

«Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)
Автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: *Удосконалення транспортного процесу перевезення гусеничного
екскаватора Komatsu PC650LC-11 автомобільним транспортом
(на прикладі маршруту м. Вінниця – м. Тернопіль)*

Виконав: студент 4 курсу, групи МНЗс-41
спеціальності 275 «Транспортні технології»
(шифр і назва спеціальності)

Студент	_____	<u>Дьячек М.С.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Рожко Н.Я.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Цьонь О.П.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<u>Комар Р.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Зав. каф.	_____	<u>Цьонь О.П.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Автотранспорту та логістики

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Цьонь О.П.

«__» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Дьячека Максима Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Удосконалення транспортного процесу перевезення гусеничного
екскаватора Komatsu PC650LC-11 автомобільним транспортом
(на прикладі маршруту м. Вінниця – м. Тернопіль)

керівник проекту (роботи) Рожко Наталя Ярославівна, д.е.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-32

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 27 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Вид палива; маршрут перевезення палива; обсяги перевезень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ 1. Аналіз об'єкту дослідження; 2. Заходи із удосконалення транспортного процесу

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Матеріали графічної частини – 10 слайдів

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Вихідні дані для організації перевезення екскаватора 40–70 т між регіонами	9
1.2 Транспортна характеристика будівельної техніки як вантажу	13
1.3 Нормативні вимоги до перевезення великовагових і великогабаритних вантажів автомобільним транспортом в Україні	17
1.4 Аналіз технічних рішень і практик перевезення екскаваторів на низькорамних тралах з урахуванням параметрів Komatsu PC650LC-11	20
1.5 Висновки та постановка завдань на кваліфікаційну роботу бакалавра	25
2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	
2.1 Обґрунтування вибору трала для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11	28
2.2 Обґрунтування та вибір сидельного тягача для перевезення для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 на тралі класу Nooteboom EURO-PX (6-axle lines bogie)	34
2.3 Розроблення маршруту Вінниця - Тернопіль для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11	38
2.4 Визначення вартості перевезень екскаватора за обраним маршрутом	44

2.5	Дозвільні документи та погодження для перевезення важкої техніки у міжміському сполученні	47
3	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1	Безпека життєдіяльності при завантаженні екскаватора на трал	53
3.2	Охорона праці під час завантаження та перевезення екскаватора на низькорамному тралі	57
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню транспортного процесу перевезення гусеничного екскаватора масою 40–70 т автомобільним транспортом на прикладі маршруту Вінниця–Тернопіль. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності та безпеки перевезень великовагових і великогабаритних вантажів в умовах обмежень дорожньої інфраструктури та зростання потреб у переміщенні будівельної техніки.

У роботі проаналізовано транспортну характеристику екскаватора як специфічного вантажу з нерівномірним розподілом маси та змінною геометрією, а також нормативно-правові вимоги до перевезення негабаритних і великовагових вантажів в Україні. Обґрунтовано вибір рухомого складу для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 загальною масою 69,9 т (з урахуванням навісного обладнання), зокрема застосування важкого низькорамного трала з від'єднуваним гусакон та багатовісною задньою теліжкою.

Розроблено раціональний маршрут перевезення, виконано інженерні розрахунки розподілу осьових навантажень, обґрунтовано схему розміщення та кріплення вантажу на платформі, що забезпечує стійкість при русі, гальмуванні та маневрах. Визначено основні організаційні заходи, включаючи отримання дозвільної документації, супровід і диспетчерський контроль. Оцінено економічні показники перевезення та сформовано рекомендації щодо оптимізації витрат.

Окрему увагу приділено питанням безпеки життєдіяльності та охорони праці під час завантаження і транспортування важкої техніки.

Практичне значення роботи полягає у розробленні комплексного організаційно-технологічного рішення, яке може бути використане транспортними підприємствами для підвищення ефективності та безпеки перевезень будівельної техніки великої маси.

Ключові слова: великовагові перевезення, екскаватор, низькорамний трал, осьові навантаження, негабаритний вантаж, транспортний процес, логістика, кріплення вантажу.

ВСТУП

Перевезення будівельної техніки між регіонами є важливою складовою будівельно-монтажних робіт і відновлення інфраструктури, під час військових дій та після завершення повномасштабної війни. Одним із найпоширеніших і водночас найскладніших для організації є транспортування екскаваторів масою 40–70 т. Такий вантаж є типовим прикладом великовагового та часто великогабаритного об'єкта, оскільки поєднує значну масу з нерівномірним розподілом навантаження, складною геометрією та виступаючими елементами робочого обладнання. Помилки у виборі низькорамного трала, розміщенні техніки на платформі, схемі кріплення або плануванні маршруту можуть спричинити перевищення осьових навантажень, погіршення керованості автопоїзда, пошкодження інфраструктури, простої та аварійні ситуації.

Актуальність теми посилюється умовами експлуатації, зокрема неоднорідною якістю дорожньої мережі, наявністю мостів з обмеженою вантажопідйомністю, ділянок з обмеженнями габариту по висоті та ширині, критичних поворотів у населених пунктах і організаційних обмежень руху. Водночас істотною є економічна складова: нераціональний маршрут і графік збільшують тривалість рейсу, витрати пального, потребу в супроводі та ймовірність вимушених зупинок. Отже, організація перевезення екскаватора 40–70 т потребує комплексного підходу, що поєднує технічні розрахунки, нормативну відповідність, надійне кріплення вантажу та продуману логістику.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення та обґрунтування організаційно-технологічного рішення для міжрегіонального перевезення екскаватора масою 40–70 т автомобільним транспортом, яке забезпечує відповідність параметрів автопоїзда нормативам, надійність кріплення, контроль осьових і групових навантажень та ефективний маршрут і графік перевезення з урахуванням вимог безпеки.

Для досягнення мети передбачається проаналізувати вихідні дані й транспортну характеристику екскаватора та визначити параметри, що впливають

на габарити, розподіл маси й вибір техніки перевезення, опрацювати нормативні вимоги і встановити ключові обмеження для маршруту та режиму руху, обґрунтувати вибір тягача і низькорамного трала, розробити схему розміщення екскаватора на платформі з перевіркою габаритів, виконати розрахунок повної маси автопоїзда і розподілу осьових/групових навантажень та визначити допустимий режим перевезення, розробити і розрахунково підтвердити схему кріплення із підбором засобів кріплення та перевіркою стійкості від зсуву при гальмуванні й маневрах, а також сформувати основний і альтернативний маршрути з визначенням контрольних точок, місць планових зупинок, орієнтовного графіка рейсу та порядку диспетчерського контролю.

Об'єктом дослідження є транспортний процес автомобільного перевезення екскаватора між регіонами на низькорамному тралі. Предметом дослідження є організаційно-технологічні рішення і розрахункові методи, що забезпечують вибір автопоїзда, раціональне розміщення та кріплення екскаватора, контроль навантажень, планування маршруту і графіка перевезення. У роботі застосовано аналіз нормативних вимог і технічної документації, інженерні розрахунки масових і габаритних параметрів та розподілу навантажень, розрахункове обґрунтування кріплення на основі дії інерційних сил, а також логістичне планування маршруту й графіка з урахуванням контрольних точок і ризиків. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих рішень як алгоритму підготовки та виконання міжрегіональних перевезень екскаваторів масою 40–70 т для транспортних підприємств і диспетчерських служб.

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Вихідні дані для організації перевезення екскаватора 40–70 т між регіонами

Організація міжрегіонального перевезення екскаватора масою 40–70 т потребує попереднього формування повного переліку вихідних даних, які визначають можливий склад автопоїзда, умови завантаження і розвантаження, допустимі маршрути, необхідність спеціальних дозволів та організаційних заходів. На відміну від перевезення стандартних вантажів, у випадку будівельної техніки ключове значення має поєднання значної маси, потенційного перевищення габаритів та специфіки конструкції самої машини. Тому вихідні дані доцільно систематизувати за групами, що відображають параметри вантажу, вимоги замовника, маршрутні умови та обмеження на інфраструктурі, а також можливості пунктів завантаження і розвантаження.

Першою групою вихідних даних є характеристика екскаватора як об'єкта перевезення. На етапі проєктування необхідно визначити тип машини (гусеничний чи колісний екскаватор), а також конкретну модель або принаймні типорозмір, що задає орієнтовні габаритні та масові параметри. Для діапазону 40–70 т характерними є різні класові групи техніки, які істотно відрізняються довжиною, шириною, висотою по кабіні та габаритами робочого обладнання. Важливим є встановлення маси в транспортному стані, оскільки фактична маса може змінюватися залежно від комплектації, наявності додаткових противаг, ширини гусениць, рівня заповнення паливних баків і встановлених допоміжних систем. Окремо фіксуються габарити машини в транспортному положенні та положення центра мас, що впливає на вибір типу низькорамного трала, кількість осей і допустимий розподіл навантажень.

Наступною складовою вихідних даних є інформація про навісне та додаткове обладнання. Для екскаваторів масою 40–70 т типовим є використання різних ковшів, гідромолотів, грейферів, швидкознімних з'єднувачів, а також

додаткових подовжувачів рукояті або іншого спеціального оснащення. Наявність такого обладнання змінює масу та габаритні параметри, ускладнює закріплення й може потребувати перевезення окремими місцями. На практиці часто доцільно транспортувати частину навісного обладнання або противаги окремо, щоб зменшити ризик перевищення осьових навантажень та оптимізувати габарит по висоті. Тому на етапі вихідних даних потрібно визначити, чи перевозиться екскаватор у повній комплектації, чи передбачено демонтаж робочого обладнання, чи можливе складання стріли і рукояті у транспортне положення, а також які елементи мають бути додатково зафіксовані під час транспортування.

Окремо задаються вимоги до термінів доставки та організаційні параметри замовлення. Для міжрегіональних перевезень критичними є терміни, оскільки техніка зазвичай потрібна на будівельному майданчику в конкретний момент для забезпечення безперервності робіт. Тому у вихідних даних зазначаються бажана дата і час прибуття, допустимі часові вікна завантаження і розвантаження, можливість нічного або ранкового виконання операцій, а також прийнятний рівень ризику затримок. У випадку дотримання жорстких термінів підвищується значення резервних рішень, включаючи альтернативні маршрути, можливість зміни пункту відстою та попереднє узгодження часу проходження потенційно проблемних ділянок.

Важливою групою вихідних даних є відстань і напрямок перевезення, оскільки саме вони задають базову структуру маршруту, орієнтовну тривалість рейсу, потребу у проміжних зупинках і режим роботи водія. Для проєктування зазначається регіон відправлення і регіон призначення, орієнтовний кілометраж, характер траси (магістральні дороги, регіональні дороги, під'їзні шляхи), а також типові умови руху на маршруті. Напрямок перевезення важливий ще й тим, що обмеження за мостами, стан покриття та наявність ремонтів можуть кардинально відрізнятись навіть для приблизно однакових відстаней.

Сезонність і погодні фактори також відносяться до вихідних даних, оскільки вони впливають на безпеку руху та на організацію технологічних

операцій. У зимовий період ускладнюються заїзд на трал, розміщення техніки та забезпечення достатнього коефіцієнта зчеплення в зоні апарелей. У період дощів підвищуються ризики просідання ґрунтових під'їздів до майданчика, а також збільшується гальмівний шлях і ризик бокового зсуву при маневруванні. За несприятливих умов можуть виникати додаткові організаційні вимоги щодо вибору стоянок, часу руху та обов'язкового контролю натягу засобів кріплення через зміну їхніх характеристик при температурних коливаннях.

До вихідних даних належать дорожні та організаційні обмеження. Для великовагового і потенційно великогабаритного перевезення визначальними є допустимі осьові й групові навантаження на дорогах, обмеження повної маси автопоїзда, допустимі габарити по висоті, ширині та довжині, а також наявність заборон руху на окремих ділянках. На етапі проектування фіксуються потенційні «вузькі місця» маршруту: мости з обмеженням вантажопідйомності, путепроводи з низьким габаритом, складні перехрестя, вузькі вулиці в населених пунктах, круті ухили, ділянки з інтенсивним трафіком, а також місця, де можливі затори або обмеження через ремонтні роботи. Організаційні обмеження можуть включати часові заборони руху в населених пунктах, вимоги до супроводу, необхідність погодження з власниками інженерних мереж або службами місцевого самоврядування, а також вимоги до інформування й координації з поліцією чи іншими службами.

Потреба у супроводі визначається сукупністю фактичних габаритів і масових параметрів вантажу, складності маршруту та нормативних вимог. У вихідних даних доцільно одразу передбачити, чи можливе перевезення без спеціального супроводу або потрібні автомобілі прикриття, а в окремих випадках - супровід уповноважених служб на критичних ділянках. Важливим є і питання інформаційного супроводу перевезення, що охоплює обмін даними між диспетчером і водієм, контроль ключових точок, а також узгодження дій у разі відхилення від графіка.

Остання, але принципово важлива група вихідних даних стосується можливостей пунктів завантаження та розвантаження. Для безпечного

перевезення потрібні придатні під'їзні шляхи, достатній радіус повороту для автопоїзда, допустима несуча здатність покриття на майданчику, наявність рівного горизонтального майданчика для заїзду на трал або виконання вантажних операцій, а також відсутність перешкод по висоті (лінії електропередач, арки, дерева, навіси). Вихідні дані повинні містити опис місця завантаження і розвантаження, наявність охорони і пропускного режиму, часові вікна роботи, можливість використання допоміжної техніки (бульдозер для підготовки під'їзду, кран у разі демонтажу навісного обладнання), а також організацію безпечної зони для виконання робіт. Додатково враховується можливість тимчасового відстою автопоїзда поблизу майданчика, що є важливим у разі очікування погодження в'їзду або завершення підготовчих робіт на об'єкті.

Таким чином, формування вихідних даних для організації перевезення екскаватора масою 40–70 т між регіонами створює базу для подальших інженерних розрахунків і проектних рішень. Чітко визначені масо-габаритні параметри екскаватора та його комплектації, вимоги до строків доставки, маршрутні умови, сезонні та інфраструктурні обмеження, потреба у супроводі й особливості пунктів завантаження та розвантаження дозволяють обґрунтовано перейти до вибору складу автопоїзда, перевірки осьових навантажень, розроблення схеми кріплення і побудови реалістичного графіка перевезення.

У межах кваліфікаційної роботи об'єктом перевезення прийнято гусеничний екскаватор Komatsu PC650LC-11 масою в транспортному стані 65,9 т із навісним обладнанням масою 4,0 т (загальна маса вантажу 69,9 т) та потрапляє в категорію 40-70т. Екскаватор транспортується на низькорамному тралі у транспортному положенні, навісне обладнання перевозиться окремими місцями на тій самій платформі з окремим кріпленням. Початковою точкою маршруту визначено м. Вінниця (місце завантаження та виїзду автопоїзда), кінцевою - м. Тернопіль (місце прибуття і розвантаження). Прийняті пункти маршруту задають міжрегіональний характер перевезення та формують вимоги

до вибору коридору руху, оцінки інфраструктурних обмежень, планування контрольних зупинок і складання графіка рейсу.

1.2 Транспортна характеристика будівельної техніки як вантажу

Будівельна техніка, зокрема екскаватор масою 40–70 т, належить до категорії складних для транспортування вантажів, оскільки поєднує значну масу з вираженою нерівномірністю її розподілу, змінною геометрією та наявністю функціональних елементів, що можуть змінювати габарити і впливати на стійкість під час руху. На відміну від “статичних” промислових вантажів із відносно рівномірним розподілом маси, екскаватор у транспортному процесі розглядається як об’ємний багатокомпонентний об’єкт, у якому шасі (ходова частина), поворотна платформа, противага та робоче обладнання створюють складну систему навантажень. Саме тому транспортна характеристика екскаватора має визначатися не лише загальною масою та габаритами, а й параметрами, що впливають на розміщення на тралі, осьові навантаження автопоїзда, вибір способів кріплення та ризику зміщення вантажу.

Ключовою особливістю екскаватора як вантажу є нерівномірний розподіл маси та змінність положення центра мас залежно від транспортного положення робочого обладнання. Основна маса зосереджена у зоні поворотної платформи, двигунного відсіку та противаги, тоді як стріла, рукоять і навісне обладнання формують додаткові моменти відносно опорної площини гусениць або коліс. У транспортному положенні центр мас зазвичай зміщується назад у бік противаги, однак при наявності важкого навісного обладнання або при неповному складанні стріли/рукояті можливе зміщення вперед, що принципово змінює розподіл навантаження на осях трала. Для автопоїзда це означає, що навіть незначна зміна положення екскаватора на платформі або кутова орієнтація поворотної платформи може призвести до перерозподілу навантажень між групами осей і створити ризик перевищення нормативів. Тому на етапі проектування

перевезення необхідно оперувати не лише паспортною масою, а й оцінкою реального положення центра мас у транспортному стані.

Другою визначальною характеристикою є габаритні параметри екскаватора, які формують вимоги до вибору типу низькорамного трала та маршруту. Висота в транспортному положенні насамперед визначається висотою кабіни, верхньої точки поворотної платформи та положенням стріли. Для класу 40–70 т навіть за використання низькорамної платформи загальна транспортна висота є критичним параметром, оскільки на маршруті можуть зустрічатися обмеження по висоті на шляхопроводах, міських арках, інженерних комунікаціях, а також на окремих ділянках з лініями електропередач низького підвісу. Ширина екскаватора в першу чергу задається шириною ходової частини по гусеницях, причому наявність розширених башмаків або змінної колії збільшує габарит і може вимагати спеціальних режимів руху, погоджень або супроводу. Довжина в транспортному стані визначається положенням стріли та рукояті, а також фактом транспортування навісного обладнання на машині або окремо. Саме тому габаритна характеристика для екскаватора є “конфігураційною”, тобто залежить від того, як саме підготовлено машину до транспортування.

Важливою складовою транспортної характеристики є технологічні точки стропування та кріплення. У випадку перевезення на тралі основну роль відіграють точки кріплення, передбачені конструкцією екскаватора, а також міцні елементи рами чи ходової частини, до яких допускається приєднання ланцюгів або стяжних пристроїв. Для гусеничних екскаваторів типовими є точки кріплення на рамі ходової частини, у зоні проушин/вушок, а також на спеціальних буксирних вушках. Водночас використання випадкових елементів як точок кріплення є неприпустимим, оскільки може призвести до пошкодження гідроліній, захисних кожухів або вузлів поворотної платформи. Транспортна характеристика повинна враховувати доступність точок кріплення після заїзду на трал, можливість забезпечення потрібних кутів кріплення, а також сумісність із конструкцією трала і розташуванням його в’язальних елементів.

Окремо необхідно враховувати уразливі вузли екскаватора, що можуть постраждати внаслідок вібрацій, динамічних навантажень або неправильного кріплення. До таких належать гідроциліндри стріли і рукояті, гідролінії, шарнірні з'єднання, елементи системи повороту, кабіна оператора, оптика, електронні блоки, а також навісне обладнання. Уразливість зумовлює вимогу щодо транспортного положення робочого обладнання, використання механічних фіксаторів або транспортних упорів, а також застосування захисних накладок і кутових елементів у місцях контакту ланцюгів із конструкцією машини. У багатьох випадках доцільним є зняття ковша або важкого навісного обладнання й перевезення його окремо, що підвищує безпеку і спрощує виконання нормативів за габаритами та навантаженнями.

Суттєвим елементом транспортної характеристики є вимоги до фіксації робочого обладнання та обмеження щодо переміщення екскаватора по платформі. Для екскаватора небезпечним є не лише зсув як цілого об'єкта відносно настилу платформи, а й відносні переміщення його рухомих частин. Поворотна платформа може мати невеликі люфти, стріла і рукоять здатні змінювати положення під дією вібрацій, а навісне обладнання - розгойдуватися або змінювати кут. Тому в транспортній характеристиці обов'язково враховується необхідність блокування повороту (якщо конструктивно передбачено), фіксації стріли/рукояті в транспортному положенні, забезпечення упорів під ківш або елементи робочого обладнання, а також вимоги до "жорсткого" зв'язування машини з платформою через ланцюги або стяжні системи.

Ризики зміщення екскаватора при гальмуванні та маневрах є окремою підставою для підвищених вимог до кріплення. При екстремому гальмуванні виникає поздовжня інерційна сила, що прагне зрушити вантаж уперед, тоді як при різких маневрах або боковому вітрі діє поперечна складова, що може спричинити боковий зсув. Для гусеничної техніки додатковим фактором є обмежений коефіцієнт тертя "метал-настил" або "метал-дерево" при забрудненні, вологі, снігу чи наявності мастильних матеріалів на траках, що

знижує природну стійкість від зсуву. Внаслідок цього транспортна характеристика екскаватора повинна враховувати необхідність протиковзних матеріалів, підкладок, механічних упорів або башмаків, а також достатньої кількості засобів кріплення, орієнтованих у різних напрямках для сприйняття поздовжніх і поперечних сил.

Таким чином, транспортна характеристика екскаватора масою 40–70 т формується як сукупність параметрів, що визначають технічну можливість і безпеку перевезення. Визначальними є нерівномірність розподілу маси та положення центра мас, конфігураційна мінливість габаритів по висоті, ширині та довжині, наявність технологічно допустимих точок кріплення і стропування, уразливість окремих вузлів, необхідність фіксації робочого обладнання та забезпечення стійкості від зміщення при гальмуванні й маневрах. Урахування цих характеристик у подальших розрахунках і проектних рішеннях є основою правильного вибору трала та тягача, коректного розміщення екскаватора на платформі, перевірки осьових навантажень і розроблення надійної схеми кріплення.



Рисунок 1.1 – Вантаж для перевезення гусеничний екскаватор Komatsu PC650LC-11

Для кваліфікаційної роботи ми обрали гусеничний екскаватор Komatsu PC650LC-11. Для подальших розрахунків у роботі можемо прийняти розрахункову масу 65,9 т як “найважчий” робочий варіант у межах моделі, а габарити у транспортному стані за довідковими даними прийняти орієнтовно довжина 13,005 м, ширина 4,265 м, висота 4,30 м. Це дасть консервативну (безпечну) основу для вибору трала, перевірки габаритів і розрахунку осьових/групових навантажень.

Для подальших розрахунків приймаємо розрахункові вихідні дані: маса екскаватора в транспортному стані 65,9 т, навісне обладнання як вантаж на платформі 4,0 т (типово ківш і швидкознімний адаптер або аналогічний комплект), загальна маса вантажу на тралі 69,9 т. Надалі при перевірці осьових і групових навантажень та при розробленні схеми кріплення ми будемо враховувати, що навісне обладнання створює додаткове навантаження і може зміщувати сумарний центр мас вантажу залежно від того, де саме його розміщено на платформі, тому його позицію будемо підбирати так, щоб не перевищувати нормативи і не погіршувати керованість автопоїзда.

1.3 Нормативні вимоги до перевезення великовагових і великогабаритних вантажів автомобільним транспортом в Україні

Під час організації міжрегіонального перевезення гусеничного екскаватора Komatsu PC650LC-11 масою 65,9 т разом із навісним обладнанням 4,0 т (загальна маса вантажу 69,9 т) ключовим нормативним орієнтиром є вимоги Правил дорожнього руху та спеціальних Правил проїзду великовагових і великогабаритних транспортних засобів. В Україні транспортний засіб або автопоїзд вважається великогабаритним чи великоваговим, якщо перевищує хоча б один із нормативних габаритних або вагових параметрів, установлених у пункті 22.5 ПДР.

Нормативи габаритів визначають допустимі межі для руху без спеціальних умов. Для більшості випадків максимальна ширина обмежена значенням 2,6 м, висота від поверхні дороги обмежена 4,0 м, а довжина для автопоїзда встановлена на рівні 22 м. Окремо регламентується допустимий виступ вантажу за задній габарит та спеціальні випадки для контейнеровозів на визначених маршрутах. Якщо вантаж або склад автопоїзда виходять за ці межі, перевезення переходить у режим “негабаритного” з додатковими організаційними вимогами.

Вагові параметри в ПДР нормуються як за фактичною масою, так і за осьовими та груповими навантаженнями, причому норми різняться для доріг державного і місцевого значення. Для типових комбінацій “тягач + напівпричіп” у загальному випадку гранична фактична маса на дорогах державного значення становить 40 т, тоді як для місцевих доріг застосовуються суттєво жорсткіші ліміти, а також наведені ліміти для одинарної осі та здвоєних і строєних осей. Саме тому для перевезення нашого вантажу масою 69,9 т у складі автопоїзда зазвичай апріорі очікується перевищення нормативів, що потребує спеціального правового режиму руху та окремого контролю осьових навантажень у розрахунковій частині проєкту.

Порядок руху у разі перевищень визначається Правилами проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів. Загальне правило таке, що рух здійснюється на підставі дозволу, який видається уповноваженим підрозділом Національної поліції, або на підставі документа про внесення плати за проїзд. Водночас допускається похибка 2% перевищення вагових параметрів без оформлення дозволу та без внесення плати, але для нашого перевезення така “похибка” не є релевантною, бо йдеться про істотне перевищення нормативної маси.

Оформлення дозволу прив’язане до погоджень маршруту і технічних умов проїзду. Дозвіл видається на підставі погоджувальних документів з власниками та балансоутримувачами дорожньої інфраструктури, залізничних переїздів, мостів, а за потреби також із службами електромереж, електрозв’язку й міського електротранспорту, якщо є ризики зачеплення або обмеження по висоті. Для

отримання дозволу перевізник подає заяву, де зазначаються марка і номерні знаки ТЗ, планові строки, маршрут, габаритні та вагові параметри, інформація про вантаж, а також дані відповідальної особи, і додає погодження та документ про оплату адмінпослуги. На практиці подання і отримання дозволу організовується через ЦНАП, а за наявності технічної можливості також через електронні сервіси.

Для перевезень із великою масою додатково спрацьовують підвищені вимоги до підготовки маршруту. Якщо загальна маса перевищує 60 т, власник дороги або уповноважена організація може прийняти рішення про спеціальне обстеження або випробування споруд і мереж на маршруті та, за потреби, про укріплення штучних споруд, причому витрати покладаються на замовника. За значних габаритів і маси також можливе додаткове погодження перетину залізничних переїздів та подання заявки завчасно, що прямо впливає на календарний план і диспетчеризацію рейсу.

Вимоги до маркування і візуального попередження інших учасників руху є обов'язковими, якщо вантаж виступає за габарити транспортного засобу. Нормативно передбачено позначення виступаючого вантажу сигнальними щитками "Негабаритний вантаж" заданого розміру зі світлоповертальними смугами та встановленням ліхтарів спереду, позаду і з боків у визначеній кількості. Також регламентується встановлення знака обмеження швидкості, а для довгомірних транспортних засобів понад 22 м передбачено додатковий розпізнавальний знак і світлові прилади в умовах недостатньої видимості.

Організація супроводу визначається уповноваженим підрозділом Національної поліції під час видачі дозволу, виходячи з ризиків для безпеки руху. Норматив прямо встановлює випадки обов'язкового супроводу автомобілем прикриття, зокрема коли ширина перевищує 3,5 м або довжина перевищує 24 м, а також випадки обов'язкового супроводу патрульним автомобілем поліції, коли ширина перевищує 3,75 м, довжина перевищує 30 м, або автопоїзд під час руху змушений частково займати смугу зустрічного руху. Це важливо врахувати для екскаваторів класу 65 т, оскільки їхня ширина по

гусеницях у транспортному стані часто виходить за “порогові” значення, отже супровід може бути не опцією, а умовою дозволу.

Окремий блок становлять обмеження режиму руху та вимоги до безпечної організації робіт. Правила проїзду забороняють рух у тумані, ожеледиці, снігопаді та в інших умовах недостатньої видимості, вимагають планувати проїзд у періоди найменшої інтенсивності руху та встановлюють застосування ближнього світла фар і пробліскового маячка оранжевого кольору під час руху. Дозвіл може додатково обмежувати максимальну швидкість на всьому маршруті або на окремих ділянках залежно від дорожніх умов і параметрів автопоїзда.

Вимоги до технічного стану і оснащення транспортних засобів для “негабаритного” режиму підкреслюють підвищену відповідальність перевізника. Технічний стан тягача, напівпричепа та зчіпних елементів має відповідати ПДР і інструкціям виробника, а автопоїзд повинен мати комплект аварійного та сигнального оснащення. Нормативом визначено мінімальний набір засобів для фіксації й огороження під час вимушеної зупинки, а також правила встановлення пробліскового маячка і те, що дозвіл одночасно легітимізує його використання на транспортному засобі та на автомобілі прикриття. У контексті нашого вантажу це безпосередньо пов’язується з вимогами до надійності розміщення екскаватора та окремого кріплення навісного обладнання на платформі, оскільки норматив прямо вимагає, щоб кріплення забезпечувало стійкість вантажу, не погіршувало керованість і не обмежувало оглядовість водієві.

1.4 Аналіз технічних рішень і практик перевезення екскаваторів на низькорамних тралах з урахуванням параметрів Komatsu PC650LC-11

Перевезення гусеничного екскаватора Komatsu PC650LC-11 у прийнятій постановці задачі (маса екскаватора в транспортному стані 65,9 т і навісне обладнання 4,0 т, разом 69,9 т) належить до найбільш вимогливих сценаріїв автомобільного транспортування будівельної техніки. На практиці складність

визначається не лише великою масою, а й конструктивними особливостями екскаватора цього класу: концентрованою масою поворотної платформи та противаги, значною шириною по гусеницях, а також геометрією робочого обладнання, яке навіть у “транспортному положенні” формує ризики перевищення габариту по висоті або довжині. Тому вибір трала і технології завантаження для PC650LC-11 базується на двох головних принципах: мінімізація транспортної висоти та забезпечення допустимого розподілу навантаження по осях за рахунок достатньої кількості осей і правильної “посадки” вантажу на платформі.

У практиці перевезення екскаваторів масою 40–70 т застосовуються низькорамні напівпричепи кількох конструктивних типів, кожен з яких по-різному відповідає вимогам “верхнього” класу, до якого належить PC650LC-11. Найпоширенішим базовим рішенням є низькорамний напівпричіп із заниженою вантажною платформою (low-bed / semi low-loader), де робоча частина платформи розміщена нижче рівня коліс за рахунок геометрії рами та застосування осьових агрегатів із низьким

профілем. Саме цей тип є ключовим для важкої техніки, оскільки висота настилу безпосередньо визначає загальний габарит автопоїзда по висоті. Для екскаватора класу PC650 навіть невелике зниження висоти платформи “економить” десятки сантиметрів у загальній висоті, що суттєво розширює вибір маршруту й знижує ймовірність конфліктів із шляхопроводами, елементами контактних мереж, дорожніми рамами та іншими перешкодами. Обмеженням таких тралів є те, що при максимальному заниженні платформи часто збільшується кут заїзду на апарелі та зростають вимоги до довжини апарелей і якості майданчика для завантаження, що важливо саме для гусеничної техніки великої маси.

Для екскаваторів рівня 65–70 т на практиці майже завжди застосовуються трали “важкого класу” із збільшеною кількістю осей. Причина очевидна: маса вантажу 69,9 т у поєднанні з масою самого напівпричепа й тягача формує такі значення повної маси автопоїзда та осьових/групових навантажень, які

неможливо “вписати” у допустимі межі без розподілу навантаження на більшу кількість осей. Тому типовими рішеннями є низькорамні напівпричепи з 5–6 (і більше) осями, часто з керованими осями для зменшення радіуса повороту та зниження зносу шин у поворотах. Експлуатаційною перевагою такого підходу є керований розподіл навантаження по осях і зниження питомого тиску на дорожнє полотно, а також можливість отримання більш “прохідного” погодженого маршруту за рахунок зменшення впливу на мости та покриття. Обмеженням стає зростання власної маси напівпричепи, збільшення довжини автопоїзда і, як наслідок, ускладнення маневрування на під’їздах до майданчиків, особливо у щільній забудові або на тимчасових під’їзних дорогах будівельних об’єктів.

Окремою групою практичних рішень є трали з від’ємним або знімним “гусаком” (detachable gooseneck), коли передня частина напівпричепи від’єднується, платформа опускається на ґрунт, і екскаватор заїжджає на неї фактично “в нуль” без крутих апарелей. Для важкого гусеничного екскаватора це є суттєвою перевагою, оскільки зменшується ризик пробуксовування гусениць на апарелях, ризик перекосу при заїзді та локального перевантаження настилу в зоні апарелей. Крім того, знімний гусак полегшує завантаження за умов обмеженої довжини майданчика, коли неможливо розмістити довгі апарелі з прийнятним кутом нахилу. Разом з тим такі рішення вимагають більшої технологічної дисципліни: потрібен підготовлений майданчик із достатньою несучою здатністю, контроль горизонтальності платформи під час заїзду, а також чітко визначений порядок під’єднання/від’єднання гусака та страхування платформи.

У практиці інколи застосовують і модульні платформи (комбінації з додатковими візками/долями), які використовують тоді, коли потрібно ще сильніше “рознести” навантаження по осях або адаптуватися до специфічних обмежень маршруту. Для нашого випадку це може бути актуально, якщо маса автопоїзда або осьові навантаження не проходять за погодженням на ключових ділянках маршруту. Однак модульність завжди підвищує складність організації:

зростає кількість вузлів зчеплення, вимоги до досвіду персоналу, витрати на супровід та час підготовки, тому зазвичай її розглядають як рішення “другого рівня”, якщо стандартний важкий low-bed не забезпечує прийнятних параметрів.

Типові схеми розміщення екскаватора на низькорамному тралі для класу PC650 підпорядковані задачі керування центром мас і габаритами. У транспортному стані найбільш “важка” частина екскаватора - зона поворотної платформи з двигунним відсіком і противагою - формує концентроване навантаження, яке при невдалому розміщенні здатне перевантажити або задню групу осей напівпричепа, або сідельно-зчіпний пристрій тягача. Тому поширеною практикою є розміщення екскаватора так, щоб проєкція центра мас припадала на середину “робочого вікна” платформи між гусаком і задньою теліжкою, а коригування здійснювалось невеликим зміщенням уперед або назад уже за результатами контрольного зважування або розрахункової перевірки осьових навантажень. Для гусеничної техніки додатково важливо забезпечити симетрію по ширині платформи, щоб уникнути перекосу підвіски та нерівномірного навантаження лівої/правої сторін групи осей. У реальних умовах це означає вирівнювання екскаватора по осі трала, застосування направляючих “маячків” під час заїзду і контроль положення гусениць відносно крайок настилу.

Варіанти завантаження екскаватора на трал на практиці зводяться до двох основних технологій: заїзд на апарелі або заїзд на платформу зі знімним гусаком, тоді як кранове завантаження для машин такого класу застосовується рідко і переважно у виняткових умовах. Заїзд по апарелях є найбільш поширеним сценарієм, але саме для PC650LC-11 він потребує зменшення кута заїзду, надійного зчеплення гусениць із поверхнею апарелей та підготовленого майданчика, що виключає просідання опор під апарелями. На практиці для важких екскаваторів важливо контролювати чистоту траків від ґрунту і мастил, використовувати протиковзні елементи та, за потреби, застосовувати допоміжну лебідку або страховку, щоб уникнути ривків і пробуксовування. Завантаження через знімний гусак, навпаки, знижує ризики, пов’язані з кутом заїзду, але висуває вимоги до точності технологічних операцій та рівності опорної поверхні.

Висота платформи є одним із найважливіших факторів для екскаватора класу PC650LC-11, оскільки загальний габарит по висоті формується як сума висоти настилу трала і висоти машини у транспортному положенні. У практиці перевезень саме тому перевага надається максимально “низьким” платформам або конфігураціям, що дозволяють опустити настил, а також технологічним рішенням, які зменшують висоту самої машини в транспортному стані. До таких належать складання робочого обладнання у найнижче допустиме положення, контроль положення стріли та рукояті, а також розміщення навісного обладнання окремо на платформі, що у нашому проєкті прийнято як базове рішення. Перевезення навісного обладнання окремими місцями зменшує “випадкові” виступи по габариту і підвищує керованість загальними габаритами, хоча і додає вимоги до розміщення та кріплення цих елементів як окремих вантажних місць.

Підходи до розподілу навантаження по осях при перевезенні екскаватора PC650LC-11 зазвичай поєднують конструктивні та організаційні методи. Конструктивний підхід полягає у збільшенні кількості осей напівпричепа та використанні конфігурацій із керованими осями і гідропневматичною підвіскою, яка вирівнює навантаження по групі. Організаційний підхід полягає у правильному позиціюванні екскаватора на платформі, тобто в керуванні плечем прикладання сили відносно груп осей і сидла тягача, а також у розміщенні навісного обладнання таким чином, щоб “підрівняти” розподіл маси і не створювати небажаного додаткового моменту. Для нашої постановки задачі цей аспект є принциповим: 4,0 т навісного обладнання - це не просто додаткова маса, а інструмент корекції центра мас вантажу в межах допустимого “вікна” платформи, якщо його розмістити з урахуванням розрахунку осьових навантажень.

Перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 масою 65,9 т із навісним обладнанням 4,0 т вимагає застосування низькорамного трала важкого класу з достатньою кількістю осей і мінімальною висотою платформи, а також технології завантаження, що забезпечує безпечний заїзд гусеничної техніки без надмірних кутів і ривків. Типові практики розміщення вантажу зосереджені на

керуванні центром мас і симетрією по ширині, а поширені підходи до осьових навантажень ґрунтуються на поєднанні багатовісної платформи, правильного позиціонування екскаватора та раціонального розміщення навісного обладнання як окремих вантажних місць. Саме ці принципи надалі є базою для обґрунтованого вибору конкретного трала та розрахункової перевірки осьових/групових навантажень у проєктній частині роботи.

1.5 Висновки та постановка завдань на кваліфікаційну роботу бакалавра

Проведений аналіз об'єкта дослідження показав, що перевезення гусеничних екскаваторів масою 40–70 т є складним багатофакторним транспортно-технологічним процесом, який потребує комплексного інженерного підходу. Основною особливістю такого вантажу є поєднання значної маси з нерівномірним її розподілом, змінними габаритами та наявністю рухомих елементів, що безпосередньо впливають на стійкість автопоїзда, характер навантаження на осі та вимоги до способів кріплення.

Встановлено, що визначальними факторами ефективної організації перевезення є точне врахування масо-габаритних характеристик екскаватора у транспортному положенні, правильне визначення положення центра мас, а також раціональне розміщення вантажу на платформі низькорамного трала. Недостатня увага до цих параметрів може призвести до перевищення допустимих осьових навантажень, зниження керованості автопоїзда та виникнення аварійних ситуацій.

Аналіз нормативно-правової бази України показав, що перевезення екскаватора масою близько 70 т однозначно відноситься до категорії великовагових і великогабаритних перевезень, що здійснюються за спеціальними дозволами із дотриманням встановлених обмежень щодо габаритів, маси, режиму руху та супроводу. Це накладає додаткові організаційні

вимоги до підготовки маршруту, узгодження з відповідними службами та забезпечення належного технічного стану транспортних засобів.

У ході аналізу технічних рішень встановлено, що для перевезення екскаваторів класу Komatsu PC650LC-11 доцільним є застосування важких низькорамних тралів із підвищеною кількістю осей, що забезпечує зниження питомих навантажень на дорожнє покриття та відповідність нормативним обмеженням. Важливим також є забезпечення мінімальної висоти платформи для дотримання габаритних обмежень по висоті та використання технологій завантаження, які гарантують безпеку виконання робіт.

Встановлено, що маршрут перевезення має формуватися з урахуванням технічного стану доріг, наявності штучних споруд, обмежень за габаритами та масою, а також можливості безпечного маневрування автопоїзда. При цьому значну роль відіграє економічна складова, зокрема оптимізація витрат пального, часу виконання рейсу та витрат на супровід.

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують необхідність розроблення комплексного організаційно-технологічного рішення, яке забезпечить безпечне, ефективне та економічно обґрунтоване перевезення важкої будівельної техніки.

Відповідно до поставленої мети кваліфікаційної роботи сформульовано такі основні завдання дослідження:

- обґрунтувати вибір типу та технічних параметрів низькорамного трала для перевезення екскаватора заданої маси і габаритів;
- виконати вибір сідельного тягача з урахуванням умов експлуатації та необхідної тягової здатності;
- розробити раціональну схему розміщення екскаватора та навісного обладнання на платформі з урахуванням положення центра мас;
- виконати розрахунок повної маси автопоїзда та розподілу осьових і групових навантажень;
- розробити та обґрунтувати схему кріплення вантажу з перевіркою стійкості від зсуву при дії інерційних сил;

- сформувати раціональний маршрут перевезення між м. Вінниця та м. Тернопіль з урахуванням інфраструктурних обмежень;
- визначити потребу у дозвільних документах, супроводі та організаційних заходах;
- виконати розрахунок вартості перевезення та оцінити його економічну ефективність;
- розробити заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці під час завантаження і транспортування екскаватора.

Реалізація зазначених завдань дозволить отримати обґрунтоване інженерне рішення для організації перевезення екскаватора масою 40–70 т, що відповідатиме вимогам безпеки, нормативним обмеженням та критеріям ефективності транспортного процесу.

2 ЗАХОДИ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Обґрунтування вибору трала для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11

Обґрунтування вибору трала для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 потрібно робити від двох ключових вихідних факторів: по-перше, від параметрів вантажу (масо-габаритних і “концентрації” маси), по-друге, від умов виконання рейсу на маршруті Вінниця → Тернопіль, який має протяжність близько 230–235 км автомобільними дорогами.

У нашому проєкті прийнято, що на платформі перевозиться екскаватор масою 65,9 т та навісне обладнання 4,0 т (разом 69,9 т), причому навісне обладнання транспортується окремими місцями. Габарити PC650LC-11 у транспортному стані є характерними для “верхнього” класу: довжина близько 13,0 м, ширина близько 4,27 м, висота близько 4,3 м, що автоматично формує вимогу мінімізувати висоту настилу трала і водночас забезпечити підвищену стійкість та керованість автопоїзда.

З огляду на масу 69,9 т, використання “універсальних” 3-осьових або навіть типових 4-осьових низькорамних напівпричепів для будівельної техніки є практично невиправданим: навіть якщо вантажопідйомність за паспортом може виглядати достатньою, основна проблема проявляється у розподілі навантаження по осях. У екскаватора такого класу маса концентрується в зоні поворотної платформи та противаги, через що невелике зміщення по платформі різко змінює осьові/групові навантаження. Тому технічно доцільним є вибір важкого низькорамного трала (low-bed) з підвищеною кількістю осей (як правило, 6 осей у задній теліжці або 5–6 осей із можливими додатковими осями/долі під специфічні умови). Саме збільшення кількості осей дає можливість “рознести” вагу вантажу і зменшити пікові осьові навантаження, що є визначальним для отримання погодженого режиму руху і зниження впливу на покриття та штучні споруди.

Другий аргумент - габарит по висоті. Оскільки висота екскаватора в транспортному стані близько 4,3 м, кожні 10–20 см “економії” висоти платформи прямо зменшують загальну транспортну висоту автопоїзда та ризик конфліктів із шляхопроводами, міськими перетинами, інженерними комунікаціями на під’їздах до пунктів завантаження/розвантаження. Для маршруту Вінниця–Тернопіль (приблизно 230–235 км) це особливо важливо, бо рейс фактично проходить у межах одного робочого дня і майже завжди включає під’їзди через транспортні вузли та населені пункти, де “висотні” обмеження трапляються частіше, ніж на чистій магістралі.

Третій аргумент - безпека завантаження важкої гусеничної техніки. Для екскаватора 65,9 т завантаження по апарелях на значному куті підйому є критично ризиковим через можливі пробуксовування, перекіс на стику “апарель–платформа” та локальні ударні навантаження. Тому для обраного об’єкта перевезення найбільш раціональним конструктивним рішенням є трал зі знімним (від’єднуваним) гусаком (removable/detachable gooseneck) або принаймні трал із дуже довгими апарелями і конструкцією, яка забезпечує мінімальний кут заїзду. Знімний гусак спрощує технологію заїзду “в нуль” (без крутих апарелей), підвищує керованість процесу позиціонування і знижує виробничі ризики для персоналу під час завантаження, що є важливою умовою охорони праці. Як приклад класу техніки, який застосовують у будівельних перевезеннях із знімним гусаком і різною кількістю осей, виробники прямо позиціонують low-bed рішення для будівельної сфери.

Четвертий аргумент пов’язаний із протяжністю маршруту і вимогами до маневровості. Відстань Вінниця–Тернопіль у 230–235 км не є настільки великою, щоб виправдовувати застосування надскладних модульних систем на кшталт багатовізкових комбінацій з великою кількістю зчеплень, які підвищують час підготовки, потребу в персоналі й супроводі. Натомість маршрут достатньо “трасовий”, щоб зробити пріоритетом стабільність руху, контрольованість гальмувань і керованість на поворотах/кільцевих розв’язках, що типово вирішується керованими осями задньої теліжки та гідропневматичною

підвіскою, яка вирівнює навантаження між осями і покращує плавність ходу (що важливо і для безпеки, і для збереження техніки та кріплень на відносно довгому денному плечі перевезення).

Отже, з урахуванням прийнятих вихідних даних (вантаж 69,9 т; екскаватор PC650LC-11 із транспортними габаритами близько 13,0×4,27×4,3 м) та умов маршруту Вінниця–Тернопіль (230–235 км), технічно та організаційно обґрунтованим є вибір важкого низькорамного трала low-bed під екскаватори класу 65–70 т із 6-осьовою (або еквівалентною за несучою здатністю) задньою теліжкою, низькою висотою платформи, керованими осями та бажано зі знімним гусаком для безпечного заїзду. Така конфігурація дає найкращий баланс між можливістю витримати високі масові параметри, мінімізувати транспортну висоту, забезпечити контроль осьових навантажень і зберегти керованість автопоїзда на реальних дорожніх умовах міжрегіонального маршруту.

Візьмемо як “запропонований трал”: низькорамний трал із від’єднуваним гусаком (detachable gooseneck) класу Nooteboom EURO-PX (6-axle lines bogie) – саме та компоновка, яка добре підходить під екскаватори важкого класу завдяки “екскаваторній ванні” (excavator trough) і модульності осей.



Рисунок 2.1 – Низькорамний трал із від’єднуваним гусаком (detachable gooseneck) класу Nooteboom EURO-PX (6-axle lines bogie)

Нижче - розрахункове (інженерне) обґрунтування, чому для вантажу 69,9 т (Komatsu PC650LC-11, $\approx 13,0 \times 4,27 \times 4,3$ м) технічно доцільний саме важкий low-bed із 6-осьовою задньою теліжкою (або еквівалент за несучою здатністю). Я покажу логіку через навантаження на осі та «запас» по розподілу маси.

Вихідні нормативні орієнтири по Україні такі: у п. 22.5 ПДР (та в роз'ясненнях Мінінфраструктури) наведені граничні осьові навантаження для звичайного руху: одиночна вісь 11 т, здвоєні 16 т, строєні 22 т, а також гранична фактична маса ТЗ понад 40 т (контейнеровози 44 т тощо). Для нашого перевезення ці ліміти все одно будуть перевищені, тому воно однозначно «під дозвіл», але ці числа залишаються базою для інженерного вибору кількості осей: чим менше осей, тим більші пікові навантаження на дорожнє покриття/мости і тим складніше отримувати погодження та проходити габаритно-ваговий контроль.

Далі приймемо типові (реалістичні) маси складу. Важкий low-bed під клас 65–70 т із 6 осями зазвичай має власну масу порядку 18–22 т; для розрахунку візьмемо 20 т. Тягач під такі маси на практиці беруть не «звичайний» 2-осьовий, а важкий 4-осьовий (або з підкатною «jeep-dolly»/booster), однак зараз ключове - саме обґрунтування 6 осей на напівпричепі.

Отже, корисне навантаження на напівпричіп (екскаватор) 69,9 т, тара напівпричепи 20 т, разом те, що «сидить» на напівпричепі:

$$W_{tr} = 69,9 + 20 = 89,9 \text{ т.}$$

Чому вирішальним є саме розподіл між шкворнем (п'ятим колесом) і задньою теліжкою напівпричепи. У спрощеній статичній моделі напівпричіп - це балка на двох опорах: шкворень і центр групи осей. Нехай відстань між ними (база напівпричепи по силовій схемі) $S \approx 8,5$ м - типове значення для low-bed «із колодязем». Нехай центр мас екскаватора у транспортному положенні розташований на відстані d від шкворня (це керується тим, як саме ми «посадимо» екскаватор на ліжку).

Тоді реакції від вантажу (саме від 69,9 т) будуть:

$$R_{ax,cargo} = W_c \cdot \frac{d}{S}, \quad R_{kp,cargo} = W_c \cdot \frac{S-d}{S},$$

Для тара напівпричепа (20 т) розподіл менш «керований», але типово ~25% припадає на шкворень і ~75% на осі (через масу рами/теліжки). Візьмемо:

$$R_{kp,tare} \approx 5 \text{ т}, \quad R_{ax,tare} \approx 15 \text{ т}.$$

Тепер покажу два характерні сценарії - і в обох видно, що 6 осей дають потрібний запас, а менша кількість осей різко «піднімає» навантаження на вісь.

Сценарій А (нейтральне розміщення, без сильного “виносу” вперед): візьмемо ($d=4,5$) м (центр мас вантажу ближче до середини прольоту). Тоді:

$$R_{ax,cargo} = 69,9 \cdot \frac{4,5}{8,5} = 37,0 \text{ т}, \quad R_{kp,cargo} = 69,9 - 37,0 = 32,9 \text{ т}.$$

Додаємо тару:

$$R_{ax,total} \approx 37,0 + 15 = 52,0 \text{ т}, \quad R_{kp,total} \approx 32,9 + 5 = 37,9 \text{ т}.$$

Тепер ключове: що це означає по осях теліжки.

Якщо задня теліжка 6-осьова, середнє навантаження на вісь:

$$p_6 = \frac{52,0}{6} = 8,7 \text{ т/вісь}.$$

Це «здоровий» рівень навіть як інженерний орієнтир під габаритно-вагові обмеження (і з хорошим запасом для нерівномірності між осями через поздовжні ухили/нерівності).

Якщо ж теліжка 4-осьова, то:

$$p_4 = \frac{52,0}{4} = 13,0 \text{ т/вісь},$$

що різко ускладнює і погодження, і фактичний проїзд по слабших ділянках (мости/підходи/дефекти покриття), бо пікові осьові навантаження будуть ще більші за середні.

Якщо теліжка 5-осьова, то:

$$p_5 = \frac{52,0}{5} = 10,4 \text{ т/вісь}.$$

Запас для реальної нерівномірності між осями (особливо на хвилі/латках, у поворотах та при гальмуванні) стає помітно меншим, ніж у 6-осьової.

Саме тут і проявляється технічна логіка вибору: 6 осей на задній теліжці дають істотно менші напруження “на вісь” при тому самому вантажі, а це прямо зменшує ризики перевищення контрольних параметрів на окремих осях у реальному русі.

Сценарій В (під “мостові” обмеження, мінімізуємо навантаження на задню групу): інколи маршрут/мости змушують зменшувати реакцію на осі напівпричепа і «забирати» більше на шкворень (далі - на осі тягача). Якщо орієнтуватися на логіку «дві строєні групи» як умовний референт, то 6 осей можна мислити як 2×tridem; базовий трідём у ПДР фігурує як 22 т. Тоді «референтний» рівень для 6 осей - близько 44 т на теліжку (ще раз: це не дозвіл для нашого складу, а інженерний орієнтир масштабу).

Поставимо ціль $R_{ax,total} = 44$ т. Оскільки тара на осях ≈ 15 т, від вантажу на осі треба дати близько $R_{ax,cargo} = 29$ т. З формули:

$$69,9 \cdot \frac{d}{8,5} = 29 \Rightarrow d \approx 3,53 \text{ м.}$$

Тобто екскаватор доведеться садити помітно ближче до гусака, і тоді:

$$R_{ax,total} \approx 29 + 15 = 44 \text{ т,} \quad R_{kp,total} \approx (69,9 - 29) + 5 = 45,9 \text{ т.}$$

За такого сценарію середнє на вісь при 6 осях:

$$p_6 = \frac{44}{6} = 7,3 \text{ т/вісь,}$$

ще комфортніше для дорожнього полотна/мостів, але ціною дуже великого шкворневого навантаження, яке вже «має прийняти» тягач (тому на практиці тут і виникає потреба у важкому 4-осьовому тягачі або додаткових осьових модулях). І знову видно, що 6-осьова теліжка дає простір для маневру розподілом маси: можна або тримати помірний шкворень і не перевантажувати задню групу, або, якщо треба під мости, - «перекинути» більше на тягач, залишивши осі напівпричепа в межах м'якшого режиму.

Окремо про габаритність, яка теж підсилює вибір саме важкого low-bed. Ширина 4,27 м і висота близько 4,3 м виходять за стандартні габарити, а отже потрібні дозвіл, погодження маршруту та організаційні заходи супроводу згідно правил проїзду великогабаритних/великовагових ТЗ. Низькорамна схема

потрібна не «для краси», а щоб не роздувати висоту ще більше: high-bed або платформа з вищою настильністю майже гарантовано підніме загальну висоту за 4,3 м і збільшить кількість конфліктів із ЛЕП/путепроводами на маршруті Вінниця–Тернопіль. Low-bed мінімізує висоту настилу, а довгий «колодязь» дає можливість посадити екскаватор нижче і керувати положенням центра мас для осьового балансу.

Підсумок у формі висновку: при масі вантажу 69,9 т навіть у спрощеному розрахунку реакція на осі напівпричепа легко виходить на рівень 44–52 т залежно від посадки вантажу. Якщо цю реакцію розкласти на 4 осі, отримуємо близько 13 т/вісь (плюс динаміка), що технічно і організаційно «жорстко». На 5 осях це ~10,4 т/вісь із меншим запасом. На 6 осях це ~8,7 т/вісь у нейтральному сценарії або ~7,3 т/вісь у “мостовому” сценарії, тобто з реальним запасом під нерівномірність і з можливістю гнучко балансувати шкворневе навантаження. Саме тому вибір low-bed із 6-осьовою (або еквівалентною) задньою теліжкою для екскаватора класу 65–70 т є технічно та організаційно обґрунтованим для маршруту Вінниця–Тернопіль.

2.2 Обґрунтування та вибір сідельного тягача для перевезення для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 на тралі класу Nooteboom EURO-PX (6-axle lines bogie)

У розрахунках я використовую прийняті в проєкті дані: маса вантажу (екскаватор + навісне) 69,9 т, напівпричіп Nooteboom EURO-PX із DGO та заднім візком на 6 осьових ліній. Там, де паспортні величини конкретної комплектації відсутні, вводжу обґрунтовані допущення.

Для попередньої оцінки повної маси автопоїзда приймаємо:

маса вантажу $G_e = 69,9$ т;

- маса напівпричепа EURO-PX (6 axle lines bogie) $G_{np} = 22$ т (допущення для важкого низькорамного трала з від'єднуваним гусаком і маятниковими осями);

- маса сідельного тягача SLT класу 8×4/4 $G_m = 18$ т (допущення для важкого спеціалізованого тягача без додаткового баласту).

Тоді повна маса автопоїзда:

$$GCW = G_B + G_{\text{шп}} + G_T = 69,9 + 22 + 18 = 109,9 \approx 110 \text{ т.}$$

Навіть за помірному зростанні маси напівпричепа (наприклад до 25 т) отримаємо:

$$GCW \approx 69,9 + 25 + 18 = 112,9 \approx 113 \text{ т.}$$

Отже, тягач класу «звичайний магістральний 44 т GCW» принципово не підходить, і потрібен важкий тягач, конструктивно розрахований на роботу з GCW порядку 110–120 т і більше, зі збільшеним запасом по силовій лінії, охолодженню й гальмуванню.

Для обґрунтування потужності силового агрегата оцінюємо необхідне тягове зусилля на характерному підйомі. Для маршруту Вінниця → Тернопіль дорога переважно магістральна, але локально можливі підйоми; для проектної перевірки приймають контрольний підйом 5% (консервативно) і швидкість важкого автопоїзда на підйомі 20 км/год.

Опір руху на підйомі:

$$F = (f + i) mg,$$

де f – коефіцієнт кочення (приймаємо 0,015 для асфальту), i – ухил 0,05, m – маса автопоїзда, $g=9,81$.

Приймаємо $m=110000$ кг:

$$F = (0,015 + 0,05) \cdot 110000 \cdot 9,81 = 0,065 \cdot 1\,079\,100 \approx 70\,100 \text{ Н (70 кН).}$$

Потужність на колесах при $v=20$ км/год $=5,56$ м/с:

$$P_k = F \cdot v \approx 70\,100 \cdot 5,56 \approx 390\,000 \text{ Вт} = 390 \text{ кВт.}$$

З урахуванням ККД трансмісії $\eta=0,85$:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_k}{\eta} \approx \frac{390}{0,85} \approx 459 \text{ кВт.}$$

Це дуже показовий результат: для впевненого руху на 5% підйомі зі швидкістю ~ 20 км/год потрібен двигун порядку 460 кВт, тобто тягач SLT-класу з потужністю близько 460 кВт (625 к.с.) має логічне розрахункове обґрунтування. Якщо ухил менший (3%), потрібна потужність падає суттєво.

Перевірка умови зчеплення (рушання та повільний хід без пробуксовки)

Для важких перевезень критично, щоб тягач міг рушати на підйомі та працювати на малих швидкостях без пробуксовки, особливо взимку або на вологому покритті. Доступне зчеплення визначаємо як:

$$F_{\max} = \mu \cdot N_{\text{вед}},$$

де μ – коефіцієнт зчеплення, $N_{\text{вед}}$ – нормальна сила на ведучих осях.

Для консервативної оцінки приймаємо $\mu = 0,35$ (холодний/вологий асфальт). Для тягача 8×4/4 із можливістю баластування та підвищеним навантаженням на ведучі осі приймемо навантаження на ведучі осі $G_{\text{вед}}=26$ т (допущення для важкого тягача з DGO, де частина ваги передається на тягач і може бути збільшена баластом):

$$F_{\max} = 0,35 \cdot 26\,000 \cdot 9,81 \approx 89\,000 \text{ Н (89 кН)}.$$

Порівнюємо з потрібним тяговим зусиллям на 5% підйомі ($F \approx 70$) кН: запас є, отже режим рушання/повільного руху на підйомі реалістичний.

Якщо ж брати тягач 6×4 із меншою вагою на ведучих осях (припустимо 19 т), то:

$$F_{\max} \approx 0,35 \cdot 19\,000 \cdot 9,81 \approx 65 \text{ кН},$$

що вже наближається або навіть стає нижчим за потрібні 70 кН у «поганих» умовах. Тому вибір 8×4/4 SLT дає не лише потужність, а й зчепний запас.

Розрахункова перевірка розподілу маси по осях напівпричепа (логіка вибору 6 осьових ліній).

Для EURO-PX з маятниковими осями ключове — щоб навантаження на кожну осьову лінію не виходило за технічно допустимі межі. Для дипломного розрахунку беремо варіант, коли осьові лінії розраховані на 14 т (це поширена конфігурація для важких модульних візків), тоді несуча спроможність заднього візка:

$$G_{\text{віз}} = 6 \cdot 14 = 84 \text{ т}.$$

Вага «вантаж + напівпричіп»:

$$G_{\text{в+нп}} = 69,9 + 22 = 91,9 \text{ т}.$$

Тоді необхідне навантаження на сідло (через гусак/шкворінь), щоб не перевищити 84 т на візку:

$$G_{\text{сід}} = G_{\text{в+нп}} - G_{\text{віз}} = 91,9 - 84 = 7,9 \text{ т.}$$

Отримане значення 7,9 т є реалістичним для вертикального навантаження на сідельно-зчіпний пристрій у важких перевезеннях і означає, що при коректному поздовжньому розміщенні екскаватора в «ванні» EURO-PX можна забезпечити прийнятний розподіл ваги. Це також пояснює, чому конструкція EURO-PX із глибокою ванною під ходову частину екскаватора і регулюванням підвіски є корисною: вона дозволяє не лише зменшити висоту, а й точніше «піймати» розподіл по осях.

Якщо ж помилково прийняти осьову лінію як 12 т, тоді $6 \times 12 = 72$ т, і необхідне навантаження на сідло стало б 19,9 т, що різко підвищує вимоги до сідла і тягача та погіршує керованість. Тому доречно зафіксувати, що для заданого вантажу доцільно приймати виконання заднього візка з підвищеною технічною несучою здатністю осьової лінії (14 т) або коригувати комплектацію (але ти вже зафіксував 6 axle lines, тому логічно обґрунтовувати саме “14-тонні лінії” як робочий варіант).

Отримані оцінки показують, що для автопоїзда масою порядку 110–115 т потрібен тягач, який здатний забезпечити близько 460 кВт двигунної потужності для руху на контрольному підйомі 5% зі швидкістю близько 20 км/год, а також має достатній запас зчеплення (особливо в зимових/вологих умовах), що краще забезпечується конфігураціями 8×4/4 SLT/Push-Pull із підвищеним навантаженням на ведучі осі. Додатково перевірка розподілу ваги по осях напівпричепа при 6 осьових лініях показує досяжність допустимих навантажень за умови використання виконання з підвищеною несучою здатністю осьової лінії та правильного позиціювання екскаватора в «ванні» EURO-PX. Сукупність цих факторів і формує обґрунтований вибір спеціалізованого сідельного тягача важкого класу (SLT) як базового рішення для маршруту Вінниця → Тернопіль.

Для виконання операції транспортування обираємо Mercedes-Benz Arocs/Actros SLT 4163 8×4/4.

2.3 Розроблення маршруту Вінниця - Тернопіль для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11

Об'єкт перевезення - гусеничний екскаватор Komatsu PC650LC-11 у транспортному стані масою 65,9 т та навісне обладнання масою 4,0 т, разом 69,9 т. Екскаватор перевозиться на низькорамному тралі в транспортному положенні, навісне обладнання - окремими місцями на тій самій платформі з окремим кріпленням. За паспортними габаритами базової машини типові транспортні розміри становлять: загальна довжина близько 13,0 м, загальна ширина 4,265 м; висота до верху стріли (у залежності від довжини рукояті) близько 4,30 м і більше.

Така комбінація маси й габаритів одразу визначає перевезення як великовагове та великогабаритне в розумінні Правил дорожнього руху, оскільки нормативні межі для руху без спеціальних умов включають ширину 2,6 м, висоту від поверхні дороги 4,0 м, довжину автопоїзда 22 м, а також масові обмеження для типових комбінацій тягач–напівпричіп.

Ключовою базою для оцінювання допустимості руху є п. 22.5 ПДР, який встановлює граничні «дозволені максимальні розміри» (2,6 м по ширині та 4,0 м по висоті) і граничні значення фактичної маси для транспортних засобів/составів на дорогах державного значення. Зіставлення з параметрами Komatsu PC650LC-11 показує перевищення щонайменше за шириною ($4,265 \text{ м} > 2,6 \text{ м}$) та за габаритною висотою до верху стріли (прибл. $4,3 \text{ м} > 4,0 \text{ м}$).

Практичний висновок для маршруту та організації руху такий: пріоритет мають дороги державного значення з кращими геометричними параметрами (ширина смуг/узбіч, радіуси заокруглень, наявність об'їздів міст), менша кількість населених пунктів із щільною забудовою, мінімізація «вузьких місць» (мости зі знаками обмеження, шляхопроводи з обмеженням висоти, ділянки з ЛЕП на малій висоті, кругові розв'язки з малим внутрішнім радіусом). Для великовагового складу критичними також є мостові споруди та шляхопроводи:

навіть за наявності дозволу перевезення потребує підтвердження допустимості проїзду конкретними штучними спорудами (за паспортами споруд або за актом обстеження маршруту).

Основним коридором для сполучення Вінниця → Тернопіль доцільно прийняти міжнародну автомобільну дорогу М-30 «Стрий - Умань - Дніпро - Ізварине (через мм. Вінницю, Кропивницький)». Вона належить до доріг загального користування державного значення та має виділені під'їзди/об'їзні ділянки, зокрема в районі Вінниці й Хмельницького, що важливо для великогабаритного автопоїзда.

Орієнтовна протяжність автомобільного маршруту між Вінницею та Тернополем становить близько 230–235 км, що дає можливість виконати перевезення в межах однієї зміни за умови руху зі зниженою швидкістю та з технологічними зупинками на огляди кріплень.

Відправною точкою слід приймати промисловий майданчик/пункт завантаження у Вінниці з виїздом на найближчу магістральну розв'язку в напрямку М-30. Усередині міста великогабаритний состав бажано виводити на магістралі з мінімумом лівих поворотів і з достатньою шириною проїзної частини, уникаючи історичного центру, вулиць із щільною парковкою та контактних мереж (за наявності тролейбусних ліній).

Подальший рух доцільно організувати М-30 у напрямку Хмельницького, використовуючи об'їзні/під'їзні ділянки там, де це зменшує кількість міських перехресть і звужень. Наявність у переліку державних доріг окремих «східного під'їзду до м. Вінниці» та «західного/східного під'їздів до м. Хмельницького» підтверджує можливість планування маршруту з мінімальним заходом у міську мережу.

Після проходження вузла Хмельницького маршрут продовжується М-30 у напрямку Тернополя. На підході до Тернополя логістично правильно завершувати маршрут через під'їзні магістралі/об'їзні вулиці з виходом до пункту розвантаження так, щоб не проходити центральні мости та щільні житлові квартали без потреби. Для «останньої милі» часто потрібне попереднє

обстеження з представниками замовника й перевізника, оскільки саме на міських під'їздах найчастіше трапляються обмеження по висоті (дроти, рекламні конструкції, пішохідні переходи з фермами) та по маневруванню (острівці безпеки, кільця малого діаметра).

Габарит по ширині 4,265 м означає зайняття більшої частини смуги та підвищену чутливість до бокових перешкод. Тому при розробленні маршруту потрібно закладати запас по ширині на узбіччях, уникати ділянок із ремонтними звуженнями, а на розв'язках і в населених пунктах обирати траєкторії з найбільшими радіусами, за потреби - із тимчасовим перекриттям суміжної смуги супроводом.

Габаритна висота близько 4,3 м (до верху стріли) робить критичними будь-які штучні споруди та інженерні мережі з просвітом близько 4,5 м і менше, а також ділянки з дорожніми знаками 3.18 (обмеження висоти). На практиці це означає, що перед рейсом повинні бути перевірені: шляхопроводи, надземні пішохідні переходи, рамні конструкції, ділянки контактних мереж, тимчасові комунікації в зонах ремонту. Якщо на маршруті виявляються низькі перетини, у доцільно передбачати або коригування маршруту на паралельні вулиці/об'їзди, або технологічні заходи (узгоджене тимчасове підняття проводів відповідними службами), але вже на стадії виконання перевезення.

Масова характеристика 69,9 т вантажу (без урахування маси трала й тягача) робить визначальним не лише вибір дороги, а й осьовий розподіл та кількість осей напівпричепа. ПДР задають граничні масові параметри та відсилають до «дозволеного максимального навантаження на вісь» у п. 22.5, тому в проєкті маршрут доцільно прив'язувати до рішення «низькорамний трал підвищеної осьовості», яке забезпечує зменшення навантаження на кожную вісь і підвищує шанси погодження проїзду мостами.

Оскільки перевезення виходить за межі стандартних габаритів і мас, логічно закласти обов'язковість офіційного погодження/дозволу на рух за погодженим маршрутом, а також супровід (прикриття) на небезпечних ділянках. На практиці супровід потрібен для маневрів на розв'язках, проходження вузьких

мостів, об'їзду перешкод і для контролю зустрічних потоків на коротких ділянках із недостатньою шириною. Додатково доцільно планувати рух у «вікна» з низькою інтенсивністю трафіку, щоб мінімізувати ризики вимушених зупинок на підйомах/спусках та на підходах до мостів.

Для контролю безпеки в дорозі слід закладати технологічні зупинки для огляду кріплень екскаватора і навісного обладнання, контролю стану шин/підвіски (для багатовісного трала), а також перевірки відсутності зміщення вантажу після проходження нерівностей. Це напряму узгоджується з вимогою ПДР щодо обов'язку водія перевіряти надійність розташування і кріплення вантажу перед початком руху та контролювати це під час руху.

Маршрут Вінниця - Тернопіль для Komatsu PC650LC-11 раціонально проектувати по магістральному коридору М-30 з використанням під'їздів/об'їзних ділянок у районі Вінниці та Хмельницького, оскільки це дороги державного значення з кращими умовами для великогабаритних составів. Обмеження за шириною (4,265 м) і висотою (прибл. 4,3 м) порівняно з нормативними 2,6 м і 4,0 м роблять перевезення великогабаритним і вимагають маршрутизації з обов'язковим урахуванням мостів/шляхопроводів, інженерних мереж та геометрії розв'язок, а також організаційних заходів у вигляді погодження маршруту, супроводу та руху у знижено-транспортні періоди.

Нижче подаю орієнтовний графік руху для перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 (вантаж 69,9 т) за маршрутом Вінниця → Тернопіль по коридору М-30, з урахуванням того, що великогабаритний/великоваговий автопоїзд рухається повільніше, а також потребує регулярних зупинок для контролю кріплень і узгоджень на «вузьких» місцях.

У графіку прийнято робочі допущення, типові для такого перевезення: середня технічна швидкість у русі 40–50 км/год (беремо 45 км/год), короткі зупинки кожні ~50–70 км на огляд кріплень, додаткова пауза перед в'їздом у Тернопіль для координації супроводу на «останній милі». Якщо у вашому дозволі/узгодженні буде вказано інший часовий інтервал руху (часто бувають обмеження по днях/годинах), цей графік легко зсувається без зміни структури.

Таблиця 2.1 – Графік рейсу перевезення Komatsu PC650LC-11 (Вінниця → Тернопіль, коридор М-30)

Етап / операція	Ділянка	Відстань, км	Розрахункова швидкість, км/год	Час початку	Час завершення	Тривалість, хв	Накопичена відстань, км	Примітка (призначення операції)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Передрейсова підготовка	Майданчик завантаження	-	-	06:00	06:30	30	0	Огляд ТЗ і трала, перевірка документів, контроль кріплень і габариту
Виїзд на магістраль	Пункт завантаження → вихід на М-30	8	25	06:30	06:50	20	8	Рух міськими магістралями без заходу в вузькі вулиці, робота з супроводом

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рух	Вінниця → Летичів (М-30)	75	45	06:50	08:30	100	83	Стабільний режим руху з урахуванням великогабаритності
Технічна зупинка 1	Контроль кріплень	-	-	08:30	08:45	15	83	Підтяжка стяжок/ланцюгів, контроль навісного обладнання
Рух	Летичів → Хмельницький (підхід/об'їзд)	37	44	08:45	09:35	50	120	На підході до вузла швидкість знижується через трафік/перехрестя
Організаційна пауза	Район Хмельницького	-	-	09:35	09:55	20	120	Координація проходження розв'язок, за потреби - «вікно» для маневру
Рух	Хмельницький (об'їзд) → Волочиськ (М-30)	55	44	09:55	11:10	75	175	Можливі звуження/ремонти ; контроль дистанцій і траєкторій
Технічна зупинка 2	Контроль кріплень/огляд вузлів	-	-	11:10	11:25	15	175	Огляд кріплень, стану трала, короткий відпочинок водія
Рух	Волочиськ → Підволочиськ	10	40	11:25	11:40	15	185	Населені пункти та перехрестя, зниження швидкості

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рух	Підволочиськ → передмістя Тернополя (М-30)	48	44	11:40	12:45	65	233	Підхід до міста, щільніший трафік і обмеження маневру
Передв'їзна пауза	Узгодження «останньої милі»	-	-	12:45	13:05	20	233	Координація супроводу, контроль висотних/ширинних перетинів
Фінішний відрізок	В'їзд у Тернопіль → пункт розвантаження	10	20	13:05	13:35	30	243	Мінімальна швидкість, маневрування, можливе часткове перекриття смуги
Післярейсові операції	Пункт призначення	-	-	13:35	14:05	30	243	Фіксація прибуття, підготовка до розвантаження, контроль стану вантажу

У такому вигляді “чистий” час руху виходить близько 5 год 55 хв, а загальна тривалість рейсу з технологічними/організаційними паузами - близько 8 год 05 хв. Якщо у дозволі буде обмеження руху за часом (наприклад, тільки в нічні/ранкові години), цей графік просто зсувається по часу без зміни структури.

2.4 Визначення вартості перевезень екскаватора за обраним маршрутом

Нижче подаю повний економічний розрахунок усіх витрат на перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 (69,9 т) за маршрутом Вінниця → Тернопіль з прийнятою довжиною рейсу 243 км (разом із під'їздами). Я порахував два

підсумки: лише завантажений прогін “туди” і “туди + порожнє повернення” (бо в реальних калькуляціях перевізник майже завжди враховує порожній пробіг).

Вихідні “поточні” параметри: середня ціна дизпалива 58,30 грн/л (січень 2026), середня зарплата далекобійника 60 000 грн/міс, тариф авто супроводу поза містом 8 грн/км. Вимога руху за дозволом для великогабаритних/великовагових перевезень врахована окремою статтею витрат. Для оренди техніки використано відкриті ставки “за зміну”: тягач Mercedes Actros - 5800 грн/зміна і низькорамний трал 60 т - 6800 грн/зміна; оскільки наш вантаж 69,9 т, до вартості трала застосовано коефіцієнт 1,15 (як наближення до трала класу 65–70 т).

Також прийняті технічні допущення для пального: витрата в завантаженому русі 55 л/100 км, порожнім 35 л/100 км (типовий діапазон для важкого трала; за потреби можу перерахувати під твої фактичні дані тягача).

Таблиця 2.2 – Повна структура витрат (грн)

Стаття витрат	Як рахувалось	Поїздка в один бік (243 км, завантажено)	Поїздка завантаженим в прямому напрямі + назад порожнім” (486 км сумарно)
1	2	3	4
Паливо	$243 \times 55 / 100 \times 58,30$	7 792	-
Паливо (порожнє повернення)	$243 \times 35 / 100 \times 58,30$	-	4 958
Разом паливо		7 792	12 750
Оренда тягача	1 зміна: 5 800 грн	5 800	11 600*
Оренда трала	1 зміна: $6 800 \times 1,15 = 7 820$	7 820	15 640*
Разом оренда (тягач+трал)		13 620	27 240*

1	2	3	4
Оплата праці водія (із нарахуваннями)	60 000/ (22×8) ×1,22; 8 год + добові	3 727	5 807**
Супровід (2 авто) тільки “туди”	2×243×8	3 888	3 888
Дозвільно-організаційні витрати	пакет (дозвіл/узгодження/маршрут)	15 000	15 000
Страхування/відповідальність	розрахункова закладка	3 500	3 500
Такелаж/стропальні роботи	2 стропальники: 4 год (півзміни) на завантаженні + на розвантаженні (2×1000×2)	4 000	4 000
Витратні матеріали для кріплення	закладка	500	500
Диспетчеризація/зв’язок/накладні	закладка	1 500	1 500
ПОВНА СОБІВАРТІСТЬ		53 527	74 185

Для проїзду транспортом в прямому і зворотному напрямі я прийняв 2 зміни оренди, бо разом це орієнтовно ~13 год роботи автопоїзда (8 год завантажено + ~5 год порожнім), що часто виходить за межі 1 зміни. Якщо у вашого орендодавця допускається “довга зміна” без доплат, цей рядок зменшиться.

Оплата праці в такому режимі взята як 13 год роботи водія в межах однієї доби. Якщо у вас прийнято оплачувати понаднормові інакше - також скоригую.

Собівартість лише завантаженого рейсу в прямому напрямі становить 53 527 грн, що відповідає ≈ 220 грн/км (53 527 / 243).

Якщо рахувати повну операцію з порожнім поверненням, то витрати 74 185 грн. Тут є два правильні способи подати тариф залежно від того, як ви виставляєте рахунок замовнику:

якщо замовник платить лише за завантажені кілометри (243 км), то беззбитковий тариф буде ≈ 305 грн/км (74 185 / 243); якщо ж у договорі

тарифується весь пробіг (486 км), то беззбитковий тариф буде ≈ 153 грн/км (74 185 / 486).

Для економічної доцільності перевізнику зазвичай потрібна прибутковість хоча б 15–25%. За цією логікою рекомендована договірна ціна буде такою:

для рейсу лише в прямому напрямі це приблизно 61,6–66,9 тис. грн (15–25% до 53,5 тис.), тобто ≈ 253 –275 грн/км;

для операції в прямому і зворотному напрямі це приблизно 85,3–92,7 тис. грн (15–25% до 74,2 тис.), що в перерахунку на “оплату тільки завантажених км” дає ≈ 351 –382 грн/км.

2.5 Дозвільні документи та погодження для перевезення важкої техніки у міжміському сполученні

Перевезення великовагових і/або великогабаритних транспортних засобів автомобільними дорогами України регламентується Правилами проїзду, затвердженими постановою КМУ №30 від 18.01.2001. Саме цей документ встановлює, що рух таких транспортних засобів здійснюється на підставі спеціального дозволу (або в передбачених випадках — документа про внесення плати за проїзд), а також визначає необхідність погоджень маршруту та обмежувальних умов руху. (

Паралельно діють норми Правил дорожнього руху України (зокрема пункт 22.5), які задають нормативні габаритно-вагові параметри, перевищення яких автоматично переводить перевезення у категорію «спеціального» з потребою окремих дозвільних процедур.

Окремим елементом правового механізму є плата за проїзд великовагових та/або великогабаритних транспортних засобів відповідно до постанови КМУ №879 від 27.06.2007, яка визначає економічний інструмент компенсації впливу на дорожню інфраструктуру та пов’язана з процедурою погодження маршруту.

Класифікація розглядуваного перевезення як великогабаритного/великовагового

Об'єкт перевезення визначено як гусеничний екскаватор Komatsu PC650LC-11 з масою у транспортному стані 65,9 т та додатковим навісним обладнанням 4,0 т, сумарно 69,9 т. Геометричні параметри машини для транспортного положення (у типовій комплектації) становлять орієнтовно: загальна довжина 13 005 мм, загальна ширина 4 265 мм, загальна висота до верхньої точки стріли (залежно від конфігурації) близько 4 300 мм. Такі величини наведені у технічній документації/брошурі Komatsu для PC650LC-11.

Нормативна «правова межа» для автомобільного транспорту в Україні за габаритами та масою задається ПДР (п. 22.5), а також спеціальними правилами руху великовагових/великогабаритних транспортних засобів. Уже лише ширина екскаватора 4,265 м суттєво перевищує нормативні габарити для руху без спеціальних процедур, отже перевезення однозначно належить до великогабаритних.

Вибір низькорамного трала з від'єднуваним гусакон Nooteboom EURO-PX є технічно логічним, оскільки конструкція має «ванну» (excavator trough) для розміщення стріли/рукояті екскаватора і зменшення транспортної висоти, а також силові елементи кріплення (lashing rings) під стандартизоване стягування. У матеріалах виробника/каталожних описах EURO-PX прямо підкреслюється наявність глибокої та широкої «ванни» до ~950 мм і застосування сертифікованих точок кріплення (зокрема 20 т на кутах, 10 т між осями), що важливо для формування пакета документів з кріплення і для проходження контролю.

Загальна логіка дозвільного пакета для маршруту Вінниця → Тернопіль

З погляду адміністративної процедури ключовими є два взаємопов'язані документи: дозвіл на участь у дорожньому русі транспортних засобів із перевищенням нормативних параметрів та погодження маршруту (як підтвердження можливості безпечного проїзду конкретними дорогами/вулицями/переїздами).

Гід онлайн «Дія» визначає, що рух великовагових та великогабаритних транспортних засобів здійснюється на підставі дозволу, який видається

уповноваженим підрозділом Національної поліції, або документа про внесення плати за проїзд таких транспортних засобів. У цьому ж описі підкреслено, що підставою є звернення перевізника або уповноваженої особи.

У практичній площині для маршруту Вінниця → Тернопіль це означає, що пакет оформлюється «під рейс» (або на визначений період/серію рейсів, якщо це допускається умовами видачі), але базово має містити опис маршруту, параметри автопоїзда та вантажу, а також документально підтвержене погодження проходження маршрутом, якщо воно потрібне за умовами правил.

Погодження маршруту як обов'язкова передумова дозволу

Погодження маршруту визначається як документ, що видається дорожніми, комунальними, залізничними та іншими підприємствами/організаціями і підтверджує можливість безпечного проїзду, а також прямо зазначається, що погодження маршруту є підставою для видачі дозволу на рух.

Процедурні засади оформлення погодження маршруту проїзду великовагових/великогабаритних транспортних засобів по автомобільних дорогах України визначені окремим нормативним актом — наказом (Порядком) щодо оформлення погодження, опублікованим у базі законодавства України. Важливо зафіксувати сам факт наявності спеціального порядку, що регулює «маршрутну» частину дозвільної процедури.

Оскільки маршрут Вінниця → Тернопіль проходить територією щонайменше двох областей і включає як автомобільні дороги загального користування, так і вулично-дорожню мережу міст (виїзд із Вінниці та в'їзд до Тернополя), у погодженні маршруту зазвичай задіюються власники/балансоутримувачі відповідних ділянок. У джерелах, що описують застосування Правил проїзду, підкреслюється, що якщо маршрут проходить вулицями населених пунктів, видача дозволу погоджується з власниками доріг/вулиць і залізничних переїздів або уповноваженими ними організаціями.

Отже, для нашого випадку коректно трактувати «погодження маршруту» як комплексне узгодження проїзду по ділянках, де потенційно є обмеження за

шириною, висотою, радіусами повороту, мостами/путепроводами та залізничними переїздами.

Заява та комплект документів для отримання дозволу Нацполіції

Практичний перелік даних, що має бути в заяві/пакеті, доцільно наводити, спираючись на офіційні описи адміністративної послуги. На порталі my.gov.ua (інструкція «як замовити») зазначено, що для отримання послуги подається заява із зазначенням запланованих строків проїзду, маршруту руху, геометричних параметрів (висота, ширина, довжина) та вагових параметрів (загальна маса, осьові навантаження), інформації про вантаж, а також даних перевізника і відповідальної особи; окремо фігурує визначений власником вулично-дорожньої мережі маршрут руху.

В академічному викладі це доцільно інтерпретувати так: дозвільний орган оцінює не «машину окремо», а саме параметри автопоїзда в русі (габаритні, вагові й осьові), прив'язані до конкретного маршруту та строків, що дозволяє накладати умови руху (часові вікна, об'їзди, швидкісні обмеження, необхідність супроводу, заборони руху в окремі періоди тощо) згідно з Правилами проїзду.

Важливий практичний аспект: подання документів може здійснюватися не лише «паперово», а й через спеціалізований портал МВС для оформлення такого дозволу, що підвищує технологічність процесу для перевізника та зменшує ризик процедурних помилок у реквізитах.

Окрім «дозволу як такого», для реального виконання перевезення критичним є комплект документів у водія/перевізника під час рейдових перевірок. Державна служба України з безпеки на транспорті (Укртрансбезпека) публікує перелік питань і документів, що перевіряються під час контролю на дорозі, включно з посвідченням водія відповідної категорії, реєстраційними документами на транспортний засіб та маршрутними документами (у т.ч. паспорт маршруту/дозвільні документи залежно від режиму перевезення).

Доречно наголосити, що перевезення екскаватора PC650LC-11 є не лише «спеціальним» через габарити/масу, а й «контрольованим» з позиції державного нагляду, отже формальна наявність дозволу без належних супровідних

документів на автопоїзд, вантаж і водія підвищує ризик затримки, штрафів та зриву графіка.

Специфічні погодження, що можуть бути потрібні саме через габарити екскаватора на EURO-PX

Ширина екскаватора близько 4,265 м, підтверджена технічною брошурою Komatsu, створює потребу в коректному відображенні «фактичного габариту по ширині» автопоїзда в заяві, а також у маршруті, який мінімізує вузькі ділянки, місця інтенсивного трафіку, островці безпеки, вузькі мости та тимчасові організації руху.

Висота перевезення залежить від того, наскільки ефективно використано «ванну» EURO-PX для укладання стріли/рукояті, однак навіть за оптимізації висоти в ряді сценаріїв можуть виникати ризики взаємодії з повітряними комунікаціями, контактними мережами, знаками та елементами освітлення у містах. Саме тому в процедурі погодження маршруту акцент ставиться не лише на «дорогах», а й на інших інфраструктурних утримувачах у межах населених пунктів та на залізничних переїздах.

Додатковим аргументом є те, що EURO-PX конструктивно передбачає стандартизовані точки кріплення (10/20 т) та «ванну» до 950 мм, що дає змогу документально описати схему кріплення і компоновку як частину технічного обґрунтування безпеки руху, а отже — як елемент належної підготовки пакета документів та проходження перевірок.

Таким чином, перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 (69,9 т із навісним обладнанням) на низькорамному тралі Nooteboom EURO-PX із від'єднуваним гусаком за маршрутом Вінниця → Тернопіль належить до перевезень із перевищенням нормативних габаритно-вагових параметрів і потребує оформлення дозвільних документів у порядку, визначеному Правилами проїзду великовагових та великогабаритних транспортних засобів та пов'язаними нормативними актами. Базовим адміністративним документом виступає дозвіл на участь у дорожньому русі транспортних засобів із перевищенням нормативних параметрів, який видається уповноваженим

підрозділом Національної поліції (або застосовується документ про внесення плати за проїзд у передбачених випадках), причому центральним змістовним ядром заяви є опис маршруту, строків руху, геометричних і вагових параметрів автопоїзда та вантажу.

Важливою передумовою оформлення дозволу є погодження маршруту як документальне підтвердження можливості безпечного проїзду запланованим шляхом, включно з ділянками в межах населених пунктів, дорогами загального користування та потенційними інфраструктурними «вузлами» (мости, переїзди, обмежені габарити), що прямо відображено у визначеннях і процедурних документах щодо погодження маршруту.

Фактичне виконання перевезення повинно супроводжуватися наявністю у водія/перевізника пакета документів, що підтверджує право керування, реєстрацію транспортних засобів та законність спеціального режиму руху (дозвіл/маршрутні документи), оскільки саме ці документи перевіряються під час державного контролю на дорозі.

Якщо ти хочеш, я в наступному повідомленні «піджену» цей розділ ще ближче до реального пакета під твій маршрут, але вже без списків: впишу конкретні точки маршруту (виїзд з Вінниці, ділянки через Хмельницьку область, в'їзд у Тернопіль) і текстом поясню, де саме зазвичай потрібні додаткові погодження (переїзди, мости, міські вулиці), спираючись на ті ж нормативні джерела.

3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Безпека життєдіяльності при завантаженні екскаватора на трал

Завантаження гусеничного екскаватора Komatsu PC650LC-11 на низькорамний трал є найбільш відповідальним і потенційно небезпечним етапом усього транспортного процесу, оскільки саме в цей момент відбувається переміщення масивного об'єкта з обмеженою маневровістю по похилій площині апарелей або по опущеній платформі, а персонал змушений працювати у зоні підвищеного ризику притиснення, наїзду, падіння з висоти та раптових некерованих зміщень вантажу. З урахуванням вихідних даних проекту, де маса екскаватора становить 65,9 т, а навісне обладнання додатково перевозиться окремими місцями, небезпека посилюється високими контактними навантаженнями на опорну поверхню, потребою у точному позиціюванні та необхідністю забезпечити стійкість платформи і безпечні дії персоналу. З позицій безпеки життєдіяльності завантаження розглядається як комплекс організаційних, технічних і поведінкових заходів, спрямованих на запобігання травматизму, аваріям і пошкодженню майна.

Підготовка місця завантаження є базовою умовою безпечної операції. Майданчик повинен мати достатню несучу здатність, бути рівним у поперечному і поздовжньому напрямках та очищеним від сипких матеріалів, льоду, бруду й мастильних плям, які можуть зменшити коефіцієнт зчеплення гусениць з поверхнею апарелей. Для важкого екскаватора критичною є стабільність опор під апарелями або під низом платформи в режимі знімного гусака, тому зона контакту має бути ущільненою і, за потреби, підсиленою підкладними плитами чи іншим настилом. Додатково визначається безпечна схема під'їзду автопоїзда і екскаватора так, щоб мінімізувати маневрування в обмеженому просторі та виключити рух техніки поблизу людей. До початку робіт має бути виконане огороження небезпечної зони, встановлені попереджувальні знаки, а доступ сторонніх осіб повністю обмежений.

Перед стартом завантаження обов'язковим є технічний огляд і перевірка справності як трала, так і екскаватора. На тралі перевіряється стан апарелей, їх фіксація, відсутність деформацій і тріщин, справність замків, елементів кріплення апарелей, цілісність настилу і наявність протиковзних накладок. Оглядається зчіпний пристрій, фіксатори, пневмо- та гідролінії, справність гальмівної системи і стоянкового гальма тягача. На екскаваторі перевіряється працездатність приводу ходу, гальмування, керування та працездатність систем, що забезпечують безпечний рух на малій швидкості, особливо в режимі плавного підйому по апарелях. Окрема увага приділяється транспортному положенню робочого обладнання, оскільки незакріплена стріла чи навісне обладнання створюють додатковий ризик неконтрольованого переміщення, зміни центра мас і удару по конструкціях трала або оточуючих предметах.

Важливою складовою безпеки є правильна організація управління процесом та комунікацій. Завантаження має виконуватися під керівництвом відповідальної особи, яка координує дії водія автопоїзда, машиніста екскаватора та стропальників/сигнальників. Для зменшення ризику помилок вводиться принцип “єдиного командного каналу”, коли сигнали машиністу подає лише один призначений сигнальник, а всі інші працівники знаходяться поза небезпечною зоною. Узгоджуються чіткі команди та сигнали, визначається місце, з якого сигнальник має максимальну видимість апарелей, траків і крайок платформи, а також встановлюється заборона перебування людей у зоні можливого наїзду або між екскаватором і елементами трала. Особливо небезпечною є зона між екскаватором, апарелями та гусаком, де при ривку або пробуксовуванні можливе різке зміщення техніки.

Техніка виконання заїзду на трал повинна забезпечувати мінімальні динамічні навантаження та виключати різкі маневри. Екскаватор заходить на апарелі на мінімальній швидкості, без різкого гальмування чи поворотів, з максимально прямолінійною траєкторією та постійним контролем положення гусениць відносно крайок апарелей і настилу. На етапі підйому найбільш небезпечними є пробуксовування та “підскок” траків на стику апарелей із

платформою, що може спричинити боковий зсув або перекіс. Для запобігання цьому забезпечується достатнє зчеплення поверхонь, очищення гусениць від бруду та мастил, а в складних умовах застосовуються протиковзні матеріали або додаткові накладки. За потреби допускається використання допоміжної лебідки або страховочного троса, однак така операція повинна виконуватися тільки при правильному підборі тягових засобів і забороні перебування людей у зоні можливого обриву троса.

Після заїзду на платформу критично важливим є безпечне позиціонування екскаватора, оскільки від положення на настилі залежать осьові навантаження автопоїзда і стійкість у русі. Позиціонування виконують малими переміщеннями, з постійним контролем рівності встановлення, заборонаю на різкі повороти поворотної платформи і недопущенням роботи стрілою над людьми. У транспортному положенні робоче обладнання повинно бути опущене або встановлене на передбачені упори, щоб зменшити ризик розгойдування та зміщення центра мас. Після встановлення застосовуються механічні упори під гусениці або інші засоби блокування, які запобігають мимовільному перекочуванню чи зсуву до моменту остаточного кріплення ланцюгами/стяжними системами.

Окрему увагу в межах даного проєкту слід приділити завантаженню навісного обладнання масою 4,0 т, яке перевозиться окремими місцями на тій самій платформі. Небезпека полягає в тому, що такі елементи мають компактні габарити і високу питому масу, тому їх падіння або перекочування може призвести до тяжких наслідків. Навісне обладнання повинно розміщуватися у заздалегідь визначеній зоні платформи з урахуванням балансу по осях, встановлюватися на підкладки та упори, що виключають кочення, і одразу фіксуватися окремими засобами кріплення. Категорично не допускається тимчасове “відкладання” навісного обладнання без фіксації навіть на короткий час, особливо якщо екскаватор ще не закріплений, оскільки будь-який ривок або перекіс платформи може спричинити неконтрольований рух цих елементів.

Під час кріплення екскаватора та навісного обладнання персонал перебуває у зоні підвищеного ризику травмування, тому пріоритетними є організаційні заборони та використання засобів індивідуального захисту. Працівники повинні використовувати каски, захисне взуття з металевим носком, рукавиці, сигнальні жилети, а за потреби - захист очей. Забороняється знаходитися під підвішеними елементами або в зоні можливого ослаблення натягу ланцюга чи стяжного ременя. Кріплення виконується в послідовності, що забезпечує поступове підвищення стійкості: спочатку встановлюються упори, далі накладаються й натягуються основні ланцюги, після чого здійснюється контроль натягу та симетрії кріплення. По завершенні виконується контрольний обхід і фіксація результатів, а також визначається порядок перевірки кріплення після початку руху.

Завершальним елементом безпеки життєдіяльності при завантаженні є готовність до нештатних ситуацій. На місці завантаження повинен бути визначений порядок аварійної зупинки процесу, забезпечена можливість швидкого звільнення небезпечної зони, наявні первинні засоби пожежогасіння та аптечка першої допомоги, а працівники повинні бути проінструктовані щодо дій у разі пробуксовування, перекосу апарелей, часткового сходу гусениці або втрати керованості. Для важкого екскаватора доцільно передбачити резервні технічні засоби, зокрема підкладні плити для підсилення ґрунту, протиковзні накладки та додаткові упори, а також погоджений план взаємодії з відповідальними особами на майданчику.

Отже, безпека життєдіяльності при завантаженні екскаватора Komatsu PC650LC-11 на низькорамний трал забезпечується поєднанням підготовки майданчика, технічної справності обладнання, чіткої організації робіт і комунікацій, правильної технології заїзду і позиціонування, негайної фіксації навісного обладнання, дисципліни під час кріплення та готовності до аварійних ситуацій. Дотримання цих принципів знижує ймовірність травматизму й аварій, забезпечує збереження техніки та створює передумови для безпечного виконання наступних етапів транспортного процесу.

3.2 Охорона праці під час завантаження та перевезення екскаватора на низькорамному тралі

Операції завантаження та подальшого перевезення гусеничного екскаватора Komatsu PC650LC-11 (прийнята маса в транспортному стані 65,9 т) із навісним обладнанням 4,0 т (разом 69,9 т) належать до робіт підвищеної небезпеки через поєднання великої маси, обмеженої маневровості, роботи на похилій площині апарелей/платформи та необхідності виконання стропувально-кріпильних операцій у небезпечних зонах. Вимоги охорони праці в цьому розділі подані як система організаційних і технічних заходів, що забезпечують безпечні умови праці для персоналу та запобігають аваріям, травмуванню і пошкодженню техніки відповідно до загальних принципів Закону України «Про охорону праці») та вимог правил безпечного виконання вантажно-розвантажувальних робіт.

Перед завантаженням формується робоча зона з розділенням технологічних потоків руху автопоїзда, екскаватора, допоміжної техніки і пішоходів; на майданчику має бути забезпечена можливість руху без перетинання траєкторій і достатнє освітлення, що прямо вимагається правилами охорони праці для вантажно-розвантажувальних робіт. Встановлюється “мертва зона” навколо апарелей і платформи, у якій під час заїзду не допускається перебування людей. Керування процесом здійснюється за принципом одного відповідального керівника робіт і одного сигнальника, який подає команди машиністу; будь-які паралельні команди або “підказки” з боку інших працівників є неприпустимими, бо збільшують імовірність помилки на критичній фазі підйому.

Засоби індивідуального захисту під час завантаження і кріплення мають відповідати характеру ризиків: каска, сигнальний одяг, захисне взуття з підноском, рукавиці, за потреби - захист очей. Працівники, які виконують кріплення, не повинні опинятися в площині можливого ривка натяжних пристроїв або в зоні можливого падіння важких елементів навісного обладнання.

Безпечність заїзду екскаватора на трал визначається трьома факторами: несучою здатністю майданчика, геометрією/станом апарелей та зчепленням гусениць із поверхнею. Для екскаватора масою 65,9 т критично, щоб поверхня під опорами апарелей (або під опущеною платформою при використанні знімного гусака) не просідала й не змінювала кут заїзду під навантаженням. Перед початком робіт апарелі оглядаються на предмет деформацій, тріщин, справності замків, а настил очищається від мастил, льоду і бруду. Траки гусениць мають бути очищені від налиплого ґрунту та мастильних плям, оскільки забруднення різко зменшує коефіцієнт тертя й підвищує ризик пробуксовування та бокового зсуву при підйомі.

Заїзд виконується на мінімальній швидкості, без різких змін тяги та без поворотів у зоні апарелей. Найнебезпечніші моменти - початок підйому і перехід зі стику “апарель–платформа”; саме тут виникають ривки й короткочасне перерозвантаження однієї гусениці, що може спричинити перекіс. Тому сигнальник контролює положення обох гусениць відносно крайок, а персонал перебуває поза зоною можливого сходу/зсуву.

Схемні рішення безпечного розміщення та кріплення: принципи і контрольні точки

У прийнятій постановці задачі навісне обладнання 4,0 т перевозиться окремими місцями на тій самій платформі, що позитивно впливає на безпеку: зменшується ризик ударних навантажень на стрілу/гідроциліндри та спрощується “низьке” транспортне положення робочого обладнання. Водночас це створює додаткову небезпеку під час завантаження: компактні важкі елементи здатні перекочуватися або впасти, тому їх потрібно одразу встановлювати на підкладки/упори й фіксувати незалежним кріпленням.

Нижче наведено типові схеми (умовні, для пояснення логіки охорони праці та контролю), які застосовуються для важких гусеничних екскаваторів.

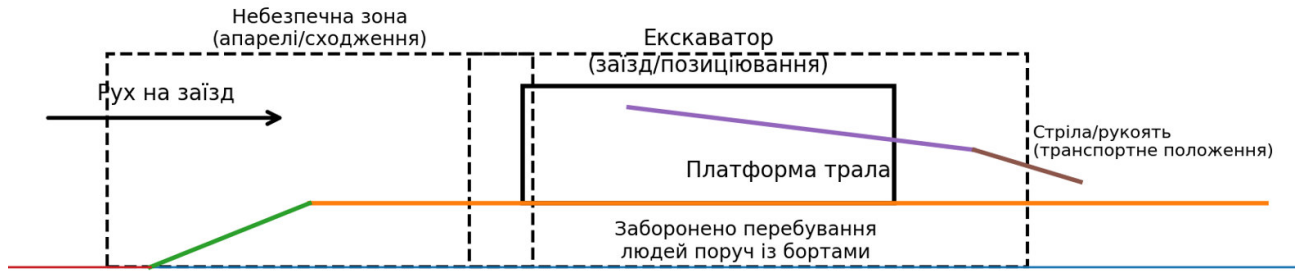
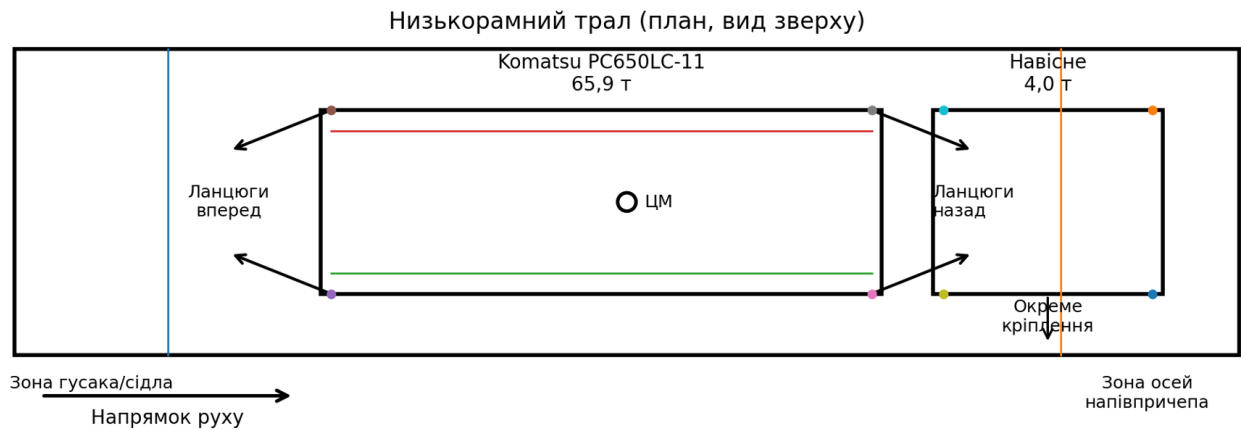


Рисунок 3.1. Небезпечні зони під час заїзду (вид збоку)

Критичні точки контролю для охорони праці в цій схемі - фіксація апаратів, чистота контактних поверхонь, відсутність людей збоку й позаду траєкторії, а також заборона перебування персоналу між екскаватором і конструкціями траля.



Геометрія ланцюгового кріплення (для розрахунку складових LC)

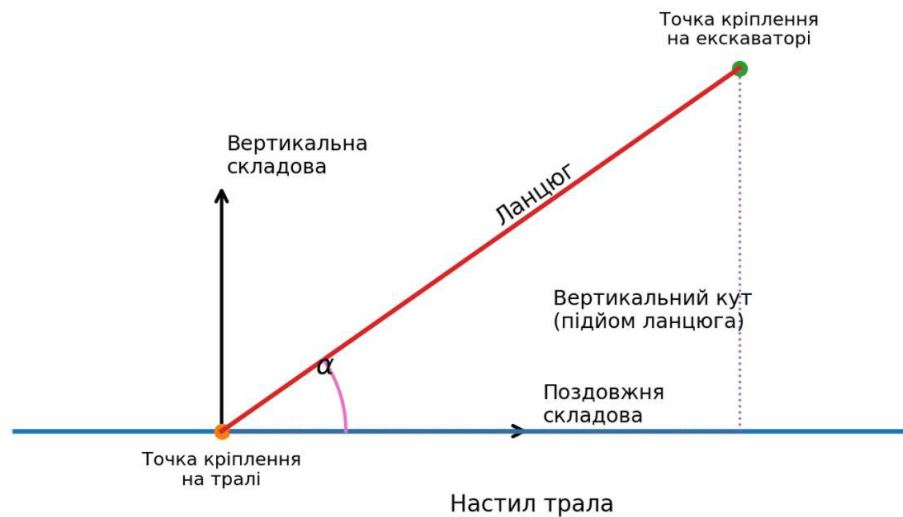


Рисунок 3.2. Розміщення і кріплення (вид зверху, умовно)

У практичній охороні праці важливий момент цієї схеми - виконання кріплення в послідовності, яка з кожним кроком збільшує стійкість вантажу: після точного позиціонування екскаватора одразу встановлюються механічні упори/башмаки під гусениці, після чого натягуються основні ланцюги; навісне обладнання фіксується окремо і не “чекає” завершення кріплення екскаватора.

Розрахунок кріплення виконується не лише для забезпечення збереження вантажу, а й як прямий захід охорони праці: правильно підібрана кількість і схема кріплень знижує ризик зсуву вантажу, який може призвести до ДТП, перекидання, травмування під час зупинок і контрольних перевірок. Для розрахункової оцінки використовуються підходи стандарту EN 12195-1, який в Україні прийнято як ДСТУ EN 12195-1:2018. Для дорожнього транспорту в практиці застосовуються розрахункові прискорення порядку 0,8g у поздовжньому напрямку (гальмування) та близько 0,5g у поперечному/зворотному напрямках, що узгоджується з європейськими настановами з кріплення вантажів.

У межах кваліфікаційної роботи приймаємо консервативні припущення для контакту “гусениці–настил”: коефіцієнт тертя $\mu = 0,30$ (вологий/забруднений настил без спеціальних протиковзних матів). Розрахунок ведемо в daN (практично вага в daN приблизно дорівнює масі в кг).

Для екскаватора: маса 65,9 т \rightarrow вага ($W = 65900$) daN.

Поздовжня інерційна сила при гальмуванні:

$$F_x = 0,8 \cdot W = 0,8 \cdot 65900 = 52720 \text{ daN}$$

Сила тертя, що “працює” проти зсуву:

$$F_\mu = \mu \cdot W = 0,30 \cdot 65900 = 19770 \text{ daN}$$

Отже, мінімальна сила, яку має забезпечити система кріплення по поздовжній осі (вперед), без урахування блокування:

$$F_{\text{кріпл},x} = F_x - F_\mu = 52720 - 19770 = 32950 \text{ daN}$$

Поперечний напрямок (маневр/вітер, 0,5g):

$$F_y = 0,5 \cdot W = 32950 \text{ daN}, \quad F_{\text{кріпл},y} = F_y - F_\mu = 32950 - 19770 = 13180 \text{ daN}$$

Для оцінки кількості ланцюгів приймемо типовий ланцюг із маркованою розрахунковою здатністю кріплення ($LC = 10000$) daN та реалістичну геометрію: вертикальний кут до настилу близько (30°) і горизонтальний кут до напрямку руху близько (20°). Тоді ефективна складова одного ланцюга в поздовжньому напрямку:

$$F_{1x} = LC \cdot \cos 30^\circ \cdot \cos 20^\circ \approx 10000 \cdot 0,866 \cdot 0,94 \approx 8140 \text{ daN}$$

Мінімальна кількість ланцюгів “на гальмування”:

$$n_x = \frac{F_{\text{кріпл},x}}{F_{1x}} = \frac{32950}{8140} \approx 4,05$$

Тобто за консервативних умов потрібно не менше 5 таких ланцюгів, спрямованих на сприйняття поздовжньої сили (на практиці їх ставлять симетрично з лівого/правого боку та з резервом, щоб перекрити вплив кутів і нерівномірності натягу).

Для поперечного напрямку:

$$n_y = \frac{13180}{8140} \approx 1,62$$

Тобто не менше 2 ланцюгів, спрямованих на сприйняття поперечної сили (знову ж таки симетрично та з резервом). У реальних схемах для важкого екскаватора безпечним вважається поєднання прямих ланцюгових кріплень із механічним блокуванням гусениць (дерев'яні бруси/упори, клини, упори під траки), яке істотно підвищує стійкість і зменшує залежність від тертя; це також підвищує безпеку працівників під час контрольних зупинок, бо зменшує ризик “повзучого” зсуву при послабленні натягу.

Для навісного обладнання: маса 4,0 т $W = 4000$ daN. При тих самих допущеннях $F_x=0,8W=3200$ daN, $F_\mu=0,3W=1200$ daN, $F_{\text{кріпл},x}=2000$ daN. Це означає, що навісне обладнання потрібно фіксувати окремо як “концентрований вантаж”: мінімально достатнім є кріплення, яке забезпечує запас понад 2000 daN у поздовжньому напрямку, але з позицій охорони праці доцільно закладати подвійну надлишковість (наприклад, дві незалежні стяжні гілки + упори від кочення), оскільки падіння/перекочування елемента масою 4 т є критично травмонебезпечним.

Важливо підкреслити, що наведені числові значення є розрахунковою ілюстрацією проєкту: у реальному перевезенні потрібно застосовувати фактичні паспортні значення (LC/WLL) конкретних ланцюгів/стяжок і враховувати конкретні кути, стан настилу, наявність протиковзних матів, блокування та вимоги дозволу/супроводу.

Після виїзду з майданчика ключовим фактором охорони праці стає контроль стану кріплення без створення додаткових ризиків для персоналу. Перевірки натягу повинні проводитися лише на безпечних стоянках, із виставленням попереджувальних засобів та заборонаю перебування працівників між тралом і вантажем у потенційно “затискуючих” зонах. Практика безпечної експлуатації передбачає контроль одразу після короткого відрізка руху (коли ланцюги/ремені “сідають” і може з’явитися слабина), а також після проходження ділянок з інтенсивними гальмуваннями або поганим покриттям. Під час підтягування натягу забороняється стояти в площині можливого зриву/ривка натяжника; інструмент використовується справний, а натяг здійснюється плавно.

Погодні умови є суттєвим фактором охорони праці: дощ, ожеледиця, сніг знижують тертя в системі “гусениці–настил”, збільшують гальмівний шлях і можуть вимагати зниження швидкості та збільшення дистанції. У разі погіршення погоди пріоритет має безпека: рух на ділянках із ризиком втрати зчеплення або зносом у бік повинен бути припинений до стабілізації умов або до зміни маршруту.

Охорона праці під час завантаження та перевезення екскаватора Komatsu PC650LC-11 масою 65,9 т із навісним обладнанням 4,0 т базується на: підготовці та огороженні робочої зони; технічній справності трала й апарелей; регламентованій взаємодії персоналу; безпечній технології заїзду; обов’язковому механічному блокуванню та достатньому розрахунково обґрунтованому кріпленню; контрольних оглядах кріплення на маршруті на безпечних стоянках. Розрахунок за підходами ДСТУ EN 12195-1:2018 демонструє, що для важкого екскаватора в консервативних умовах тертя основну частину поздовжніх і поперечних інерційних сил повинна сприймати система

ланцюгових кріплень та блокувань, що прямо знижує аварійність і виробничі ризики на всіх етапах перевезення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягає в удосконаленні транспортного процесу перевезення гусеничного екскаватора масою 40–70 т автомобільним транспортом на прикладі маршруту Вінниця–Тернопіль. Отримані результати підтверджують, що ефективна організація перевезення великовагових і великогабаритних вантажів потребує системного підходу, який поєднує технічні розрахунки, нормативну відповідність і логістичне планування.

У ході дослідження встановлено, що екскаватор як об'єкт перевезення характеризується складною транспортною специфікою, зокрема нерівномірним розподілом маси, змінним положенням центра мас і значними габаритами. Це обумовлює необхідність ретельного вибору рухомого складу, а також розроблення обґрунтованої схеми розміщення і кріплення вантажу, що забезпечує його стійкість у процесі руху.

Аналіз нормативних вимог показав, що перевезення екскаватора масою 69,9 т здійснюється в режимі великовагового та великогабаритного перевезення, що потребує оформлення спеціальних дозволів, дотримання обмежень щодо осьових навантажень, габаритів і режиму руху, а також організації супроводу. Врахування цих вимог є обов'язковою умовою безпечного виконання перевезення.

У роботі обґрунтовано вибір складу автопоїзда, який включає сидельний тягач та важкий низькорамний трал із багатовісною конструкцією. Доведено, що застосування 6-осьової задньої теліжки дозволяє забезпечити допустимий рівень осьових навантажень і знизити негативний вплив на дорожню інфраструктуру. Вибрана конфігурація забезпечує необхідну вантажопідйомність, стійкість і керованість автопоїзда.

Розроблено раціональну схему розміщення екскаватора та навісного обладнання на платформі трала, яка враховує положення центра мас і забезпечує рівномірний розподіл навантаження по осях. Виконані розрахунки підтвердили

можливість досягнення допустимих параметрів навантаження за умови правильного позиціювання вантажу.

Обґрунтовано схему кріплення екскаватора, яка забезпечує його надійну фіксацію від зсуву під дією інерційних сил при гальмуванні та маневруванні. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити безпеку перевезення та знизити ризик пошкодження вантажу.

Розроблено маршрут перевезення між м. Вінниця та м. Тернопіль з урахуванням дорожніх умов, інфраструктурних обмежень і вимог до безпеки руху. Запропоновано організаційні заходи щодо отримання дозвільної документації, планування руху та диспетчерського контролю, що забезпечують надійність виконання перевезення.

Виконано оцінку вартості перевезення, яка показала, що оптимізація вибору рухомого складу, маршруту та організації процесу дозволяє знизити експлуатаційні витрати і підвищити економічну ефективність транспортного процесу.

Розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, визначено основні ризики під час завантаження та перевезення екскаватора і запропоновано заходи щодо їх мінімізації. Реалізація цих заходів забезпечує безпечні умови праці персоналу та знижує ймовірність аварійних ситуацій.

Отже, у роботі розроблено комплексне організаційно-технологічне рішення, яке дозволяє забезпечити ефективне, безпечне та нормативно обґрунтоване перевезення гусеничного екскаватора масою 40–70 т автомобільним транспортом. Отримані результати можуть бути використані транспортними підприємствами для вдосконалення практики перевезення важкої будівельної техніки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Докуніхін В. З., Кущевська Н. Ф., Малишев В. В. Правила перевезення вантажів автомобільним транспортом. – Київ: Університет «Україна», 2021. – 208 с.
2. Перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом: посібник для водіїв (базовий курс). – Київ: Лабораторія ADR, 2013.
3. Цьонь О. П., Ляшук О. Л., Вовк Ю. Я. Особливості організації та технічного забезпечення перевезень окремих класів небезпечних вантажів автомобільним транспортом // Технічний сервіс АПК, лісового та транспортного комплексів. – 2018.
4. Правила перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні. – Київ: Міністерство транспорту України.
5. ДСТУ EN 12195-1:2018. Пристрої кріплення вантажу на колісних транспортних засобах. Безпека. Частина 1. Розрахунок сил кріплення. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
6. ДСТУ EN 12195-2:2018. Пристрої кріплення вантажу. Частина 2. Стяжні ремені з хімічних волокон. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
7. ДСТУ EN 12195-3:2018. Пристрої кріплення вантажу. Частина 3. Кріпильні ланцюги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
8. ДСТУ EN 12195-4:2018. Пристрої кріплення вантажу. Частина 4. Сталеві канати. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
9. ДСТУ EN 12640:2018. Кріплення вантажу. Точки кріплення на транспортних засобах. Мінімальні вимоги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ».
10. ДСТУ EN 12642:2018. Конструкція кузовів транспортних засобів. Мінімальні вимоги до міцності. – Київ: ДП «УкрНДНЦ».
11. European Best Practice Guidelines on Cargo Securing for Road Transport. – Brussels: European Commission.
12. IRU. Guidelines on Cargo Securing for Road Transport. – International Road Transport Union.

13. EN 12195-1:2010 Load restraining on road vehicles – Safety – Part 1: Calculation of securing forces.
14. EN 12640:2000 Lashing points on commercial vehicles. – European Committee for Standardization.
15. EN 12642:2016 Code XL – Body structure of commercial vehicles.