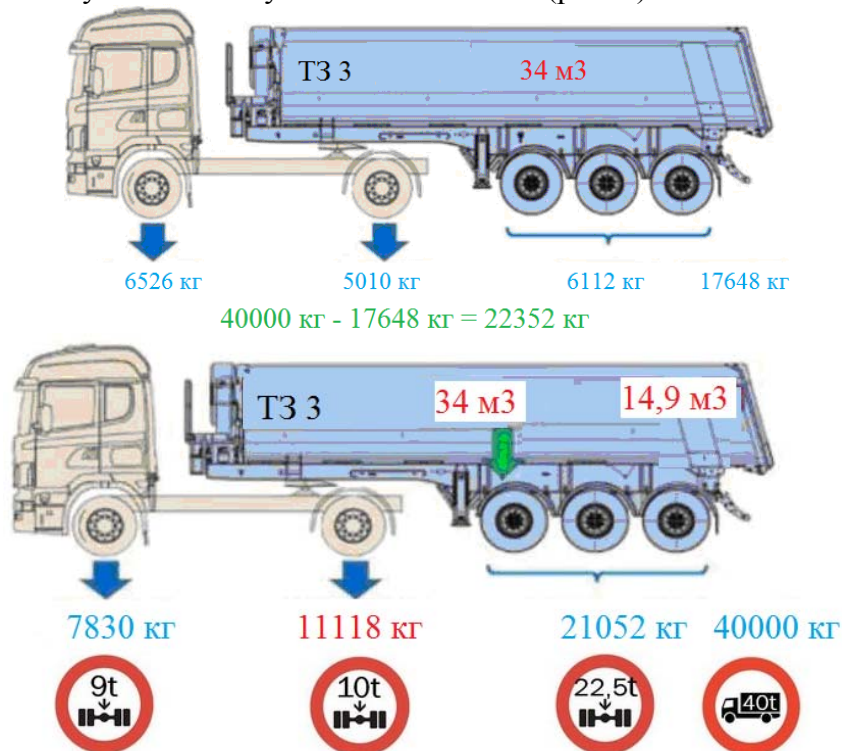


Рисунок 9 – Перевантаження по провідній осі тягача при рівномірному завантаженні 22352 кг до дозволеної повної маси 40000 кг

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

Без перевантаження по вісях у цю комбінацію можна завантажити 18259 кг (рис.10).

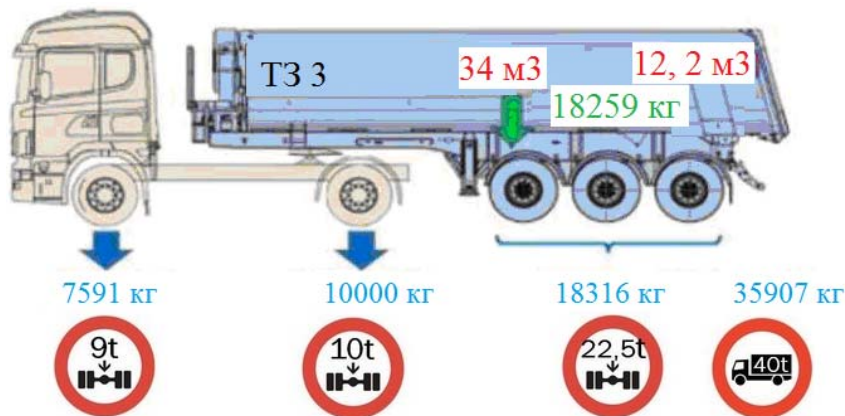


Рисунок 10 – Завантаження автопоїзда 18259 кг без перевантаження

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

При завантаженні 35000 кг виникає перевантаження, у тому числі технічний, по провідній осі тягача та групі осей причіпних (рис. 11).

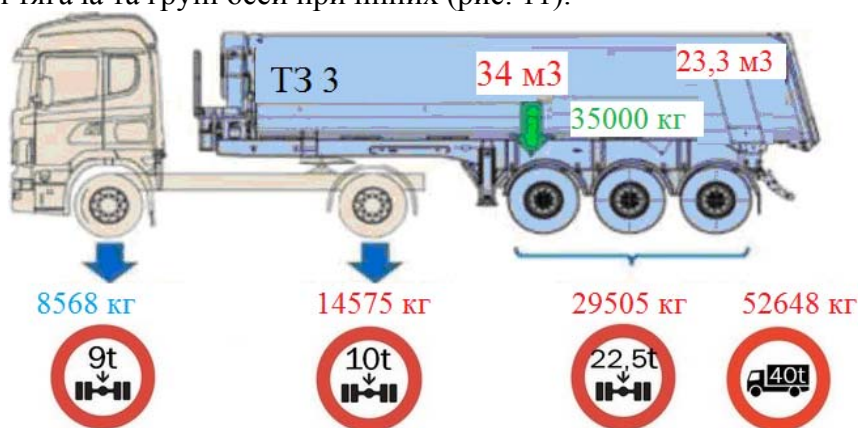


Рисунок 11 – Виникнення перевантаження, у тому числі технічного, по провідній осі тягача та групі осей причіпних при завантаженні 35000 кг

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

При завантаженні повного кузова 34м³ виникає перевантаження, у тому числі технічне, за всіма параметрами, що пов'язане з виникненням ризикових ситуацій: вибухи коліс від перегріву; відмова гальмівної системи; погана стабілізація під час руху автопоїзда (рис. 12).

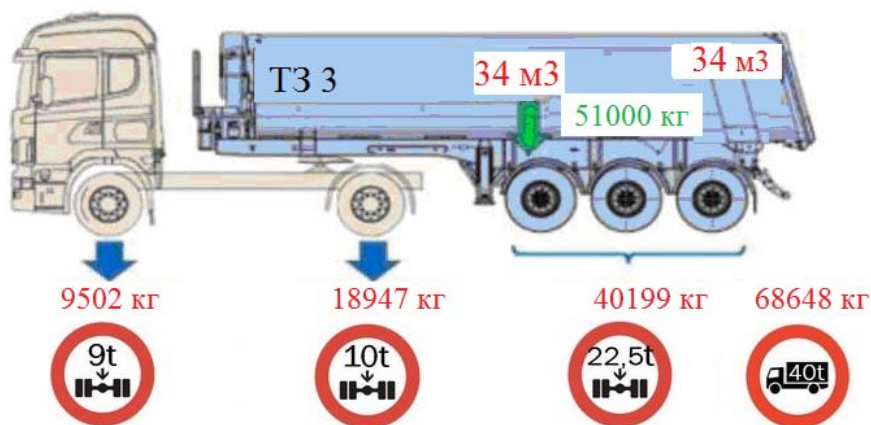


Рисунок 12 – Виникнення перевантаження, у тому числі технічного по всьому параметру при завантаженні повного кузова 34м³

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

При задньому положенні зчіпного шворня потенційне корисне навантаження ВТЗ становить 22352 кг. При рівномірному завантаженні продукцією масою 22352 кг до дозволеної повної маси 40000 кг відбувається перевантаження по групі причіпних осей на межі допустимих 2% (рис.13).

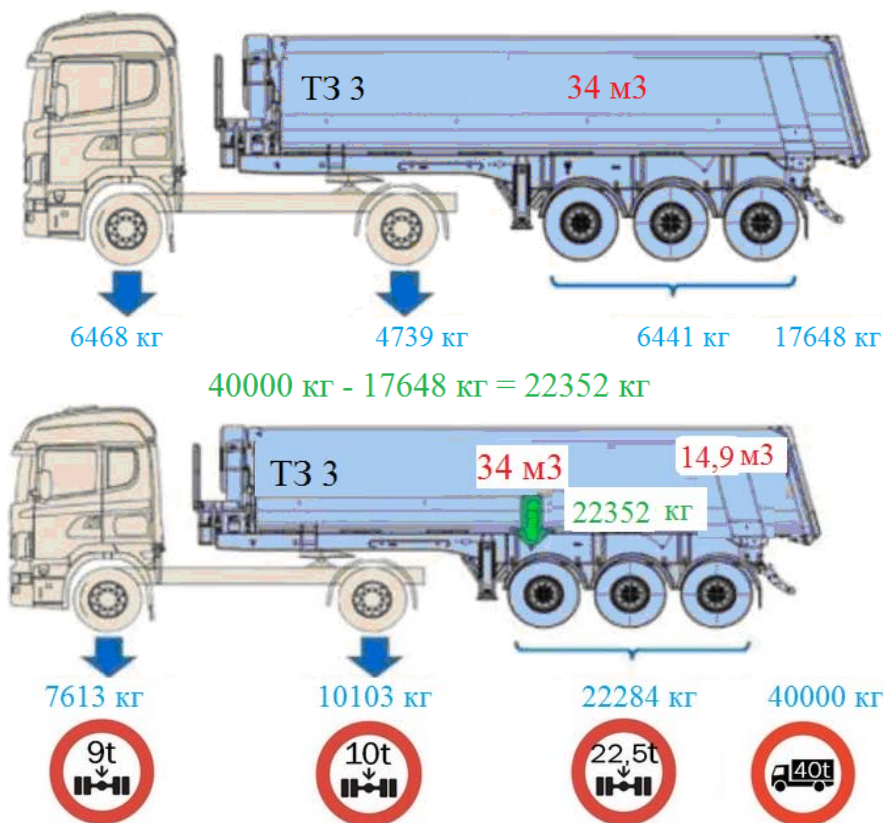


Рисунок 13 – Перевантаження групою причіпних осей на межі допустимих 2% при рівномірному завантаженні 22352кг до дозволеної повної маси в 40000кг

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

При завантаженні продукції масою 35000кг виникає перевантаження, зокрема і технічне, як у провідній осі тягача (невеликий, припустимий 13т), і більш істотний за групою причіпних осей (рис.14).

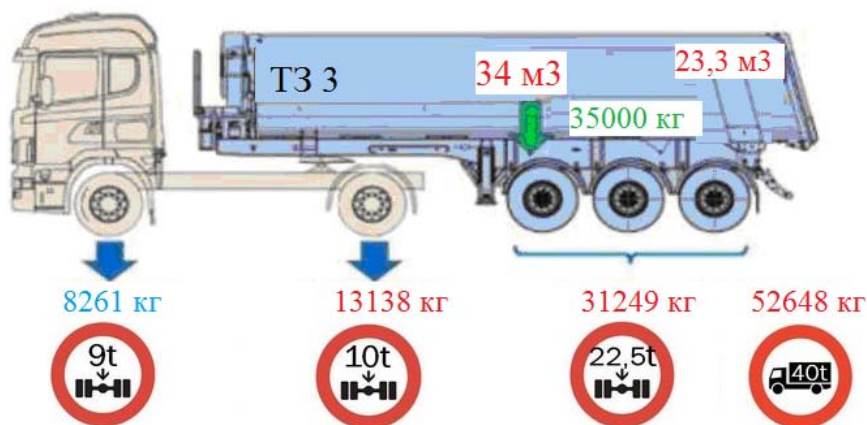


Рисунок 14 – Виникнення перевантаження, у тому числі технічного, по провідній осі тягача (невеликий, допустимий 13 т) і більш істотного за групою причіпних осей при завантаженні 35 000 кг

Джерело: розроблено авторами з використанням [15,26]

На третьому етапі проведені дослідження дозволили визначити розміри шкоди

при перевищенні значних допустимих осьових перевантажень на одну вісь і шкоди при перевищенні значень допустимої маси на кожні 100 кілометрів перевезення вантажів для кожного варіанта у ВТЗ.

Аналіз отриманих значень розмірів шкоди від перевищення допустимих осьових навантажень та від перевищення значень допустимої маси ВТЗ дозволив отримати регресійні рівняння взаємозв'язків цих показників для різних видів ВТЗ (табл.2, рис.15, рис. 16).

Таблиця 2 – Аналіз залежностей розмірів шкоди (РШ) від перевищення допустимих осьових навантажень $РШ=f_1(Пв\acute{и}сь)$ та від перевищення значень допустимої маси великовагового транспортного засобу $РШ=f_2(Пдм)$

Транспортний засіб	Вид регресивної залежності, коефіцієнт кореляції	
	$РШ = f_1(Пв\acute{и}сь), R^2$	$РШ = f_2(Пдм), R^2$
Т31	$РШ=127,2(Пв\acute{и}сь)+3378, R^2=0,65$	$РШ=27,78(Пдм)+2389, R^2=0,63$
Т32	$РШ=178,38(Пв\acute{и}сь)+4054, R^2=0,66$	$РШ=28,88(Пдм)+3000, R^2=0,69$
Т33	$РШ=256,2(Пв\acute{и}сь)+4729, R^2=0,81$	$РШ=36,66(Пдм)+1778, R^2=0,72$
Т34	$РШ=289,18(Пв\acute{и}сь)+5541, R^2=0,75$	$РШ=37,03(Пдм)+3222, R^2=0,83$
Т35	$РШ=75,68(Пв\acute{и}сь)+2432, R^2=0,79$	$РШ=37,78(Пдм)+278, R^2=0,80$
Т36	$РШ=45,94(Пв\acute{и}сь)+405, R^2=0,67$	$РШ=32,22(Пдм)+778, R^2=0,68$
Т37	$РШ=56,76(Пв\acute{и}сь)+1486, R^2=0,74$	$РШ=35,54(Пдм)+1667, R^2=0,76$
Т38	$РШ=345,96(Пв\acute{и}сь)+6486, R^2=0,83$	$РШ=45,37(Пдм)+3472, R^2=0,82$
Т39	$РШ=447,3(Пв\acute{и}сь)+6973, R^2=0,71$	$РШ=22,78(Пдм)+2778, R^2=0,78$

Джерело: розроблено авторами

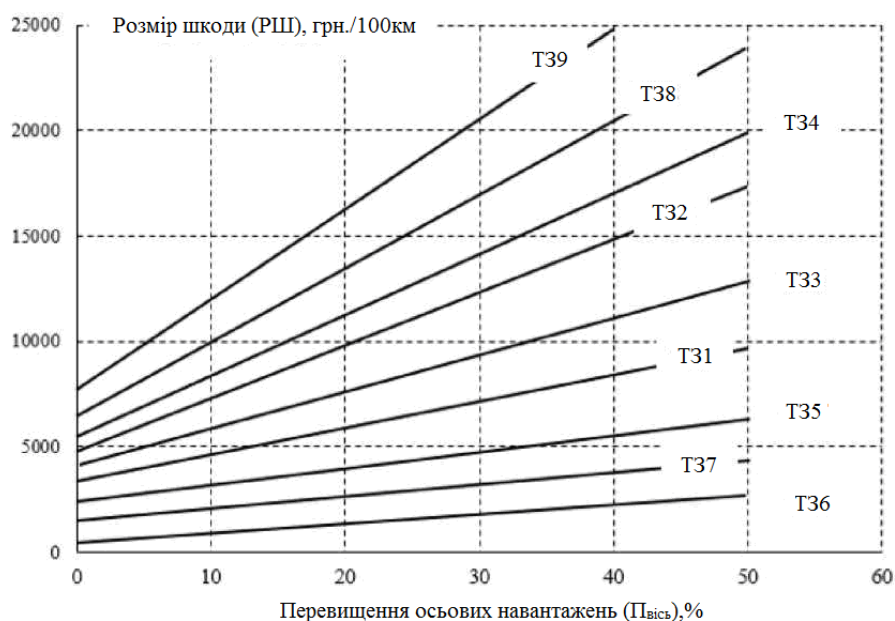


Рисунок 15 – Залежність розміру шкоди (РШ) (грн. на 100 км) від перевищень осьових перевантажень (Пв'ісь), %

Джерело: розроблено авторами

Розроблений механізм, що базується на результатах моделювання розв'язання задачі вибору ВТЗ за їх технічною готовністю (технічні критерії), організаційної забезпеченості (організаційні критерії) та економічної ефективності (ринкові), (економічні критерії) (табл.3) дозволив здійснити ранжування (шарове впорядкування) ВТЗ для ефективного перевезення готової продукції підприємства (рис. 17).

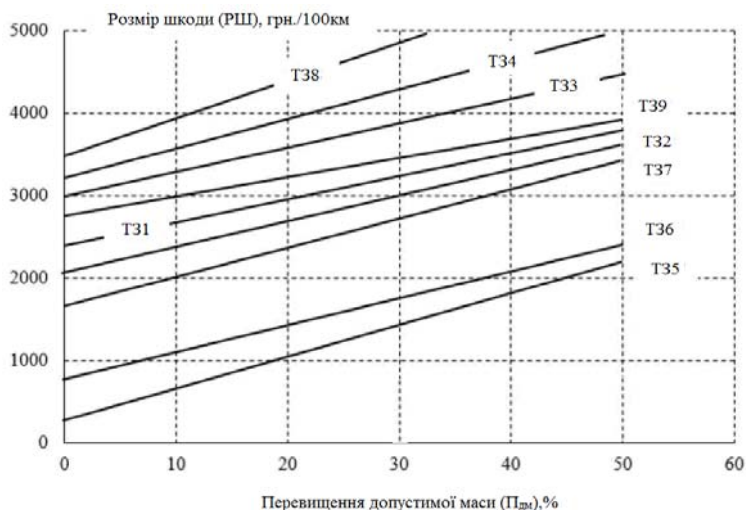


Рисунок 16 – Залежність розміру шкоди (РШ) (грн. на 100 км) від перевищення значень допустимої маси транспортного засобу (Пдм), %

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Формування сукупності оціночних критеріїв (технічні, організаційні, економічні) з метою оцінки ефективності перевезення готової продукції підприємства

№	Назва	T3 1	T3 2	T3 3	T3 4	T3 5	T3 6	T3 7	T3 8	T3 9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Технічні критерії										
1	Вантажопідйомність тягача, т	10,6	10,6	17,16	29,4	3,7	14,5	32,57	17,16	10,6
2	Споряджена маса тягача, т	7,9	7,9	8,84	7,9	3	18	16,43	7,6	7,6
3	Повна маса автопоїзду, т	44	39	44	44	6,7	26	49	39	39
4	Довжина м	13,62	13,62	13,62	13,62	6,51	10,6	9,23	9,97	9,97
5	Ширина, м	2,48	2,48	2,48	2,48	23	2,5	2,55	2,55	2,55
6	Висота, м	2,7	2,7	2,45	2,7	3,16	3,8	3,37	3,325	3,325
7	Об'єм кузова, м ³	82	84	52	92	20,2	48,3	20	30	30
8	Номінальна потужність двигуна, кВт	315	315	295	315	97,8	295	287	295	315
9	Максимальна швидкість, км/ч	110	110	90	110	70	100	90	90	110
10	Витрата палива, л/100 км	33	33	33	33	15	25	37	33	33
11	Об'єм двигуна, л	12	12	12	12	2,8	12	8,9	12	12
12	Потужність двигуна, к.с.	428	428	401	428	133	401	390	401	428
13	Шини	315/60 R 22,5	385/65 R22,5	315/70 R 22,5	385/65 R 22,5	315/60 R 22,5	315/80 R 22,5	315/60 R 22,5	385/65 R22,5	385/65 R22,5
14	Об'єм паливного баку, л	2x 400	2x 400	500	2x 400	125	450	310	500	2x 400

Продовження таблиці 3

15	Радіус розвороту, м	22,5	22,5	8	22,5	6,2	11,5	11,5	9	15
Організаційні критерії										
1	Час в наряді за добу, год	16								
2	Число робочих днів за рік, дні	252	270	290	300	240	250	260	252	252
3	Число днів в капітальному ремонті, дні	10	12	15	13	14	10	11	13	15
4	Ресурс до капітального ремонту, тис. км	$1 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$
5	Коефіцієнт ТОіР, К, люд.·год/1000 км	9	12	7	8	13	11	10	8	9
6	Простої по організаційним причинам, дні	6	3	5	4	12	8	15	11	9
7	Кількість ремонтних робочих, чол.	10	9	12	11	8	6	8	12	10
8	Кількість механіків у гаражі, чол.	6	5	4	7	8	12	11	7	6
Економічні (ринкові) критерії										
1	Термін служби тягача, років	8	10	8	12	10	8	10	8	8
2	Темп зростання експлуатаційних витрат на ТОР в рік, %	0,02	0,05	0,03	0,04	0,02	0,09	0,01	0,06	0,08
3	Тарифна ставка ремонтників, грн./год	100	150	210	180	100	120	110	130	150
4	Коефіцієнт накладних витрат	1,8	1,6	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	1,3	1,7
5	Коефіцієнт витрат на запасні частини	2,0	2,2	2,5	2,9	2,0	2,5	2,7	2,8	2,3
6	Вартість шини, тис. грн.	34	46	50	46	11	55	46	46	46
7	Вартість автопоїзда, млн. грн.	15,75	12,10	14,35	14,60	4,26	8,10	7,77	11,87	13,27
8	Частка остаточної вартості від ціни після 8 років, %	10	12	15	12	13	10	15	11	10

Джерело: розроблено авторами

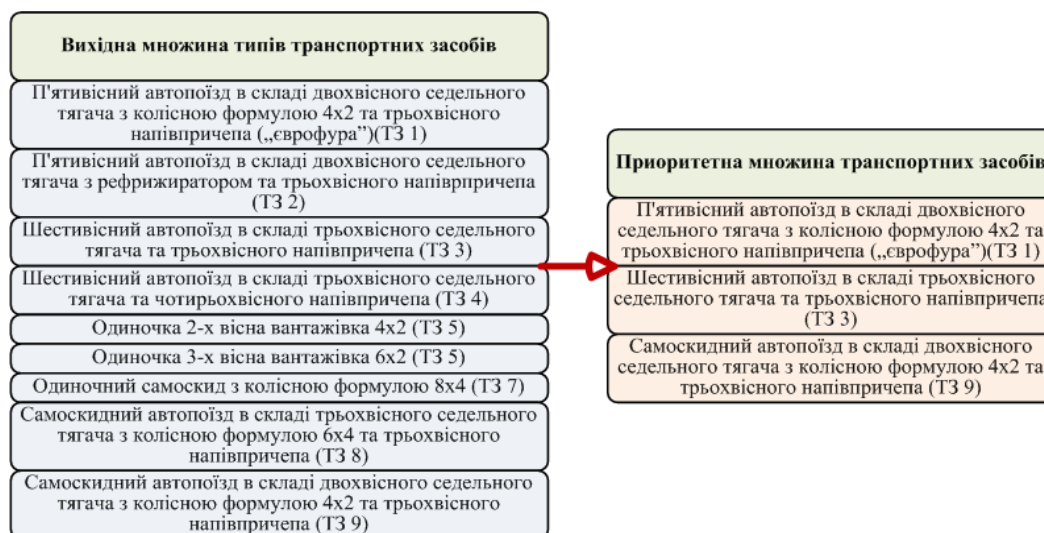


Рисунок 17 – Впорядкування великовагових транспортних засобів для перевезення готової продукції підприємства ЗАТ "Кіровоградграніт"

Джерело: розроблено авторами

Результатом вирішення завдання вибору на основі сформованої сукупності оціночних критеріїв та визначення розмірів шкоди від перевищення допустимих осьових навантажень та від перевищення значень допустимої маси вантажівки, як пріоритетні ВТЗ для перевезення готової продукції підприємства були визначені наступні варіанти:

- п'ятивісний автопоїзд у складі двохвісного седельного тягача з колісною формулою 4x2 та трьохвісного напівпричепа ("єврофура") (ТЗ2);
- шестивісний автопоїзд у складі трьохвісного седельного тягача та трьохвісного напівпричепа (ТЗ3);
- самоскидний автопоїзд у складі двохвісного седельного тягача з колісною формулою 4x2 та трьохвісного напівпричепа (ТЗ9).

Висновки:

1. Запропоновано три групи критеріїв для вибору можливих варіантів великовагових транспортних засобів для перевезення готової продукції підприємства: технічні, організаційні, економічні (ринкові).
2. Побудована вихідна множина можливих варіантів використання великовагових транспортних засобів для перевезення готової продукції підприємства із зазначенням граничного навантаження на вісь при повному завантаженні транспортного засобу та його повна вага.
3. Визначено варіанти та способи розміщення вантажу в кузові великовагових транспортних засобів (автопоїзду), навантаження на вісі та дано оцінку щодо допустимості їх для безпечності перевезень вантажів, зафіксовано факти перевантаження по ведучим осям та групі осей причіпних при повному завантаженні автопоїзду.
4. Проведені дослідження розмірів шкоди при перевищенні значень допустимих осьових перевантажень на одну вісь і шкоди при перевищенні значень допустимої маси на кожні 100 кілометрів перевезень вантажів для кожного варіанту великовагових транспортних засобів. За результатами досліджень побудовані регресійні залежності можливих транспортних засобів від перевищення допустимих осьових навантажень та від перевантаження значень допустимої маси транспортного засобу.
5. Сформульована сукупність оціночних критеріїв (технічні, організаційні, економічні (ринкові)) з метою оцінки ефективності перевезення готової продукції

підприємства великоваговими транспортними засобами. На основі цього здійснюється впорядкування великовагових транспортних засобів для перевезення продукції підприємства ЗАТ "Кіровоградграніт" та з дев'яти можливих варіантів запропоновано три найбільш ефективні варіанти.

Список літератури

1. Міністерство Інфраструктури України. Про затвердження Вимог до перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу, методів такої перевірки: наказ від 26.11.2012 № 710.
2. Закон України "Про дорожній рух" (стаття 35).
3. Закон України "Про автомобільний транспорт".
4. Про єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються: постанова Кабінету Міністрів України від 22.12.2010 № 1166.
5. Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу: постанова Кабінету Міністрів України від 30.01.2012 № 137.
6. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України: постанова Кабінету Міністрів України від 23.01.2019 № 46.
7. Про затвердження Порядку ведення реєстру суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю: наказ Міністерства внутрішніх справ України від 28.08.2019 № 736.
8. Вимоги до перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу, методи такої перевірки, затв. наказом Мінінфраструктури від 26.11.2012 № 710 (у редакції наказу Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 30.04.2024 № 396).
9. Редзюк, А. М., Агеев, В. Б., Мерзиевський, В. В. та ін. Обов'язковий технічний контроль колісних транспортних засобів: довідник. ДП "ДержавтотрансНДІпроект", 2013. 620 с.
10. Хаврук, В. Аналіз безпеки автотранспортних засобів і сучасного стану системи обов'язкового технічного контролю автомобільного транспорту в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Технічні науки*, 2020, Т. 31(70), № 5, с. 239-247.
11. Аулін, В. В., Гриньків, А. В., Лисенко, С. В., Головатий, А. О., Голуб, Д. В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В. Кропивницький: Видав. ФОП Лисенко В. Ф., 2021. 504 с.
12. Аулін, В. В., Лисенко, С. В., Гриньків, А. В., Голуб, Д. В., Головатий, А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній. Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2022. 325 с.
13. Aulin, V., Lyashuk, O., Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Hrynkiv, A., Holub, D., Lysenko, S., Vovk, Y., Dzyura, V., Sokol, M. Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. *Communication. Scientific Letters of the University of Zilina*, 2019, Vol. 21 (2), P. 5-14.
14. Окорочков, А. М. Удосконалення управління транспортними вантажними комплексами в транспортних вузлах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.01 "Транспортні системи". Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. 21 с.
15. Про затвердження Правил проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами: постанова Кабінету Міністрів України від 18.01.2001 № 30.
16. Abate, M., De Jong, G. The Optimal Shipment Size and Truck Size Choice: The Allocation of Trucks Across Hauls. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, Issue 59, P. 262–277.
17. Sanchez-Rodrigues, V., Piecyk, M., Mason, R., Boenders, T. The longer and heavier vehicle debate: A review of empirical evidence from Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015, Vol. 40, P. 114-131.
18. Augustyn, S., Vušanović, I., Owczarek, P., Oziębło, M. The assessment of the truck operation efficiency in safety engineering aspect. *MATEC Web of Conferences, 20th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles*, 2021.
19. Hallmark, S. L., Lamptey, S. Evaluation of Different Methods to Calculate Heavy-Truck VMT. Final Report, December 2004. 55 p.
20. Kügemann, M., Polatidis, H. Methodological Framework to Select Evaluation Criteria for Multi-Criteria Decision Analysis of Road Transportation Fuels and Vehicles. *Energies*, 2022, Vol. 15, P. 1-18.
21. Омельченко, О. Д., Стрелко, О. Г. Вибір виду транспорту для вантажних перевезень за критеріями прогресивності. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології*, 2007, вип. 12, С. 146-151.

22. Аулін, В. В., & Шевченко, І. А. Новий підхід до організації та технології вантажних комплексних перевезень. Тези доповідей студентів і магістрантів на XLV наук. конф. 19 травня 2011 року. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 970-971.
23. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
24. Аулін, В. В., Головатий, А. О., Дьяченко, В. О., & Петровський, М. Ю. Транспортно-експедиторські послуги при здійсненні збірних вантажних перевезень. *Підвищення надійності машин і обладнання* : міжнар. наук.-практ. конф., 15-17 квіт. 2020 р., м. Кропивницький : Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 262-263.
25. Аулін, В. В., Голуб, Д. В., Біліченко, В. В., & Замуренко, А. С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця* : ВНТУ, 2020. №1(11). С. 4-10.
26. Правила дорожнього руху (ПДР України) 2024.

References

1. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2012), November 26). Requirements for the inspection of the design and technical condition of wheeled vehicles, methods of such inspection: Order No. 710 [in Ukrainian].
2. Law of Ukraine "On Road Traffic" (Article 35) [in Ukrainian].
3. Law of Ukraine "On Motor Transport" [in Ukrainian].
4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2010, December 22). On unified requirements for the design and technical condition of wheeled vehicles in operation: Resolution No. 1166 [in Ukrainian].
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2012, January 30). On approval of the procedure for mandatory technical control and scope of vehicle technical inspection: Resolution No. 137 [in Ukrainian].
6. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019, January 23). On amendments to certain resolutions: Resolution No. 46 [in Ukrainian].
7. Ministry of Internal Affairs of Ukraine. (2019, August 28). On approval of the procedure for maintaining the register of entities conducting mandatory technical control: Order No. 736 [in Ukrainian].
8. Ministry of Infrastructure of Ukraine. (2012, November 26). Requirements for the inspection of the design and technical condition of wheeled vehicles, methods of such inspection (as amended by Order No. 396, 2024) [in Ukrainian].
9. Redziuk, A. M., Ageiev, V. B., & Merzhyevskiy, V. V. (2013). Mandatory technical control of wheeled vehicles: Handbook. DP "DerzhavotransNDIproekt" [in Ukrainian].
10. Khavruk, V. (2020). Analysis of vehicle safety and the current state of the mandatory technical control system of road transport in Ukraine. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Technical Sciences*, 31(70)(5), P. 239-247 [in Ukrainian].
11. Aulin, V. V., Hrynykiv, A. V., Lysenko, S. V., Holovaty, A. O., & Holub, D. V. (2021). Theoretical and methodological foundations of logistics of transport and production systems: Monograph (Edited by Prof. V. V. Aulin). Kropyvnytskyi: FOP Lysenko V. F [in Ukrainian].
12. Aulin, V. V., Lysenko, S. V., Hrynykiv, A. V., Holub, D. V., & Holovaty, A. O. (2022). Logistics of supply for transport and production enterprises, firms, companies. Kropyvnytskyi: Publisher Lysenko V. F [in Ukrainian].
13. Aulin, V., Lyashuk, O., Pavlenko, O., Velykodnyi, D., Hrynkiv, A., Holub, D., Lysenko, S., Vovk, Y., Dzyura, V., & Sokol, M. (2019). Realization of the logistic approach in the international cargo delivery system. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 21(2), P 5-14 [in English].
14. Okorokov, A. M. (2013). Improvement of management of transport freight complexes in transport hubs (PhD thesis). Dnipropetrovsk: DNUZT [in Ukrainian].
15. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2001, January 18). On approval of the rules for the passage of oversized and heavy vehicles on roads, streets, and railway crossings: Resolution No. 30 [in Ukrainian].
16. Abate, M., & De Jong, G. (2014). The optimal shipment size and truck size choice: The allocation of trucks across hauls. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, P. 262-277 [in English].
17. Sanchez-Rodrigues, V., Piecyk, M., Mason, R., & Boenders, T. (2015). The longer and heavier vehicle debate: A review of empirical evidence from Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, P 114-131 [in English].
18. Augustyn, S., Vušanović, I., Owczarek, P., & Oziębło, M. (2021). The assessment of truck operation efficiency in safety engineering aspect. *MATEC Web of Conferences*, 20th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles [in English].
19. Hallmark, S. L., & Lamptey, S. (2004). Evaluation of different methods to calculate heavy-truck VMT: Final report (December 2004) [in English].

20. Kügemann, M., & Polatidis, H. (2022). Methodological framework to select evaluation criteria for multi-criteria decision analysis of road transportation fuels and vehicles. *Energies*, 15, 1-18 [in English].
21. Omelchenko, O. D., & Strelko, O. G. (2007). Selection of transport mode for freight transport based on progressive criteria. *Scientific Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport. Series: Transport Systems and Technologies*, 12, P.146-151 [in Ukrainian].
22. Aulin, V. V., & Shevchenko, I. A. (2011). A new approach to the organization and technology of freight complex transportation. *Proceedings of the XLV Scientific Conference of Students and Masters (May 19, 2011, Kirovohrad)* (pp. 970-971). Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
23. Aulin, V. V., Holub, D. V., Hrynkyv, A. V., & Lysenko, S. V. (2017). Methodological and theoretical foundations for ensuring and improving the reliability of the functioning of automotive transport systems: Monograph (Edited by Prof. V. V. Aulin). Kropyvnytskyi: Publishing house LLC "KOD" [in Ukrainian].
24. Aulin, V. V., Holovaty, A. O., D'yachenko, V. O., & Petrovs'kyi, M. Yu. (2020). Transport and forwarding services in the implementation of consolidated freight transportation. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Increasing the Reliability of Machines and Equipment" (April 15-17, 2020, Kropyvnytskyi)* (pp. 262-263). Kropyvnytskyi: CNTU [in Ukrainian].
25. Aulin, V. V., Holub, D. V., Bilichenko, V. V., & Zamurenko, A. S. (2020). Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process of transportation. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1(11), 4-10. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
27. Traffic Rules of Ukraine (PDR Ukraine) (2024) [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Oleksii Tertytsia**, post-graduate, **Taras Nadych**, post-graduate, **Andrii Hrynkyv**, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Oleh Lyashuk, Prof., DSc., **Viktor Gud**, Prof., DSc.

Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Ternopil, Ukraine

Serhii Zalutsky, PhD tech. sci.

VSP "Ternopil Professional College of TNTU named after I. Pulyuy", Ternopil, Ukraine

Criteria for Selecting Heavy Vehicles for Efficient and Safe Transportation

The work defines the stages of solving the problem of choosing heavy-duty vehicles for the effective and safe transportation of the enterprise's products. Technical, organizational and economic (market) criteria for choosing vehicles are formed and substantiated.

The equipment of heavy-duty vehicles was carried out in compliance with the overall dimensions and weight parameters in empty and loaded states. At the same time, the requirements for limiting the load on the axle were taken into account. The advantages of different types of equipment were clarified: curtain, open-sided, van/refrigerator. When choosing heavy-duty vehicles, their technical features and the possible location of the cargo in the body during container transportation were taken into account. Various equipment options (nine options) are presented. With different methods of placing cargo, deductions were made from the location of the center of gravity.

A diagram of the positioning of the center of gravity of a road train at maximum load was obtained. Possible options and methods of positioning cargo without overloading the axle and exceeding the permissible total weight limit were substantiated. In cases of violation of permissible limits of axial loads and exceeding the permissible mass of a heavy-duty vehicle, a set of regression equations was obtained to estimate the amount of damage. Graphical representations of regression dependencies were presented. A mechanism for solving the problem of selecting heavy-duty vehicles based on their technical readiness, organizational support and economic efficiency was developed. A ranking (layered) arrangement of vehicles for the effective transportation of finished products of the enterprise was carried out. Three of the nine options were selected that are most effectively suitable for the implementation of transportation of finished products from the enterprise of ZAO "Kirovogradgranit".

heavy-duty vehicle, criterion, efficiency, safety, reliability, maximum load, permissible weight, soft containers

Одержано (Received) 17.11.2024

Прорецензовано (Reviewed) 19.12.2024

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2024