



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**

*Старченко Тарасу Володимировичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення транспортного процесу перевезення лопаті ротора вітроенергетичної установки Vestas V66 автомобільним транспортом за маршрутом Одеса–Ворохта*

керівник проекту (роботи) *Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.*

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

затвержені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-31

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

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

*Транспортна характеристика вантажу; маршрут перевезення.*

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

<b>РЕФЕРАТ</b>	6
<b>ВСТУП</b>	8
<b>1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
1.1 Аналіз вантажу та його вантажна вагово-габаритна характеристика	11
1.2 Паспорт вантажу лопать ротора вітроенергетичної установки V66	15
1.3 Дозвільні документи, необхідні для перевезення негабаритних вантажів автомобільним транспортом	18
1.3.1 Загальні вимоги до оформлення дозвільних документів	18
1.3.2 Оформлення дозвільної документації для перевезення лопаті Vestas V66 за маршрутом перевезення вантажу	22
1.4 Висновки і постановка завдань на кваліфікаційну роботу бакалавра	26
<b>2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ</b>	
2.1 Вибір типового напівпричепа для перевезення лопаті ВЕУ Vestas V66 та обґрунтування параметрів кріплення	28
2.1.1 Обґрунтування вибору типу напівпричепа	28
2.1.2 Розрахунок необхідної довжини платформи та схема розміщення лопаті	30
2.1.3 Розрахунок вертикальних реакцій в опорах (для вибору опор і перевірки навантажень)	32
2.2 Характеристика платформи для перевезення лопаті вітроустановки Vestas V66	35
2.3. Розроблення маршруту перевезення негабаритного вантажу за напрямком Одеса – Ворохта	37

2.3.1	Загальна характеристика маршруту	37
2.3.2	Аналіз найбільш складних ділянок маршруту	40
2.4	Кінематичний аналіз swept path (низькошвидкісна траєкторія/габаритний коридор) для характерних “критичних” поворотів на ділянці Яремче – Микуличин – Татарів – Ворохта (дорога Н-09)	45
2.5	Орієнтовний графік руху та тривалість перевезення по етапах	51
2.6	Кріплення лопаті вітрогенератора Vestas V66 на платформі Faumonville TeleMAX	55
<b>3</b>	<b>БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	
3.1	Безпека життєдіяльності при веревезенні лопаті турбіни вітрогенератора	68
3.2	Охорона праці при перевезенні лопаті турбіни вітрогенератора	72
	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	76
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	78

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена удосконаленню транспортного процесу перевезення негабаритного вантажу – лопаті ротора вітроенергетичної установки Vestas V66 – автомобільним транспортом за маршрутом Одеса – Ворохта. Метою є обґрунтування технічних та організаційних рішень, які забезпечують нормативно коректне, безпечне та кероване перевезення лопаті, включно з вибором транспортного засобу, розміщенням і кріпленням вантажу, розробленням маршруту та графіка руху, а також заходами з охорони праці.

У першому розділі виконано аналіз об'єкта дослідження: наведено вагово-габаритну характеристику лопаті як довгомірного композитного виробу, чутливого до локальних пошкоджень і вібрацій, що потребує спеціальних опор та захисту поверхні. Сформовано паспорт вантажу «лопоть ротора ВЕУ Vestas V66» із ключовими параметрами та умовами транспортування. Окремо розглянуто дозвільні документи для перевезення негабаритів і загальні вимоги до їх оформлення, а також підхід до формування дозвільного пакета для маршруту Одеса – Ворохта з урахуванням обмежень інфраструктури (мости, повороти, ЛЕП, вузькі проїзди). Сформульовано висновки та поставлено завдання на роботу.

Другий розділ містить інженерні та організаційні заходи з удосконалення перевезення. Обґрунтовано вибір напівпричепа телескопічного типу (класу Faumonville TeleMAX), виконано розрахунок потрібної довжини платформи та схеми розміщення лопаті, а також визначено вертикальні реакції в опорах для вибору ложементів і перевірки навантажень. Розроблено маршрут Одеса – Ворохта, проаналізовано найскладніші ділянки (міські проїзди, розв'язки, мости, гірська частина), а для ділянки Яремче – Микуличин – Татарів – Ворохта (Н-09) виконано swert path аналіз «критичних» поворотів із визначенням габаритного коридору та потреби супроводу. Складено орієнтовний графік руху та узагальнено рішення щодо кріплення лопаті на платформі.

У третьому розділі розглянуто безпеку життєдіяльності та охорону праці під час перевезення: визначено основні ризики на етапах навантаження, такелажних робіт і руху, а також наведено комплекс профілактичних заходів (інструктажі, ЗІЗ, огороження, зв'язок у колоні, контроль кріплень, порядок дій при аварійних ситуаціях). Робота формує цілісне практичне рішення для безпечного перевезення лопаті Vestas V66 за заданим маршрутом.

Ключові слова: негабаритні вантажі, лопать вітрогенератора Vestas V66, автомобільні перевезення, телескопічний напівпричіп, дозвільна документація, кріплення вантажу, опорні реакції, swept path аналіз.

## ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості, енергетики, будівництва та інфраструктури неможливий без використання великогабаритних і важковагових конструкцій, які за своїми геометричними або масовими параметрами перевищують нормативні обмеження, встановлені для звичайних транспортних засобів. У цьому контексті перевезення негабаритних вантажів набуває особливого значення як складна інженерно-логістична задача, що поєднує питання техніки, організації руху, безпеки, економічної доцільності та нормативно-правового регулювання. Негабаритні вантажі відіграють ключову роль у реалізації масштабних проєктів у галузях машинобудування, нафтогазового комплексу, металургії, енергетики, зокрема вітроенергетики, де необхідно транспортувати елементи великої довжини та складної форми.

Перевезення негабаритних вантажів істотно відрізняється від традиційних вантажних перевезень. Основна складність полягає не лише у значних розмірах або масі вантажу, а й у його специфічних фізико-механічних властивостях, вимогах до кріплення, чутливості до динамічних навантажень та обмеженнях, що накладаються транспортною інфраструктурою. Автомобільні дороги, мости, шляхопроводи, залізничні переїзди, лінії електропередач і елементи міської забудови часто стають критичними факторами, які визначають можливість або неможливість транспортування негабаритного вантажу за тим чи іншим маршрутом. У зв'язку з цим кожне таке перевезення потребує індивідуального підходу та детального техніко-економічного обґрунтування.

Особливої актуальності проблема перевезення негабаритних вантажів набуває в умовах розвитку відновлюваної енергетики. Будівництво вітроелектростанцій супроводжується необхідністю транспортування баштових секцій, гондол, трансформаторів і, насамперед, лопатей вітроустановок, довжина яких може перевищувати кілька десятків метрів. Такі вантажі характеризуються відносно невеликою масою, але значною довжиною та підвищеною чутливістю до локальних деформацій і пошкоджень. Це висуває особливі вимоги до вибору

транспортних засобів, схем розміщення та кріплення вантажу, а також до організації руху автопоїзда на складних ділянках маршруту.

Важливим аспектом перевезення негабаритних вантажів є забезпечення безпеки дорожнього руху. Переміщення автопоїздів зі збільшеними габаритами впливає на пропускну здатність доріг, потребує тимчасових обмежень руху, організації супроводу, а іноді й проведення підготовчих робіт, таких як демонтаж дорожніх знаків, світлофорів або підняття ліній електропередач. Помилки на етапі планування маршруту або неправильний вибір рухомого складу можуть призвести не лише до матеріальних збитків, а й до аварійних ситуацій, що становлять загрозу для життя та здоров'я учасників дорожнього руху.

З інженерної точки зору перевезення негабаритних вантажів є комплексною задачею, що включає розрахунок навантажень на осі транспортного засобу, оцінку стійкості автопоїзда, аналіз міцності елементів кріплення та впливу динамічних навантажень під час руху. Особливої уваги потребують композитні та тонкостінні конструкції, для яких небезпечними є не стільки загальні навантаження, скільки локальні напруження, викликані неправильним розміщенням опор або надмірним затягуванням стяжних елементів. У зв'язку з цим у практиці перевезення негабаритних вантажів широко застосовуються спеціалізовані напівпричепи, адаптери, ложементи та системи розподілу навантажень.

Не менш важливою є нормативно-правова складова. Перевезення негабаритних вантажів регламентується спеціальними правилами, які визначають допустимі габарити та масу, порядок отримання дозволів, вимоги до маркування транспортних засобів і організації супроводу. Дотримання цих вимог є обов'язковою умовою законності та безпеки перевезення. Водночас різниця в нормативних підходах між країнами ускладнює міжнародні перевезення та вимагає від перевізників високого рівня підготовки і координації дій.

Таким чином, перевезення негабаритних вантажів є важливою та актуальною проблемою сучасного транспорту, що поєднує інженерні,

організаційні та правові аспекти. Її вирішення потребує системного підходу, глибокого аналізу властивостей вантажу, можливостей транспортних засобів і особливостей дорожньої інфраструктури. Саме тому дослідження питань, пов'язаних із вибором рухомого складу, розробленням схем розміщення та кріплення вантажів, а також обґрунтуванням маршрутів перевезення є актуальним завданням і має важливе практичне значення. У межах даної роботи перевезення негабаритних вантажів розглядається як складний техніко-логістичний процес, оптимізація якого сприяє підвищенню ефективності транспортних операцій і рівня безпеки дорожнього руху.

# 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Аналіз вантажу та його вантажна вагово-габаритна характеристика

Лопать турбіни вітрогенератора є ключовим аеродинамічним і конструктивним елементом, від якого безпосередньо залежить ефективність перетворення енергії вітру в механічну, а згодом і в електричну. За своєю функцією лопать працює подібно до крила літака: завдяки спеціально сформованому аеродинамічному профілю на її поверхні виникає підйомна сила, яка змушує ротор обертатися. Профіль лопаті змінюється вздовж її довжини - біля кореня він товстіший і міцніший для сприйняття значних навантажень, а ближче до кінця стає тоншим і оптимізованим для зменшення опору та підвищення коефіцієнта підйомної сили.

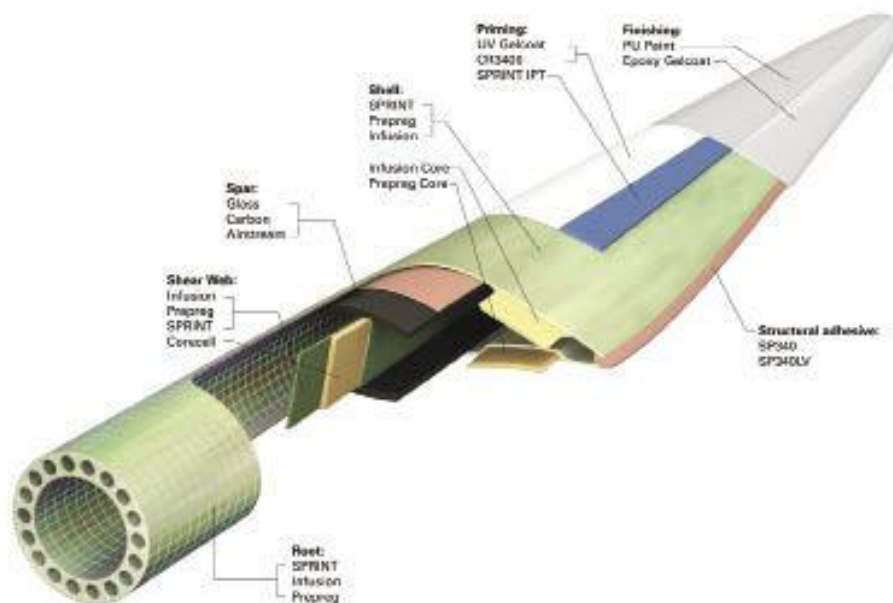


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд лопаті турбіни вітрогенератора

З конструктивної точки зору лопать є складною багатошаровою композиційною конструкцією. Найчастіше її виготовляють зі склопластику або вуглепластику з використанням епоксидних смол, що забезпечує поєднання

малої маси, високої міцності та втомної довговічності. Усередині лопаті розташовані силові елементи - лонжерони або коробчасті балки, які сприймають згинальні та крутильні навантаження, що виникають під дією вітру, власної ваги та відцентрових сил під час обертання.

Важливою характеристикою лопаті є її геометрія, зокрема довжина, кут закрутки та ширина хорди. Закрутка лопаті вздовж радіуса дозволяє підтримувати оптимальний кут атаки потоку повітря на різних ділянках, оскільки лінійна швидкість обертання зростає від кореня до кінця. Кінцева частина лопаті часто має спеціальну форму або додаткові аеродинамічні елементи, що зменшують вихрові втрати та шум, а також підвищують загальний коефіцієнт корисної дії турбіни.

З експлуатаційної точки зору лопать повинна бути стійкою до змінних кліматичних умов, включно з поривчастим вітром, дощем, обмерзанням і ультрафіолетовим випромінюванням. Тому її поверхня зазвичай має захисні покриття, що зменшують ерозійне зношування та подовжують термін служби. У сучасних вітрогенераторах також широко застосовуються системи активного або пасивного регулювання кута повороту лопаті, що дозволяє оптимізувати роботу установки при різних швидкостях вітру та підвищити безпеку під час штормових навантажень.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд транспортуванні лопаті вітрогенератора

Так, у лінійці Vestas є модель із довжиною лопаті близько 35 м – це Vestas V66.

Лопать вітрогенератора Vestas V66

Ця модель широко використовувалась у наземних ВЕУ потужністю 1,65–1,75 МВт і часто обирається для навчальних та проєктних робіт, оскільки її габарити значно кращі для перевезення, ніж у сучасних 50+-метрових лопатей.

Ключові транспортно-технічні характеристики лопаті:

Довжина:  $\approx 35$  м

Діаметр ротора: 66 м (відповідно 3 лопаті по  $\sim 35$  м)

Максимальна хорда: близько 3,0–3,2 м (у кореневій зоні)

Маса однієї лопаті: орієнтовно 4,5–5,5 т (залежно від модифікації)

Матеріал: склопластик на епоксидній матриці (GFRP), з внутрішніми силовими балками

Тип регулювання: pitch-регульована лопать



Рисунок 1.3 – Завантаження платформи в порту Одеси



Рисунок 1.4 – Рух платформи по гірських дорогах Ворохти



Рисунок 1.5 – Проходження поворотних частин доріг

## **1.2 Паспорт вантажу лопать ротора вітроенергетичної установки V66.**

Розробимо паспорт вантажу лопать ротора вітроенергетичної установки (ЛРВУ) Vestas V66

Назва вантажу: лопать ротора вітроенергетичної установки.

Виробник: Vestas.

Модель вітроустановки: Vestas V66.

Функціональне призначення: аеродинамічний силовий елемент ротора, призначений для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в механічну енергію обертання ротора.

Об'єкт перевезення являє собою одну лопать ротора (1 шт.). За транспортною класифікацією вантаж належить до довгомірних негабаритних вантажів із підвищеною чутливістю до локальних механічних впливів, оскільки виготовлений із композитних матеріалів і має тонкостінну аеродинамічну оболонку.

Лопать V66 має номінальну довжину близько 35 м, що є визначальним параметром при організації перевезення. Максимальна ширина профілю в кореневій частині становить орієнтовно 3,0–3,2 м, далі по довжині лопать поступово звужується до кінцевої частини. Геометрична форма характеризується змінним аеродинамічним профілем і просторовою закруткою, що зумовлює нерівномірний розподіл жорсткості та маси вздовж довжини. Маса однієї лопаті, залежно від серії виготовлення та року випуску, перебуває в межах приблизно 4,5–5,5 т. Для практичного перевезення точне значення маси та положення центра мас повинні уточнюватися за пакувальним листом або заводською документацією вантажовідправника.

З конструктивної точки зору лопать виконана як багатошарова композитна конструкція. Основу становить склопластик на епоксидній матриці з внутрішніми силовими елементами типу лонжерона або коробчастої балки, які сприймають згинальні та крутильні навантаження. Коренева частина лопаті конструктивно посилена та містить інтегровані металеві елементи для болтового з'єднання з маточиною ротора. Така конструкція забезпечує високу втомну міцність у робочих умовах, але водночас обумовлює підвищені вимоги до умов транспортування.

Зовнішня поверхня лопаті має фінішне аеродинамічне покриття та є чутливою до подряпин, вм'ятин і абразивних пошкоджень, особливо в зоні передньої та задньої кромки і на кінцевій частині. Перед перевезенням лопать повинна бути захищена транспортною плівкою або чохлом, а всі місця контакту з опорами та кріпильними елементами мають бути оснащені м'якими еластичними прокладками. Розміщення стропів і точок кріплення допускається виключно в зонах, дозволених виробником.

Навантажувально-розвантажувальні роботи виконуються крановим способом із застосуванням сертифікованих стропів і розподільчих траверс, що забезпечують рівномірний розподіл навантажень та обмежують прогин лопаті під час підйому. Під час НРР забороняється різке прикладання зусиль,

скручування лопаті та її контакт із твердими предметами. Контроль деформацій під час підйому та опускання є обов'язковим.

Перевезення лопаті V66 здійснюється автомобільним транспортом як перевезення довгомірного негабаритного вантажу. Рекомендованим рухомих складом є розсувний (телескопічний) напівпричіп середнього класу або спеціалізований напівпричіп для перевезення лопатей вітрогенераторів, обладнаний ложементами та кореневим адаптером. Коренева частина лопаті фіксується на жорсткому опорному пристрої, тоді як додаткові опори по довжині забезпечують зменшення прогину та стабілізацію вантажу. Кріплення здійснюється текстильними стяжними ременями з обмеженням зусилля натягу та обов'язковим захистом кромки.

Основними обмеженнями при транспортуванні є радіуси поворотів на перехрестях і транспортних розв'язках, наявність вузьких ділянок у населених пунктах, повітряних ліній електропередач, дорожніх знаків і елементів інфраструктури. З огляду на відносно невелику масу вантажу, визначальним фактором при погодженні маршруту є саме габарити, а не несуча здатність дорожніх споруд.

Супровідна документація на вантаж повинна включати пакувальний лист із зазначенням точних габаритів і маси, інструкцію виробника щодо транспортування та підйому, ідентифікаційні дані лопаті, а також дозвільні документи на перевезення негабаритного вантажу, погоджений маршрут і схему розміщення та кріплення вантажу. Доцільним є складання акта огляду лопаті до та після перевезення.

Підсумовуючи транспортну характеристику вантажу можна сказати, що лопать вітрогенератора V66 довжиною близько 35 м є типовим представником довгомірних негабаритних вантажів у вітроенергетиці та оптимальним об'єктом для дипломного проєкту з організації перевезення. Вона дозволяє повноцінно розглянути питання вибору рухомого складу, маршрутизації, способів кріплення та оцінки ризиків без надмірного ускладнення, характерного для сучасних лопатей довжиною понад 30 м.

## **1.3 Дозвільні документи, необхідні для перевезення негабаритних вантажів автомобільним транспортом**

### **1.3.1 Загальні вимоги до оформлення дозвільних документів**

Перевезення лопаті вітрогенератора довжиною 35 метрів автомобільним транспортом майже завжди потрапляє в режим «великогабаритного» (а інколи й «великовагового») руху, оскільки нормативні параметри для звичайного руху визначені значно меншими. Зокрема, Правила дорожнього руху встановлюють базові габаритні межі: ширина 2,6 м, висота 4,0 м та довжина автопоїзда 22 м; перевищення хоча б одного з цих параметрів переводить рух у спеціальний режим і потребує виконання спеціальних правил та оформлення дозвільних документів. Для лопаті V66 довжиною 35 м навіть за акуратної компоновки на телескопічній платформі фактична довжина складу «тягач + напівпричіп/платформа + вантаж» зазвичай перевищує 22 м, а часто наближається або перевищує 30 м, тобто виходить у зону, де до дозволу додаються обов'язкові вимоги щодо супроводу.

Центральним дозвільним документом є дозвіл на участь у дорожньому русі транспортних засобів, вагові або габаритні параметри яких перевищують нормативні. На рівні урядових правил прямо встановлено, що рух великовагових та великогабаритних транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами здійснюється на підставі такого дозволу, який видається уповноваженим підрозділом Національної поліції, або на підставі документа про внесення плати за проїзд (у передбачених випадках). Важливим для практики є те, що оформлення/відмова, переоформлення та анулювання дозволу здійснюються через центри надання адміністративних послуг, а за наявності технічної можливості - також через електронні сервіси (зокрема вебпортал електронних послуг).

Оскільки лопать V66 довжиною 35 м перевозиться як довгомірний негабарит, дозвіл фактично є «маршрутним документом»: він не просто фіксує

факт перевищення габариту, а визначає умови й режим проїзду конкретним маршрутом. Саме тому дозвіл оформлюється Національною поліцією не «ізолювано», а на підставі погоджувальних документів від власників і балансоутримувачів інфраструктури, в яких прописуються умови та режим руху такого автопоїзда. Для бакалаврської роботи це принциповий момент: юридично негабаритний рейс легітимізується не одним папером, а сукупністю «дозвіл + погоджений маршрут + умови безпеки».

Погодження маршруту для лопаті 35 м зазвичай охоплює кілька рівнів. Якщо маршрут проходить дорогами загального користування кількох областей, видача дозволу погоджується з Агентством відновлення (у чинній редакції правил саме воно згадується як орган погодження для маршрутів між областями). Якщо ж маршрут проходить вулицями населених пунктів, погодження здійснюється з власниками доріг, вулиць та залізничних переїздів або уповноваженими ними організаціями, які відповідають за експлуатаційне утримання. На практиці це означає, що для проїзду через міста/селища доведеться враховувати місцеві обмеження, місця звужень, роботу комунальних служб і інколи - вимоги до «вікон» руху (нічні/денні години), що фіксуються у погоджувальних листах і потім відображаються в умовах дозволу.

Окремий пласт дозвільної логіки виникає, коли параметри автопоїзда наближаються до зон підвищеного інфраструктурного ризику. У правилах прямо передбачено, що коли висота від поверхні дороги становить більш як 4,5 м, видача дозволу погоджується зі службами міського електротранспорту, електромереж, електрифікації, електрозв'язку та мостового господарства. Для лопаті V66 висота перевезення часто вкладається у 4,5 м, але це залежить від висоти ложементів/опор, типу платформи та фактичного профілю траси; у дипломній роботі коректно підкреслити, що саме конструкція транспортного комплексу (низькорамність, висота сидла, налаштування опор) визначає, чи виникає потреба в додаткових погодженнях по контактних мережах та мережах зв'язку.

Якщо маршрут проходить через залізничні переїзди, а габарити/маса перевищують визначені пороги (зокрема ширина понад 5 м, довжина понад 26 м, висота понад 4,5 м або загальна маса понад 52 т), тоді маршрут додатково погоджується з дистанцією колії залізниці (державна власність) або власниками переїздів (інші форми власності) чи уповноваженими ними організаціями. Ба більше, правила прямо вимагають подати заявку начальникові дистанції колії або власникам переїздів не пізніше ніж за 24 години до моменту перетину колії - і це вже не «бажана практика», а формалізована вимога. Для лопаті 35 м цей пункт важливий навіть тоді, коли «ширина не рекордна», бо саме довжина та траєкторія проходження можуть ускладнювати перетин переїзду (кут входу, можливість маневрування, небезпека «посадки» автопоїзда на переломі профілю).

Ще один сценарій - великоваговість. Якщо загальна маса транспортного засобу перевищує 60 тонн, власник доріг або уповноважена організація приймає рішення про спеціальне обстеження/випробування будівель, споруд і мереж на маршруті (за рахунок замовника) та, за потреби, про укріплення штучних споруд. Для однієї лопаті V66 маса зазвичай не є «домінуючим» фактором порівняно з довжиною, але в реальному автопоїзді масу формують також тягач, платформа, допоміжні візки, адаптери, опори та оснащення, тому у дипломній роботі доречно показати, що перевірка по масі та осьових навантаженнях є обов'язковою частиною підготовки пакета документів, а не «другорядною формальністю».)

Оскільки лопать 35 м фактично «проштовхує» автопоїзд у довжину понад стандартні межі, надзвичайно значущим стає питання супроводу як елемента дозвільного режиму. Адміністративний опис послуги фіксує, що необхідність супроводу визначає уповноважений підрозділ Національної поліції під час видачі дозволу, але при цьому встановлюються й обов'язкові пороги. Зокрема, супровід автомобілем прикриття є обов'язковим, коли ширина перевищує 3,5 м або довжина - 24 м; супровід патрульним автомобілем Національної поліції є обов'язковим, коли ширина перевищує 3,75 м або довжина - 30 м, а також коли

під час руху транспортний засіб хоча б частково займатиме смугу зустрічного руху. Для лопаті V66 довжиною 35 м ключовим є саме критерій довжини 30 м: навіть якщо ширина укладається в нижчі пороги, перевищення довжини робить патрульний супровід типовою умовою легального рейсу, що потім відображається в умовах дозволу та в організації руху (швидкість, «вікна», проїзд вузьких ділянок).

Окремо слід підкреслити, що дозвіл на негабарит не замінює «базових» документів вантажного перевезення, які водій і перевізник зобов'язані мати при виконанні перевезення як такого. Закон України «Про автомобільний транспорт» встановлює, що для внутрішніх вантажних перевезень водій повинен мати посвідчення водія відповідної категорії, реєстраційні документи на транспортний засіб, товарно-транспортну накладну (або інший документ на вантаж) та інші документи, передбачені законодавством; перевізник, зі свого боку, має мати документ, що підтверджує використання транспортного засобу на законних підставах, та інші визначені документи. Для перевезення лопаті це означає, що ТТН і договірно-первинні документи (що ідентифікують вантаж як лопать V66, її серійний номер/комплектацію, умови передачі та відповідальність) у зв'язці з дозволом створюють повний юридичний контур: «що веземо» підтверджується ТТН, а «на яких умовах маємо право їхати по дорогах» - спеціальним дозволом і погодженнями.

З практичного погляду пакет дозвільних документів для лопаті V66 довжиною 35 м доцільно описувати в дипломі як інтегровану систему. В її центрі знаходиться дозвіл Національної поліції, який оформлюється на підставі погоджень власників доріг, вулиць, мостів, залізничних переїздів та, за потреби, мереж електрифікації/зв'язку; саме в цих погодженнях і в самому дозволі задаються конкретні обмеження та режим руху. Далі додається блок супроводу, який для довжини понад 30 м перетворюється з «опції» на нормативну умову (патрульний супровід), і це безпосередньо впливає на календар рейсу та організацію проїзду складних ділянок. Нарешті, базовий блок документів

перевезення (ТТН, реєстраційні документи, документи водія) забезпечує правомірність самого факту виконання вантажного перевезення.

### **1.3.2 Оформлення дозвільної документації для перевезення лопаті Vestas V66 за маршрутом перевезення вантажу**

Перевезення лопаті вітрогенератора довжиною 35 м на автомобільній платформі в українських умовах практично неминуче виходить за межі «звичайного руху», тому що спеціальний режим застосовується вже тоді, коли хоча б один габарит транспортного засобу та його складу перевищує 2,6 м за шириною, 4,0 м за висотою або 22 м за довжиною, а також у разі перевищення вагових параметрів чи виступання вантажу за задній габарит більш ніж на 2 м. Для такого рейсу саме довжина автопоїзда з вантажем є визначальною ознакою, адже при лопаті 35 м фактична довжина складу, як правило, перевищує і 22 м, і 26 м, а часто й 30 м, що автоматично підсилює вимоги до супроводу та погодження маршруту.

Юридично «центром» пакета документів є дозвіл на участь у дорожньому русі транспортних засобів, вагові або габаритні параметри яких перевищують нормативні. Нормативна база прямо встановлює, що рух великогабаритних/великовагових транспортних засобів дорогами, вулицями та залізничними переїздами здійснюється або на підставі такого дозволу, виданого уповноваженим підрозділом Національної поліції, або (у визначених випадках) на підставі документа про внесення плати за проїзд. При цьому дозвіл оформлюється поліцією не «сам по собі», а на підставі погоджувальних документів із власниками (балансоутримувачами) дорожньої мережі, переїздів, мостового господарства, служб електротранспорту, електромереж, електрифікації та електрозв'язку, де визначаються умови й режим проїзду.

Якщо перенести цю вимогу на маршрут Одеса – Ворохта, то перше, що змінює процедуру порівняно з коротким «внутрішньообласним» перевезенням, це міжрегіональний характер руху. Маршрут проходить дорогами загального

користування багатьох областей, тому видача дозволу підлягає погодженню з Агентством відновлення (у правилах воно визначене як орган погодження для маршрутів, що проходять дорогами кількох областей). Це погодження по суті є підтвердженням, що запропонований шлях проїзду може бути прийнятий з точки зору стану покриття, наявних обмежень, ремонтів, допустимих навантажень і пропускної здатності інфраструктури, а також що маршрут узгоджений із тими організаціями, які повинні забезпечити безпечне проходження складних об'єктів.

Друга ключова особливість саме цього маршруту пов'язана з тим, що він неминуче включає проходження через міські агломерації та ділянки вулично-дорожньої мережі населених пунктів, де «державна траса» перетинається з місцевими розв'язками, кільцевими перехрестями, шляхопроводами, контактними мережами і комунікаціями. Правила окремо вимагають: якщо маршрут проходить вулицями населених пунктів, видача дозволу погоджується з власниками доріг/вулиць та залізничних переїздів або з уповноваженими організаціями, які відповідають за експлуатаційне утримання. Це особливо актуально для виїзду з Одеси, проходження Умані та Білої Церкви, а також для «об'їзду Києва», де негабарит намагаються вивести з міської смуги на обхідні дороги і напівкільце, щоб мінімізувати ризики та затори.

У межах заданої тобою схеми «Біла Церква – об'їзд Києва – Київ – Житомир» логіка погодження виглядає так: базова магістраль Одеса–Умань–Біла Церква належить до коридору М-05 Київ–Одеса, і саме він задає «хребет» маршруту на півночі Одеської області, через Умань і до Київщини. Далі для обходу столиці в практиці негабаритних перевезень часто використовується київське півкільце/кільцева (зокрема ділянки Т-1027 як частина київського півкільця), що дозволяє переключитися з М-05 на М-06 без проходження центральною вуличною мережею Києва; цей маневр суттєво «розвантажує» погодження, але не скасовує його, тому що півкільце проходить в межах міської та приміської мережі і потребує узгодження умов руху.

Після підключення до М-06 Київ–Чоп маршрут у частині «Київ – Житомир – Рівне – Львів» виглядає найстабільніше з погляду дозвільної логіки, бо йдеться про дорогу міжнародного/державного значення, яка прямо проходить через зазначені тобою опорні міста. Проте навіть на такій трасі дозвіл не є формальністю: він, як правило, фіксує часові обмеження руху (наприклад, уникнення пікових годин), допустимі швидкості, місця технологічних зупинок для контролю кріплення та конкретні вимоги до супроводу на окремих відтинках (зокрема при проходженні розв'язок, мостів і населених пунктів).

Найбільш «документоемною» частиною в цьому маршруті стає перехід у Прикарпаття та фінальна гірська ділянка. Якщо маршрут після Львова прямує до Івано-Франківська, типова транспортна логіка полягає в тому, що по М-06 доходять до вузла Стрий, а далі рухаються дорогою Н-10 у напрямку Івано-Франківська. Від Івано-Франківська через Надвірну та Яремче до Ворохти маршрут природно лягає на Н-09, яка є магістраллю, що проходить карпатською долиною і веде далі в бік Рахова/Закарпаття. Саме на Н-09 суттєво зростає роль погоджень «мостового господарства» і комунікацій: гірська місцевість означає більшу кількість мостів/переїздів через річки та потоки, змінні радіуси поворотів, обмежені узбіччя, а також більшу чутливість до питання висоти (лінії електропередач, кабельні переходи, інколи елементи контактних мереж у межах населених пунктів). У правилах прямо вказано, що коли висота від поверхні дороги перевищує 4,5 м, видача дозволу погоджується зі службами міського електротранспорту, електромереж, електрифікації, електрозв'язку та мостового господарства, тому для лопаті 35 м у дипломній роботі коректно показати, що «висотний профіль» автопоїзда фактично визначає, чи додаються до пакета ці погодження як обов'язкові.

Окремо для маршруту Одеса – Ворохта принциповим є залізничний фактор. Навіть якщо перевізник намагається обирати траси з мінімумом переїздів, на такій довжині маршруту повністю уникнути залізничних перетинів складно. Нормативно ж встановлено, що якщо габарити великогабаритного транспортного засобу перевищують 26 м за довжиною (а для лопаті 35 м це

практично гарантовано), то маршрут, який проходить через залізничні переїзди, додатково погоджується з дистанцією колії залізниці або власниками переїздів, причому перевізник зобов'язаний подати заявку не пізніше ніж за 24 години до моменту перетину колії. У дипломному описі це важливо подати як «операційно-дозвільну» вимогу: погодження переїзду і 24-годинна заявка фактично впливають на календар рейсу і можуть вимагати прив'язки руху до конкретних часових вікон.

Далі, оскільки довжина составу з вантажем у такому проєкті дуже часто перевищує 30 м, супровід стає не просто рекомендованим, а нормативно обумовленим елементом дозволу. Адміністративний опис послуги прямо зазначає, що супровід автомобілем прикриття обов'язковий при довжині понад 24 м, а супровід патрульним автомобілем Національної поліції є обов'язковим при довжині понад 30 м (або за умов часткового зайняття зустрічної смуги). Тому для лопаті 35 м у межах маршруту Одеса – Ворохта логіка виглядає так: дозвіл має містити рішення щодо супроводу, і це рішення перетворюється на обов'язкову умову фактичного виїзду на маршрут, особливо в місцях із обмеженою шириною проїзду, у гірських населених пунктах та на ділянках зі складною геометрією.

Нарешті, у дипломній роботі доречно показати, що дозвіл для такого перевезення є «одноразовим маршрутом», якщо рейс здійснюється один раз, але нормативно передбачена й можливість видати дозвіл на кілька проїздів тим самим транспортним засобом по одному маршруту на строк до трьох місяців. Це важливо саме для вітроенергетичних проєктів, де перевезення лопатей часто є серійними і виконуються «пакетом». Так само доречно підкреслити обмежувальну норму: дозвіл може не видаватися або його дія припиняється, якщо на дорогах/вулицях може виникнути підвищена небезпека для учасників руху або транспортні затори, що практично означає: у вузлових точках маршруту (великі міста, ремонтні ділянки, гірські вузькі відтинки) орган, який видає дозвіл, може встановлювати часові «вікна» або вимагати коригування траси.

У підсумку для маршруту Одеса – Ворохта дозвільний пакет для лопаті V66 довжиною 35 м слід описувати як систему взаємопов'язаних рішень: спеціальний дозвіл Національної поліції як головний документ; погодження маршруту з Агентством відновлення через багаторегіональність проїзду; погодження з власниками/утримувачами вуличної мережі в містах і на обході Києва; додаткові погодження з «мостовими» та комунікаційними службами за фактом висотних і інфраструктурних обмежень; окремий контур узгодження залізничних переїздів із подачею заявки не пізніше ніж за 24 години; і обов'язкове рішення щодо супроводу, яке для довжини понад 30 м фактично стає умовою здійснення рейсу

#### **1.4 Висновки і постановка завдань на кваліфікаційну роботу бакалавра**

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності та безпеки перевезення негабаритного вантажу – лопаті вітроенергетичної установки Vestas V66 – шляхом обґрунтування вибору рухомого складу, розроблення раціональної схеми розміщення і кріплення вантажу, а також оптимізації маршруту перевезення з урахуванням складних дорожніх умов.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити комплекс взаємопов'язаних інженерно-технічних задач.

На першому етапі необхідно здійснити вибір типового напівпричепа, придатного для транспортування довгомірного негабаритного вантажу, зокрема лопаті ВЕУ Vestas V66. Це передбачає обґрунтування типу напівпричепа з урахуванням геометричних параметрів вантажу, його маси, умов транспортування та вимог нормативної документації. Додатково необхідно визначити необхідну довжину вантажної платформи та розробити раціональну схему розміщення лопаті. Важливою складовою є виконання розрахунку вертикальних реакцій в опорах з метою перевірки допустимих навантажень на вісь та вибору відповідних опорних елементів.

Наступним завданням є аналіз технічних характеристик обраної платформи для перевезення лопаті. Необхідно дослідити його конструктивні особливості, вантажопідйомність, можливості телескопування та пристосованість до перевезення довгомірних вантажів.

Окремим блоком задач є розроблення маршруту перевезення за напрямком Одеса – Ворохта. Це включає загальну характеристику маршруту, аналіз дорожньої інфраструктури, обмежень за габаритами та навантаженнями, а також детальний аналіз найбільш складних ділянок, які можуть впливати на безпеку та можливість проїзду автопоїзда.

Особливу увагу необхідно приділити кінематичному аналізу руху автопоїзда при русі на малих швидкостях. Для цього необхідно проаналізувати характерні критичні повороти на ділянці Яремче – Микуличин – Татарів – Ворохта (автомобільна дорога Н-09) з метою перевірки можливості безпечного проходження автопоїзда без виходу за межі проїзної частини.

Додатково необхідно розробити орієнтовний графік руху транспортного засобу, визначити тривалість перевезення по окремих етапах маршруту з урахуванням швидкісних обмежень, складності ділянок та вимог супроводу негабаритного вантажу.

Завершальним технічним завданням є розроблення схеми кріплення лопаті вітрогенератора на платформі. Це передбачає визначення способів фіксації, розрахунок сил кріплення, перевірку стійкості вантажу під час руху та відповідність вимогам безпеки перевезень.

Також необхідно проаналізувати потенційні небезпеки, що виникають під час перевезення негабаритного вантажу, розробити заходи щодо їх мінімізації, а також визначити вимоги до організації безпечних умов праці водіїв та обслуговуючого персоналу.

## 2. ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

### 2.1 Вибір типового напівпричепа для перевезення лопаті ВЕУ Vestas V66 та обґрунтування параметрів кріплення

Для кваліфікаційної роботи приймається перевезення однієї лопаті ротора вітроустановки Vestas V66. Для цієї моделі в відкритих технічних описах зустрічається позначення лопаті як “тип 32 м”, що узгоджується з діаметром ротора 66 м (радіус 33 м) і означає, що реальна довжина лопаті перебуває в діапазоні близько 32–33 м; у транспортному плануванні доцільно закласти резерв на захисні елементи/упори та технологічні припуски, тому далі для розрахунків приймається транспортна довжина 35 м як консервативна (проектна) величина.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд лопаті турбіни

#### 2.1.1 Обґрунтування вибору типу напівпричепа.

Для довгомірних вантажів на кшталт лопатей найбільш типовим і технологічно виправданим рішенням є телескопічний (розсувний) напівпричіп-платформа/пласка платформа з центральною несучою балкою, який дозволяє

змінювати базову довжину під конкретний вантаж і забезпечує достатню крутильну жорсткість рами. Як типову серійну реалізацію для таких перевезень обґрунтовано доцільно прийняти Faumonville TeleMAX (2–6 осей; призначений саме для довгих вантажів, включно з лопатями ВЕУ). У характеристиках TeleMAX підкреслено можливість подовження до кратності та застосовність для перевезення вітролопатеї; для варіанту WingMAX заявляється максимальна загальна довжина автопоїзда до 74,65 м, що підтверджує запас по довжині навіть для значно більших лопатеї, ніж V66.

Для лопаті V66 (проектно 35 м) не потрібні екстремальні «blade lifter» системи, які застосовують для 55–80-метрових лопатеї на ділянках “останньої милі”, тому телескопічний напівпричіп є раціональним компромісом між маневровістю, універсальністю та вартістю експлуатації. Додатковою перевагою TeleMAX є концепція центральної балки (ZT), яка забезпечує достатню жорсткість при відносно невеликій власній масі, що знижує ризики надмірних скручувань рами та, як наслідок, небажаних деформацій лопаті в опорах.

Як приклад реальних параметрів розсувної платформи для «вітрового» застосування можна використати специфікаційний лист Tele/WingMAX: наведено довжину вантажної платформи 15 650 мм і можливість подовження до 48 800 мм (4× extendable), що дає загальну вантажну базу, достатню для коректного розміщення двох/трьох опорних ложементів під лопать 35 м із запасом.

У межах кваліфікаційної роботи типовою приймається конфігурація «сідельний тягач 6×4 + телескопічний напівпричіп 3–4 осі (керовані/підкермовувані осі бажані)», що забезпечує прийнятну маневровість та прохідність на розв'язках і поворотах, а також зменшує знос шин у порівнянні з некерованими багатовісними схемами.



Рисунок 2.2 – Платформа Faymonville TeleMAX для перевезення лопаті вітрогенератора

### 2.1.2 Розрахунок необхідної довжини платформи та схема розміщення лопаті

Проектні вихідні дані для транспортного положення: прийнята довжина лопаті ( $L_b = 35$  м); реальна «паспортна» довжина для V66 може бути близько 32 м, але в перевезенні доцільно врахувати запас. Орієнтовна маса лопаті для розрахунків кріплення приймається ( $m_b = 5,0$  т) (у межах типового діапазону для  $\sim 32\text{--}35$  м лопатей; точне значення в реальному перевезенні береться з packing list).

Для забезпечення безпечних зазорів і виключення контакту кінцевої частини з тягачем/дорогою доцільно прийняти технологічні виноси: винос від переднього краю платформи до кінчика лопаті ( $a_f \approx 1,5$  м); винос від задньої опори/адаптера кореня до торця кореня ( $a_r \approx 1,0$  м).

Тоді мінімально потрібна «робоча» довжина розміщення між передньою та задньою опорою:

$$L_{\text{work}} = L_b - a_f - a_r = 35 - 1,5 - 1,0 = 32,5 \text{ м.} \quad (2.1)$$

Отже, напівпричіп має забезпечувати відстань між опорними ложементами/зонами опирання на рівні близько 32–33 м або реалізовувати комбіновану схему «кореневий адаптер + одна/дві проміжні опори» так, щоб прогин лопаті між опорами не перевищував допустимих значень, заданих виробником.

Практично для 35-метрової лопаті доцільна схема з двома основними опорами: жорстка фіксація кореня на задньому адаптері та передня опора-ложемент у зоні приблизно 60–70% довжини від кореня (тобто на 21–24 м від кореня). Такий вибір зменшує «вільний» передній консольний винос кінцевої частини і поліпшує маневрування.

Нижче наведено схему розміщення (умовна, для пояснювальної записки).

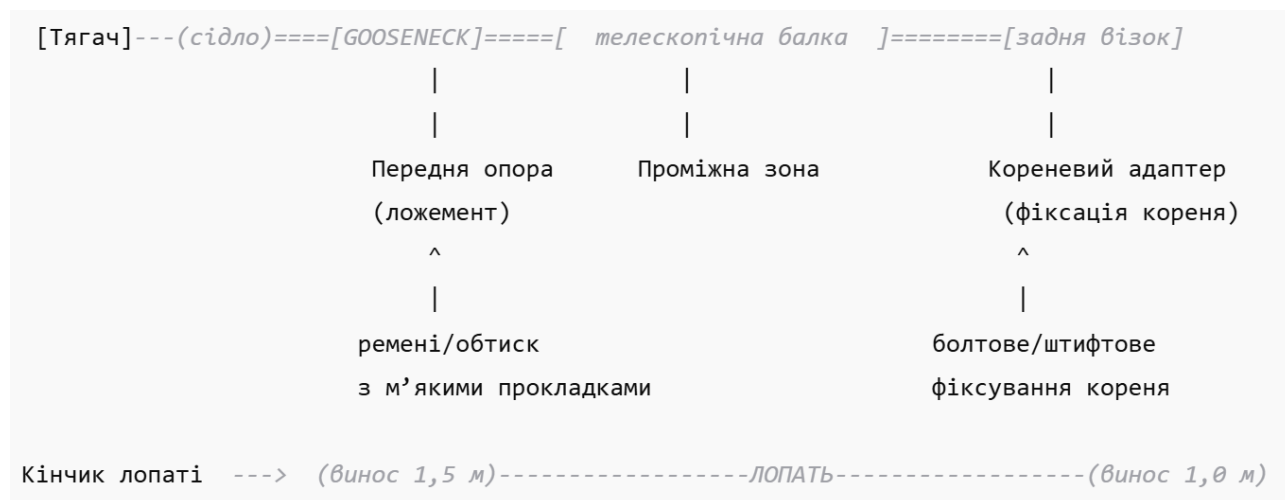


Рисунок 2.3 – Схема розміщення лопаті V66 на телескопічному напівпричіпі (вид збоку)

### 2.1.3 Розрахунок вертикальних реакцій в опорах (для вибору опор і перевірки навантажень)

Для інженерного обґрунтування опор у дипломі зручно використати спрощену балочну модель: лопать розглядається як балка на двох опорах з рівнодійною ваги, прикладеною в центрі мас. Оскільки коренева частина суттєво масивніша, центр мас зазвичай зміщений до кореня; для проектної оцінки приймається ( $x_{cg} = 0,35L_b$ ) від кореня (надалі в реальному проекті підлягає уточненню за заводською документацією).

Приймається:

вага лопаті ( $W = m_b g = 5,0 \cdot 9,81 = 49,1$  кН).

відстань між опорами ( $S = 23$  м) (кореневий адаптер як задня опора та передній ложемент).

положення центра мас від кореня ( $x_{cg} = 0,35 \cdot 35 = 12,25$  м).

Якщо задня опора (корінь) в нульовій точці, а передня опора в точці ( $S$ ), то реакції:

$$R_{\text{front}} = W \cdot \frac{x_{cg}}{S}, \quad R_{\text{rear}} = W - R_{\text{front}}. \quad (2.2)$$

Тоді:

$$R_{\text{front}} = 49,1 \cdot \frac{12,25}{23} \approx 26,1 \text{ кН}, \quad R_{\text{rear}} \approx 49,1 - 26,1 = 23,0 \text{ кН}.$$

Ці значення показують порядок навантаження на ложементи: обидві опори сприймають по суті 2,3–2,7 т еквівалентної вертикальної сили. Для вибору опорних елементів у пояснювальній записці робиться висновок, що достатні сертифіковані ложементи/адаптери з запасом міцності, а критичним стає не несуча здатність, а вимоги до площі контакту, м'якості прокладок і обмеження локальних напружень у композиті.

Схеми кріплення вантажу та розрахунок кількості стяжних ременів

У практиці перевезення лопатей кріплення повинно поєднувати формозамикаючу фіксацію (через кореневий адаптер та бокові упори в ложементі) і фрикційне утримання (через антиковзні мати та ремені з контрольованим натягом). Саме формозамикаюча фіксація є базовою, а ремені працюють як утримання від підскоку/зсуву та як резерв при динаміці.

Приймається, що в кореневій частині використано кореневий адаптер з механічною фіксацією, а в зоні передньої опори - ложемент з боковими упорами та антиковзними матами. Для розрахунку ременів застосовується спрощена оцінка за поздовжнім інерційним навантаженням (гальмування). Для автоперевезень часто закладають коефіцієнт поздовжнього прискорення ( $c_x = 0,8$ ).

Потрібна утримуюча сила без урахування формозамикаючих елементів:

$$F_{x,req} = c_x W = 0,8 \cdot 49,1 \approx 39,3 \text{ кН.}$$

Фрикційна складова від антиковзних матів (приймається ( $\mu = 0,6$ ) для якісних матів “high friction”):

$$F_{\mu} = \mu W = 0,6 \cdot 49,1 \approx 29,5 \text{ кН.}$$

Додаткова сила, яку має забезпечити кріплення:

$$\Delta F = F_{x,req} - F_{\mu} \approx 39,3 - 29,5 = 9,8 \text{ кН.}$$

Якщо застосовуються текстильні ремені з типовою силою попереднього натягу ( $STF = 5$  кН) (орієнтовно для 50-мм ременів із натяжним механізмом), то ефективний внесок одного ременя у «притиск» в наближенні можна оцінити як ( $2 \mu STF$ ) (дві гілки ременя). Тоді потрібна кількість ременів:

$$n \geq \frac{\Delta F}{2\mu STF} = \frac{9,8}{2 \cdot 0,6 \cdot 5} \approx 1,63.$$

Отже, на проектному рівні приймається не менше двох ременів на кожний ложемент (передній ложемент і зона кореневого адаптера), а також додаткові ремені/страхувальні стяжки в зоні тонкої частини для виключення вібраційного «підпружинювання». У дипломі доцільно підкреслити, що ремені не повинні працювати «по кромці», а лише через широкі прокладки та захисні кути.

Схема кріплення (умовно, вид зверху) подається так:



Рисунок 2.4 – Схема кріплення лопаті (вид зверху, умовно)

Таким чином, для перевезення лопаті Vestas V66 з проектною транспортною довжиною 35 м раціонально прийняти телескопічний напівпричіп-платформу класу Faumonville TeleMAX у конфігурації 3–4 осі, оскільки він забезпечує необхідний запас по довжині платформи, конструктивну жорсткість і технологічну пристосованість до довгих вантажів (лопатей ВЕУ), що підтверджується його заявленим призначенням та параметрами подовження. (Faumonville) Вибрані схеми розміщення та кріплення забезпечують перенесення основних навантажень через кореневий адаптер і ложементи з антиковзними матами, а розрахунок показує, що при достатньому коефіцієнті тертя та формозамикаючому упорі достатньо проектно прийняти дві стяжки на опору з обов'язковим захистом оболонки лопаті від локального тиску.

Якщо ти скажеш, який сценарій ти закладаєш у кваліфікаційній роботі (маршрут, тип тягача 6×4 чи 4×2, кількість осей напівпричепа), я підставлю це в розрахунки й додам перевірку габаритів автопоїзда, мінімальних радіусів повороту та орієнтовних осьових навантажень у транспортному положенні (з формулами для розподілу по осях).

## **2.2 Характеристика платформи для перевезення лопаті вітроустановки Vestas V66**

Для організації автомобільного перевезення довгомірної лопаті вітрогенератора Vestas V66 (проектна довжина ~35 м) обґрунтовано вибрано телескопічну платформу-напівпричіп як найбільш технологічно придатний засіб транспортного забезпечення. Серед сучасних рішень для перевезення довгомірних негабаритних вантажів на ринку спеціалізованої техніки помітною позицією є серія напівпричепів із телескопічною вантажною платформою виробництва Faumonville Group, зокрема лінійка TeleMAX.

Faumonville TeleMAX - це серія багатофункціональних плоских напівпричепів із можливістю телескопічного подовження вантажної площадки до значної довжини, що забезпечує адаптацію платформи під довжину вантажу без надмірної частини, що виступає за межі платформи. Телескопічний механізм дозволяє подовжувати платформу до чотирьох разів по відношенню до базової довжини, а в максимальних виконаннях загальна довжина автопоїзда може досягати до 74,65 м у варіанті WingMAX, що повністю задовольняє потреби перевезення вантажів довжиною понад 30 м.

Центральною особливістю конструкції є балкова рама згідно з принципом ZT, яка забезпечує підвищену крутильну жорсткість при відносно помірній масі конструкції, що сприяє стабільності під час руху з довгими вантажами. Напівпричепи TeleMAX оснащуються пневматичною підвіскою, що дозволяє регулювати висоту платформи і зменшувати удари при перевезеннях нерівними дорогами, а також може мати силову або гідравлічну систему керування осями для поліпшеної маневреності при поворотах і на складних ділянках маршруту.

Оскільки проектом передбачено перевезення лопаті довжиною біля 35 м, для оцінки необхідних параметрів платформи доцільно розглянути конкретний приклад серійної конфігурації TeleMAX із 4 осями із показниками, наведеними в оголошенні фірми-виробника спеціалізованої техніки: вантажна площадка з базовою довжиною  $\approx 15\ 650$  мм та можливістю збільшення телескопічними

секціями приблизно на 48 800 мм, що забезпечує загальну вантажну довжину приблизно до 64 450 мм після розсування; корисна ширина платформи близько 2 540–2 850 мм.

Параметри вантажного напівпричепа типу TeleMAX представлені в таблиці нижче, що дозволяє сформувати базову технічну платформу для розрахунків, обґрунтування маршрутних обмежень, вибору тягача та кріплення вантажу.

Таблиця 2.1 – Технічні параметри напівпричепа Faymonville TeleMAX (4 осі, телескопічний)

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>
Базова довжина вантажної площадки	≈ 15 650 мм
Довжина після подовження (телескопія)	≈ 64 450 мм (після ~48 800 мм розсування)
Корисна ширина платформ	≈ 2 540 мм
Висота платформи (завантажена)	≈ 1 250 мм
Висота під'єднання (kingpin)	≈ 1 270 мм
Повна маса напівпричепа	≈ 76 000 кг
Маса порожнього напівпричепа	≈ 15 200 кг
Корисне навантаження	≈ 60 800 кг
Навантаження на п'яту колесу	≈ 28 000 кг
Підвіска	Пневматична
Керування осями	Гідравлічне
Тип коліс	275/70 R22,5

Переваги використання саме телескопічного напівпричепа для перевезення лопаті такої довжини полягають у тому, що він:

– дає змогу адаптувати довжину вантажної платформи точно під габарит вантажу, мінімізуючи виступи понад платформу, що знижує ризики при маневруванні та погодженні маршруту;

– завдяки пневматичній підвісці та гідравлічному керуванню осями забезпечує стабільність руху й плавність ходу, що особливо важливо для збереження композитного вантажу (лопаті) від зайвих ударів чи коливань;

– забезпечує велику вантажопідйомність (~60 т), що значно перевищує масу лопаті (~5 т для V66), залишаючи запас для інших елементів кріплення та технологічних пристосувань.

Оскільки граничні значення довжини після розсування TeleMAX (близько 64 м) значно перевищують необхідні 35 м, така конфігурація підходить для реалізації маршруту перевезення лопаті Vestas V66. У дипломному проєкті це дозволяє не лише формалізувати вибір платформи, а й розрахувати параметри автопоїзда, провести аналіз радіусів повороту, навантажень на осі та узгодження з обмеженнями інфраструктури.

## **2.3 Розроблення маршруту перевезення негабаритного вантажу за напрямком Одеса – Ворохта**

### **2.3.1 Загальна характеристика маршруту**

Маршрут перевезення довгомірної лопаті вітрогенератора формується з урахуванням просторової протяжності території України та істотної різниці дорожніх і рельєфних умов між південним регіоном і Карпатською гірською зоною. Початковою точкою маршруту є місто Одеса як великий морський і логістичний центр, через який здійснюється ввезення елементів вітроенергетичних установок. Кінцевою точкою маршруту визначено населений пункт Ворохта, що розташований у гірській частині Українських Карпат і може розглядатися як типовий пункт доступу до будівельних майданчиків ВЕС у гірській місцевості.

Загальна довжина маршруту становить орієнтовно 780–820 км залежно від варіанта об'їздів, погоджених дозволів та локальних дорожніх умов. Маршрут поділяється на кілька функціональних зон: південну рівнинну, центральну транзитну, західну передгірську та гірську карпатську.

Ключовими транспортними коридорами маршруту є дороги М-05 (Одеса – Київ), М-06 (Київ – Чоп) та Н-09 (Мукачево – Львів – Івано-Франківськ), які традиційно використовуються для перевезення негабаритних вантажів за умови спеціального погодження.

Таблиця 2.2 – Маршрут перевезення негабаритного вантажу за напрямком Одеса – Ворохта

№ етапу	Ділянка маршруту	Основні населені пункти	Номер і категорія дороги	Характеристика ділянки та основні обмеження
1	Вихід із портової та міської зони	Одеса	Міська мережа / М-05	Обмежені радіуси поворотів, рух у нічний час, супровід
2	Південна рівнинна ділянка	Одеса – Умань	М-05	Пряма траса, інтенсивний рух, контроль ЛЕП та розв'язок
3	Центральна транзитна зона	Умань – Біла Церква	М-05	Висока завантаженість дороги, погоджені часові вікна
4	Обхід столичного вузла	Біла Церква – об'їзд Київ	М-05 / М-06	Поліцейський супровід, рух без заїзду в місто
5	Північно-західна магістраль	Київ – Житомир	М-06	Дорога міжнародного значення, стабільні габарити

№ етапу	Ділянка маршруту	Основні населені пункти	Номер і категорія дороги	Характеристика ділянки та основні обмеження
6	Західна рівнинна зона	Житомир – Рівне	М-06	Контроль мостів, шляхопроводів і узбіч
7	Передгірська ділянка	Рівне – Львів	М-06	Об'їзна дорога Львова, мінімізація міського руху
8	Західний транзит	Львів – Івано-Франківськ	Н-09	Хвилястий рельєф, зниження швидкості
9	Гірський підхід	Івано-Франківськ – Надвірна	Н-09	Початок гірських умов, серпантини
10	Карпатська гірська ділянка	Надвірна – Яремче	Н-09	Малі радіуси поворотів, обмежена ширина
11	Фінальна гірська ділянка	Яремче – Ворохта	Н-09	Серпантини, мінімальна швидкість, постійний супровід

Маршрут Одеса → Ворохта (нанесено на карту України)

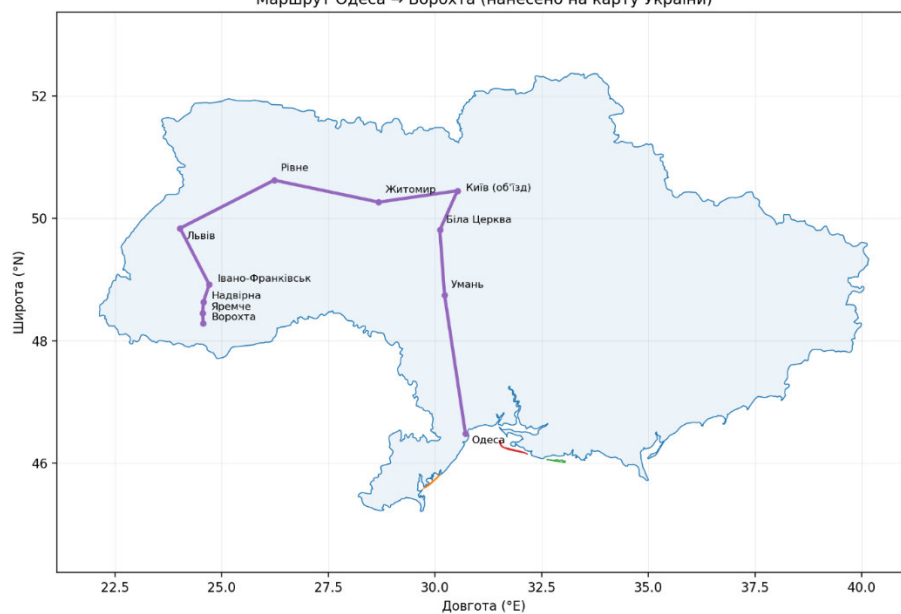


Рисунок 2.5 – Маршрут транспортування лопаті вітрогенератора на карті України

### 2.3.2 Аналіз найбільш складних ділянок маршруту

Найбільш критичними з точки зору безпеки та технічної реалізації є останні етапи маршруту (Надвірна – Яремче – Ворохта). Тут поєднуються значні поздовжні ухили, вузька проїзна частина та обмежені радіуси поворотів. На цих ділянках швидкість руху автопоїзда обмежується до 5–15 км/год, застосовується посилений супровід і за потреби виконуються тимчасові інженерні заходи з підготовки траси.

Детальна характеристика та локалізація складних ділянок маршруту перевезення негабаритного вантажу Одеса – Ворохта

При перевезенні довгомірних негабаритних вантажів визначальним чинником безпеки та технічної здійсненності є попередня локалізація та інженерний аналіз критичних точок маршруту. Для автопоїзда з транспортною довжиною до 45–50 м такими точками є не лише ділянки з обмеженою шириною або міцністю покриття, а насамперед місця, де геометрія дороги не відповідає кінематичним можливостям автопоїзда: малі радіуси поворотів, складні транспортні розв'язки, вузькі мости, повітряні інженерні мережі та щільна забудова.

Маршрут Одеса – Ворохта є показовим, оскільки включає усі типові групи ризиків: портову інфраструктуру, великі агломерації, транзитні магістралі, передгірські дороги та гірські серпантини Карпат.

#### 1. Портово-міська зона міста Одеса

Локація: м. Одеса

Орієнтовні координати ключових точок: 46.4825° N, 30.7233° E

Початкова ділянка маршруту в межах Одеси є однією з найбільш відповідальних з організаційної точки зору. Портова та промислова інфраструктура історично формувалась без урахування руху автопоїздів довжиною понад 40 м. Основну небезпеку становлять вузькі з'їзди з портових терміналів, різкі повороти між складськими будівлями та низько розташовані повітряні комунікації.

У багатьох місцях контактні мережі, кабелі зв'язку та освітлення розміщені з мінімальним запасом по висоті. Під час проходження поворотів кінцева частина лопаті може зміщуватися по вертикалі й горизонталі, що створює ризик зачеплення проводів. Саме тому для цієї ділянки обов'язковими є попередній огляд маршруту, узгодження з енергетичними службами та використання сигнальників.

## 2. Транспортні розв'язки на М-05 (Одеса – Умань)

Локації: північний виїзд з Одеси, великі розв'язки М-05  
Координати типової проблемної точки: 46.4070° N, 30.7080° E

Магістраль М-05 формально відповідає вимогам руху великовагових транспортних засобів, однак її розв'язки мають з'їзди з радіусами, розрахованими на стандартні напівпричепи. Для довгомірного автопоїзда з лопаттю критичним є не стільки сам радіус повороту, скільки комбінація повороту з поздовжнім ухилом і поперечним профілем дороги.

На деяких з'їздах можливе «зрізання» внутрішнього радіуса задньою частиною напівпричепи, тоді як передня частина тягача ще перебуває на естакаді. Це створює ризик контакту з бар'єрним огородженням або дорожніми знаками. Для таких точок необхідне повне або часткове перекриття руху та використання всієї ширини проїзної частини.

## 3. Обхід міст Умань та Біла Церква

Локації: – Умань – 48.7470° N, 30.2220° E – Біла Церква – 49.7980° N, 30.1160° E

На цих ділянках маршрут проходить поблизу міської забудови, що створює комбіновані обмеження: інтенсивний трафік, світлофорні об'єкти, рекламні конструкції та зелені насадження. Повороти на об'їзних дорогах часто мають обмежені радіуси, а додаткову складність створюють острівці безпеки та бордюри, які унеможливають маневрування.

Для довгомірного вантажу ці ділянки вимагають чіткого погодження часових «вікон» руху та залучення поліції для повної зупинки зустрічного транспорту.

#### 4. Обхід Києва та вузол М-05 – М-06

Локація: південний та західний обхід м. Київ

Координати типових критичних розв'язок: 50.3200° N, 30.4500° E

Київський транспортний вузол є одним із найскладніших на всьому маршруті. Навіть при використанні об'їзних доріг автопоїзд змушений проходити через багаторівневі розв'язки з обмеженою геометрією з'їздів. Тут особливо небезпечними є ситуації, коли кінцева частина лопаті під час повороту виходить за межі смуги руху і може перетинати зону огороження або суміжні смуги.

#### 5. Передгірська зона: Львів – Івано-Франківськ

Локації:

– Львів – 49.8390° N, 24.0290° E

– Івано-Франківськ – 48.9226° N, 24.7100° E

Після Львова маршрут поступово входить у зону передгір'я. Тут змінюється характер дороги: з'являються хвилясті ділянки, локальні звуження, забудова вздовж проїзної частини. Для довгомірного вантажу особливо небезпечними є повороти в межах населених пунктів, де ширина проїзної частини обмежена історичною забудовою.

#### 6. Гірська частина маршруту: Надвірна – Яремче – Ворохта

Ключові локації:

– Надвірна – 48.6340° N, 24.5710° E

– Яремче – 48.4510° N, 24.5560° E

– Ворохта – 48.2840° N, 24.5650° E

Ця ділянка є найбільш критичною на всьому маршруті. Основними чинниками складності є:

серпантини з дуже малими радіусами поворотів;

значні поздовжні ухили;

мости, розташовані безпосередньо після поворотів;

повітряні лінії електропередач та кабелі зв'язку, прокладені з мінімальним запасом по висоті.

У межах Яремче та Ворохти дорога часто проходить через центральну забудову, де будь-який маневр потребує зупинки руху та ручного керування траєкторією автопоїзда. На цих ділянках швидкість руху знижується до 5–10 км/год, а іноді виконуються багаторазові коригувальні маневри.

Таблиця 2.3 – Критичні локації маршруту Одеса – Ворохта (негабарит, довжина автопоїзда до 45–50 м)

№	Ділянка / населений пункт	Дорога	Орієнтовні координати	Тип обмеження	Коротка характеристика та ризики
1	Виїзд з портової зони Одеса	Міська мережа → М-05	46.4825, 30.7233	Повороти, ЛЕП, МАФ	Малі радіуси з'їздів, щільна забудова, контактні мережі; потрібен нічний проїзд і сигнальніки
2	Транспортна розв'язка Одеса – М-05	М-05	46.4070, 30.7080	Естакади	Низка з'їздів з обмеженою висотою/радіусами; контроль траєкторії кінця лопаті
3	Об'їзд Умань	М-05	48.7470, 30.2220	Розв'язки	Інтенсивний трафік, S-з'їзди; рух у погоджені «вікна»
4	Об'їзд Біла Церква	М-05	49.7980, 30.1160	Міські перехрестя	Короткі радіуси, знаки/світлофори; тимчасові демонтажі
5	Обхід Київ (південна дуга)	М-05 → М-06	50.3200, 30.4500	Естакади, потоки	Щільний рух, багаторівневі розв'язки; поліцейний супровід

№	Ділянка / населений пункт	Дорога	Орієнтовні координати	Тип обмеження	Коротка характеристика та ризику
6	Розв'язки на М-06 (район Житомир)	М-06	50.2540, 28.6580	З'їзди	Криволінійні з'їзди; контроль «зрізання» задньою частиною
7	Мости та з'їзди М-06 (підхід до Рівне)	М-06	50.6190, 26.2510	Мости	Вузька проїзна частина, відсутні узбіччя
8	Об'їзна Львів	М-06	49.8390, 24.0290	Розв'язки	Кільцеві вузли, S-повороти; нічний проїзд
9	В'їзд у передгір'я (Івано-Франківськ)	Н-09	48.9226, 24.7100	Звуження	Хвилястий профіль, забудова вздовж дороги
10	Перехід у гірські умови (Надвірна)	Н-09	48.6340, 24.5710	Серпантини	Початок крутих ухилів, малі радіуси
11	Гірські мости та повороти	Н-09 (Надвірна → Яремче)	48.5540, 24.5740	Мости, ЛЕП	Мости одразу після поворотів, ЛЕП над проїздом
12	Курортна зона Яремче	Н-09	48.4510, 24.5560	Повороти, трафік	Вузькі вулиці, пішохідні зони; обмеження часу руху
13	Фінальна гірська	Н-09	48.2840, 24.5650	Серпантини, ЛЕП	Дуже малі радіуси, низькі кабелі, мінімальна швидкість

№	Ділянка / населений пункт	Дорога	Орієнтовні координати	Тип обмеження	Коротка характеристика та ризику
	ділянка Ворохта				

Детальна локалізація та аналіз складних ділянок маршруту Одеса – Ворохта показують, що реальну складність перевезення визначає гірська частина Карпат, тоді як рівнинні магістралі створюють переважно організаційні, а не інженерні труднощі. Застосування телескопічного напівпричепа TeleMAX з керованими осями є ключовою умовою проходження критичних поворотів і серпантинів без пошкодження вантажу та дорожньої інфраструктури.

Розроблений маршрут перевезення негабаритного довгомірного вантажу за напрямком Одеса – Ворохта є технічно реалізовним за умови застосування телескопічного напівпричепа TeleMAX та виконання комплексу організаційних і безпекових заходів. Запропонована схема дозволяє продемонструвати в дипломній роботі повний цикл організації перевезення негабаритного вантажу - від південного портового вузла до складних гірських умов Карпатського регіону.

#### **2.4 Кінематичний аналіз swept path (низькошвидкісна траєкторія/габаритний коридор) для характерних “критичних” поворотів на ділянці Яремче – Микуличин – Татарів – Ворохта (дорога Н-09)**

Прийняті припущення (для дипломного swept-path аналізу)

Щоб виконати swept path без CAD-пакетів (AutoTURN/Vehicle Tracking) і без польового обміру, використовують стандартний підхід “steady-state low-speed turn” для автопоїзда з шарнірним зчленуванням (тягач + напівпричіп). Для TeleMAX важливо, що телескопія змінює розміщення опор під вантаж, але

геометрія слідування визначається насамперед кінематикою тягача і візка(ів) осей напівпричепа; тому для swept path беремо репрезентативну конфігурацію.

Прийнята модель автопоїзда (типова для перевезення довгомірних негабаритів):

- тягучий автомобіль (6×4) з відстанню від передньої осі до шкворня (п'ятого колеса)  $L_f = 3,5$  м (типове значення для сідельного тягача в налаштуваннях під спецнапівпричепа);

- напівпричіп TeleMAX з відстанню від шкворня до центру групи осей  $L_{tr} = 12,0$  м (репрезентативно для 3–4-вісного телескопічного напівпричепа у “робочій” конфігурації для 35-метрової лопаті);

- габаритна ширина автопоїзда (по дзеркалах не беремо, беремо по кузову/платформі)  $B = 2,55$  м, тобто напівширина  $b = 1,275$  м;

- винос переднього габариту тягача відносно передньої осі (передній звів) прийнято  $f_o = 1,2$  м (для оцінки зовнішнього swept-радіуса).

Повороти Н-09 у Карпатській долині Прута часто мають дуже різну геометрію. Щоб прив'язатися до “реальних” умов без польових вимірів, я розглядаю три розрахункові режими повороту за радіусом траєкторії передньої осі тягача  $R_f$ :

- порівняно “м'який” поворот  $R_f \approx 22$  м;

- типовий “складний” поворот  $R_f \approx 18–20$  м;

- “дуже складний” поворот (серпантин/стиснена забудова)  $R_f \approx 15–16$  м.

Ці три режими дають зрозумілий для диплома висновок: як швидко росте внутрішнє зміщення (offtracking) і яку мінімальну ширину коридору треба забезпечити.

Коротко про те, що саме рахується в swept path

У низькошвидкісному сталому повороті (5–15 км/год) критичним є внутрішнє зміщення напівпричепа відносно траєкторії тягача. Саме воно “зрізає” поворот і створює ризик наїзду на бордюр, узбіччя, огороження або виходу коліс у кювет.

У спрощеній інженерній моделі:

радіус траєкторії шкворня ( $R_k$ ) залежить від  $R_f$  і  $L_f$ ; радіус траєкторії групи осей напівпричепа ( $R_{ta}$ ) залежить від  $R_k$  і  $L_{tr}$ ; offtracking оцінюється як  $(R_f - R_{ta})$  для колісної траєкторії; необхідна ширина swept-коридору оцінюється як різниця між зовнішнім габаритним радіусом (передній зовнішній кут тягача) і внутрішнім габаритним радіусом (внутрішня кромка напівпричепа).

Таблиця 2.4 – Зміна внутрішнього радіуса (offtracking) та мінімальної необхідної ширина swept-коридору для трьох характерних радіусів.

Розрахунковий радіус траєкторії передньої осі тягача $R_f$ , м	Внутрішнє зміщення (offtracking) $R_f - R_{ta}$ , м	Мінімальна потрібна ширина swept-коридору, м
22	3,23	6,98
20	3,62	7,37
18	4,13	7,88
16	4,85	8,60
15	5,34	9,09

Інтерпретація для дороги Н-09 у Карпатах проста: якщо фактична корисна ширина проїзної частини в стиснених місцях становить близько 6,0–7,0 м (що типово для гірських селищ із бордюрами, огороженнями та мінімальними узбіччями), то для поворотів рівня  $R_f \approx 18-20$  м і менше автопоїзду з лопаттю практично гарантовано потрібні перекриття зустрічної смуги, заїзд на “вільний” узбічний резерв або тимчасове розширення/зняття перешкод.

Оскільки “поворот” у логістиці негабариту - це не точка, а зона (вхід у поворот, апекс, вихід), нижче наведено реперні місця, які легко ідентифікувати під час рекогностування маршруту. Для кожного місця я даю координати, розпізнавальні ознаки, а також сценарій swept-path (який з трьох радіусів доцільно брати як розрахунковий).

Контрольна зона А: підхід до Микуличина (звуження, забудова, повітряні перешкоди)

Реперний населений пункт: Микуличин

Координати репера: 48.39546, 24.59822

Транспортна логіка складності тут пов'язана не з “одним ідеальним серпантином”, а з тим, що Н-09 у межах долини має багато локальних кривих у поєднанні з забудовою вздовж дороги, зупинками, стовпами, поперечними в'їздами у двори. Для лопаті 35 м небезпечно те, що при проходженні кривої кінцева частина лопаті дає великий бічний винос і може заходити в зону знаків/кабелів. У дипломному swept-path розрахунку доцільно приймати сценарій  $R_f \approx 18\text{--}20$  м, бо саме такі криві найчастіше викликають потребу “зайняти” зустрічну смугу без повної зупинки руху на тривалий час.

Проектний висновок по swept path для цієї зони: потрібний коридор  $\approx 7,4\text{--}7,9$  м, внутрішній “зріз” коліс напівпричепа  $\approx 3,6\text{--}4,1$  м, що пояснює, чому навіть при формально “нормальній” ширині дороги часто потрібен супровід і тимчасова організація реверсу.

Контрольна зона В: Татарів (передгірська ділянка з локальними різкими поворотами і перетином місцевих під'їздів)

Реперний населений пункт: Татарів

Координати репера: 48.3424531, 24.5753745

Ця зона в практиці перевезень часто є проблемною через поєднання гірського профілю та “селищного” характеру дороги: місцеві повороти, з'їзди до об'єктів інфраструктури, зупинки, паркування вздовж дороги. Для swept-path аналізу Татарів доцільно розглядати два підсценарії.

Підсценарій В1: поворот середньої складності з можливістю зайняти зустрічну смугу, тоді  $R_f \approx 20\text{--}22$  м, потрібний коридор  $\approx 7,0\text{--}7,4$  м, внутрішній зріз  $\approx 3,2\text{--}3,6$  м.

Підсценарій В2: стиснений поворот у забудові або в зоні з огороженням/містком, тоді  $R_f \approx 16\text{--}18$  м, потрібний коридор  $\approx 7,9\text{--}8,6$  м,

внутрішній зріз  $\approx 4,1-4,9$  м. Саме В2 зазвичай змушує робити короткі зупинки й корекцію траєкторії “по сантиметрах”.

Контрольна зона С: Ворохта (в’їзд/проходження біля віадуків як впізнаваного інфраструктурного орієнтира)

Реперний об’єкт: кам’яний залізничний віадук у Ворохті (зручний маркер місцевості для рекогностування)

Координати віадуків: 48.284832, 24.542748

Чому ця зона критична саме для swept path. Ворохта - це гірський населений пункт із ділянками, де дорога має обмежену ширину, а маневр “довгого” автопоїзда ускладнюють огороження, стовпи, локальні мости через Прут/притоки, а також щільна придорожня забудова. В таких умовах геометрія поворотів може наближатися до  $R_f \approx 15-16$  м, тобто до рівня, на якому потрібний swept-коридор уже становить  $\approx 8,6-9,1$  м.

Проектний висновок: якщо фактична ширина проїзної частини в конкретному місці менша за 8 м, то без тимчасового “розкриття” траєкторії (зайняття зустрічної смуги, частковий заїзд на узбіччя, короткочасне перекриття) проїзд автопоїзда з лопаттю 35 м буде або неможливим, або потребуватиме дуже ризикованих маневрів із високою ймовірністю зачеплення огорожень/знаків.

Таблиця 2.5 – Підсумкова таблиця swept-path рішень для трьох контрольних зон

Конт - роль на зона	Репер (населений пункт/об’єкт)	Координати репера	Рекомендований розрахунковий сценарій $R_f$	Оцінка потрібного swept- коридору	Очікувані організаційні рішення
А	Микуличин	48.39546, 24.59822	18–20 м	7,4–7,9 м	перекриття зустрічної

Конт - роль на зона	Репер (населени й пункт/об' єкт)	Координати репера	Рекомендов аний розрахунков ий сценарій Rf	Оцінка потрібно ого sweet- коридор у	Очікувані організаційні рішення
		(maps.dokladno. com)			смуги, сигнальніки, контроль повітряних перешкод
В	Татарів	48.3424531, 24.5753745 (vg.2markers.co m)	16–20 м (залежно від місця)	7,4–8,6 м	короткі зупинки, “розкриття” траєкторії, тимчасове прибирання знаків/паркув ання
С	Ворохта (віадук як маркер)	48.2971558, 24.5660198 (Travels in Ukraine)	15–16 м	8,6–9,1 м	повне блокування зустрічного руху на час маневру, дуже низька швидкість, можливі локальні

Конт - роль на зона	Репер (населени й пункт/об' єкт)	Координати репера	Рекомендов аний розрахунков ий сценарій Rf	Оцінка потрібно ого swept- коридор у	Очікувані організаційні рішення
					роботи з узбіччям

## 2.5 Орієнтовний графік руху та тривалість перевезення по етапах

Нижче подано орієнтовний графік руху (тайм-план) і тривалість перевезення по етапах для автопоїзда з довгомірною лопаттю Vestas V66 (~35 м) на маршруті Одеса – Ворохта. Це проектний графік для дипломної роботи, тобто з реалістичними швидкостями, технічними зупинками, “вікнами” проходження міст і резервами на маневри. Фактичні години заїзду/проїзду через населені пункти в реальному перевезенні обов’язково узгоджуються з дозволами, супроводом і локальними обмеженнями.

У вихідних припущеннях приймається, що автопоїзд рухається як негабарит: на магістралях використовується помірна швидкість, у населених пунктах і на складних розв’язках рух здійснюється у “вікна” з супроводом, а карпатська ділянка проходиться зі значним зниженням швидкості та додатковими зупинками для контролю траєкторії. Для оцінки відстаней використані типові дорожні плечі між ключовими вузлами; у дипломі їх можна уточнювати за обраним конкретним треком.

Середня швидкість на магістральних ділянках М-05/М-06 приймається на рівні 45–55 км/год (з урахуванням обмежень, супроводу та необхідності тримати стабільний режим без різких маневрів). На передгірських дорогах Н-09 середня швидкість знижується до 35–45 км/год. На карпатській гірській ділянці Надвірна – Яремче – Ворохта приймається 15–25 км/год, а в критичних точках 5–10 км/год

з короткими зупинками. Окремо закладається технологічний час на передрейсовий огляд кріплення, періодичні підтяжки/контроль ременів, дозаправку, а також на узгоджувальні паузи при вході в міські “вікна”.

Таблиця 2.6 – Орієнтовна тривалість перевезення по етапах (Одеса – Ворохта)

Етап маршруту	Вузли/населені пункти	Дороги	Орієнтовна відстань, км	Розрахункова середня швидкість, км/год	Чистий час руху, год	Організаційні паузи (контроль/супровід), год	Орієнтовний час етапу, год
1	2	3	4	5	6	7	8
Підготовка та старт	Одеса (порт/склад)	міська мережа	10–20	10–15	1,0–1,5	1,0–1,5	2,0–3,0
Етап 1	Одеса – Умань	М-05	260–280	50–55	5,0–5,5	0,5–0,8	5,5–6,3
Етап 2	Умань – Біла Церква	М-05	150–170	50–55	2,8–3,3	0,4–0,6	3,2–3,9
Етап 3	Біла Церква – обхід Києва – вихід на М-06	М-05/М-06	60–90	30–40	1,8–2,5	0,8–1,5	2,6–4,0
Етап 4	Київський вузол – Житомир	М-06	130–150	45–50	2,8–3,3	0,4–0,6	3,2–3,9
Етап 5	Житомир – Рівне	М-06	180–200	50–55	3,3–3,9	0,4–0,6	3,7–4,5

Етап маршруту	Вузли/населені пункти	Дороги	Орієнтовна відстань, км	Розрахункова середня швидкість, км/год	Числий час руху, год	Організаційні паузи (контроль/супровід), год	Орієнтовний час етапу, год
1	2	3	4	5	6	7	8
Етап 6	Рівне – Львів (об'їзд)	М-06	210–230	50–55	3,8–4,4	0,5–0,8	4,3–5,2
Нічна стоянка/відпочинок	Район Львова або після Львова	-	-	-	-	8,0–10,0	8,0–10,0
Етап 7	Львів – Івано-Франківськ	Н-09 (через обхідні/під'їзди)	130–150	40–45	3,0–3,7	0,4–0,8	3,4–4,5
Етап 8	Івано-Франківськ – Надвірна	Н-09	35–45	35–40	1,0–1,3	0,2–0,4	1,2–1,7
Етап 9	Надвірна – Яремче	Н-09	30–40	25–35	1,0–1,6	0,5–1,0	1,8–2,6
Етап 10	Яремче – Ворохта	Н-09	25–35	15–25	1,2–2,0	0,6–1,2	2,0–3,2
Фінішні операції	Ворохта (в'їзд/розвантаження або парковка)	місцева мережа	2–8	5–10	0,4–1,0	0,8–1,5	1,2–2,5

Підсумок по часу. У консервативному плані загальна тривалість з однією нічною стоянкою становить орієнтовно 34–44 години календарного часу, з яких чистий час руху зазвичай 28–33 години, а решта - технологічні зупинки, “вікна”, контроль кріплення і проходження критичних місць. Якщо планувати дві коротші стоянки (через обмеження руху негабариту або погодні фактори), загальний календарний час може зрости до 48–60 годин.

#### Орієнтовний календарний графік у форматі “День 1 – День 2”

Нижче подано один із найбільш типових сценаріїв, коли основний магістральний хід виконується в перший день, а карпатська ділянка - у другий, щоб пройти гори у світлий час або в найменш завантажені “вікна” (залежно від обмежень).

#### День 1. Одеса → район Львова

Початок робіт доцільно закладати з раннього часу, щоб виїзд із Одеси й основні розв’язки пройти до пікових навантажень або у погоджене “нічне/ранкове” вікно. Після виходу на М-05 автопоїзд рухається рівнинним коридором до Умані та Білої Церкви. Найбільш “часоємною” подією дня є обхід київського вузла, де з’їзди й транспортні потоки часто вимагають узгодженої паузи та поліцейного супроводу. Далі по М-06 здійснюється транзит до Рівного та Львова з періодичними короткими зупинками на контроль кріплення. Нічну стоянку доцільно планувати в районі Львова або відразу після нього на охоронюваному майданчику з можливістю огляду вантажу.

#### День 2. Львів → Івано-Франківськ → Надвірна → Яремче → Ворохта

Другий день логічно починати з передгірської частини Н-09, де середня швидкість нижча, а ризик локальних обмежень вищий. Після Івано-Франківська починається зона переходу до гір: Надвірна, далі долина та криві з поступовим наростанням складності. На етапах Надвірна – Яремче – Ворохта час руху визначається не відстанню, а кількістю критичних маневрів: повороти малого радіуса, мости зі звуженнями, повітряні мережі та щільна забудова в межах курортних селищ. На завершальній ділянці зазвичай закладається найбільший

резерв часу - для пропуску зустрічного руху, коригування траєкторії й контрольних зупинок.

Контроль кріплення і стану вантажу має виконуватись перед стартом, після виходу з міста, далі через кожні 80–120 км на магістралях та додатково перед входом у гірську ділянку (район Надвірної) і після проходження кожної “критичної” серії поворотів/мостів. Окремий часовий резерв закладається на проїзд місць, де необхідне перекриття зустрічного руху або маневр “у два прийоми”. У практиці перевезень саме ці резерви часто визначають реальну тривалість більше, ніж чистий “дорожній” час.

## **2.6 Кріплення лопаті вітрогенератора Vestas V66 на платформі Faumonville TeleMAX**

Перевезення лопатей вітрогенераторів автомобільним транспортом належить до категорії негабаритних перевезень із підвищеними вимогами до стійкості вантажу, оскільки лопать є довгомірним, порівняно гнучким виробом із композитних матеріалів, чутливим до локальних стискальних напружень, ударних навантажень і абразивного пошкодження поверхні. Для лопаті типорозміру Vestas V66 характерним є діаметр ротора 66 м, що визначає порядок довжини однієї лопаті понад 30 м, а маса однієї лопаті для модифікацій сімейства V66 (зокрема V66-2.0) становить близько 3,8 т. (thewindpower.net) Саме поєднання великої довжини та відносно невеликої маси зумовлює домінування не стільки статичних, скільки динамічних і вітрових впливів, а також ризик коливань і мікропереміщень у місцях контакту з опорами та стяжними елементами.

Платформа Faumonville TeleMAX конструктивно придатна для таких перевезень завдяки телескопічно подовжуваній вантажній площині (до чотириразового висування), високій крутильній жорсткості за рахунок центральної балки (ZT) і можливості адаптації довжини під конкретний вантаж. (Faumonville) Додатково важливим є те, що дерев'яне покриття платформи дає

певний амортизувальний ефект і має орієнтовний коефіцієнт ковзного тертя близько  $\mu \approx 0,2$ , що враховується під час вибору схеми кріплення та розрахунку необхідних утримувальних зусиль.

#### Вихідні принципи фіксації лопаті на TeleMAX

Мета кріплення полягає не лише у «утриманні від зсуву», а у комплексному забезпеченні просторової стабільності лопаті відносно платформи, недопущенні пошкоджень композитної оболонки та вузлів кореня, а також у збереженні геометрії виробу на всій довжині під час руху по нерівностях. На відміну від металевих довгомірів, лопать має змінний переріз, аеродинамічний профіль і відносно тонку оболонку, тому неприпустимими є контакти зі «жорсткими» ребрами, вузькими ланцюгами, кутниками без прокладок або стяжками, що створюють концентроване стискання.

Практично коректна концепція кріплення включає опорну систему з кількох ложементів (сідел), які сприймають вагу та обмежують поперечні переміщення, і стяжну систему (стяжні реміні/стропи/ланцюги), яка забезпечує утримання від поздовжнього зсуву та підйому, а також гасить тенденцію до розгойдування. Важливо, щоб опори працювали як «підтримка форми», а стяжки як «утримання від інерційних переміщень», при цьому стяжні елементи не повинні перетворюватися на головний шлях передачі ваги лопаті, бо це провокує локальні деформації.



a)



b)



в)

Рисунок 2.6 –Варіанти кріплення лопаті вітрогенератора Vestas V66 на платформі Faymonville TeleMAX:

а – кріплення на спецпристрої; б – кріплення на відкритій фермі;

в – кріплення на закритій фермі

Для TeleMAX доцільно застосовувати щонайменше дві основні опори: кореневу опору під зоною біля кореня (де переріз товстіший і конструктивно міцніший) та проміжну опору під середньою частиною. За необхідності додають третю, допоміжну опору ближче до тоншої частини, однак місце її встановлення обирають так, щоб уникнути опирання на ділянки з мінімальною товщиною оболонки або поблизу кромки профілю. Кожен ложемент виконується з регульованою геометрією, щоб забезпечити рівномірну опору на достатній площі контакту, а поверхні контакту облицьовуються еластомерними прокладками, дерев'яними вставками з гумовою накладкою або іншими матеріалами з високою демпфувальною здатністю та безпечним коефіцієнтом тертя.

Критичним є контроль контактного тиску. Конструкція ложемента повинна «розмазувати» навантаження по площі, а не створювати лінійний

контакт. В ідеалі опора повторює профіль у поперечному перерізі й має бортові елементи, які обмежують поперечний зсув, але не «врізаються» в оболонку. У місцях проходження стяжних ременів застосовують захист кромок і поверхні, щоб ремінь не перетирав лаковий шар і не формував гострий радіус перегину.

Окремо розглядають кореневу зону, оскільки саме там розташовані монтажні елементи (болтове коло/кореневий фланець). Корінь зручно використовувати як «керовану» точку фіксації, але жорстке затискання через метал по композиту неприпустиме. Тому застосовують перехідні траверси, адаптери або м'які стропи з прокладками, що взаємодіють із кореневим вузлом через штатні конструктивні місця, які допускають підйом і кріплення.

Розміщення лопаті на платформі та забезпечення допустимого розподілу мас

Оскільки центр мас лопаті зміщений до кореня, раціональним є розміщення кореневої опори ближче до осьових груп напівпричепа для формування допустимих навантажень на осі та сідельно-зчипний пристрій тягача. Подовжена платформа TeleMAX дозволяє підібрати положення проміжної опори і загальну довжину висування під фактичну довжину лопаті так, щоб мінімізувати звиси та знизити динамічні моменти від «підкидання» на нерівностях. Конструктивна крутильна жорсткість центральної балки (ZT) є суттєвою перевагою, бо зменшує відносні перекоси опор при проходженні діагональних нерівностей, а отже знижує ризик скручування лопаті та появи тертя у ложементях. (Faymonville)

Схема стяжних елементів та логіка утримання від зсувів

Під час руху основними є інерційні дії при гальмуванні, розгоні та бокових маневрах. Тому система кріплення має забезпечити утримання від поздовжнього зсуву вперед/назад, від поперечного зсуву вліво/вправо, а також від підйому та розгойдування. Для довгомірних вантажів перевагу віддають прямому (діагональному) кріпленню, коли стяжні елементи працюють як «зв'язки» між вантажем і штатними точками кріплення платформи, а не лише як верхні притискні ремені. Діагональні стяжки є ефективнішими проти зсуву, але їх треба

проекувати з урахуванням кутів і допустимих навантажень (LC) ременів/ланцюгів, а також із захистом композитної поверхні в місці контакту. Підходи до розрахунку таких кріплень та роль кутів наведені в настановах із закріплення вантажів, що узгоджуються з EN 12195-1, де підкреслюється необхідність враховувати кут, тертя і характеристику стяжного засобу.

Для стабілізації лопаті на ложементях часто застосовують комбіновану схему: в зоні ложементів використовують «притискні» ремені з широкою стрічкою, які формують достатнє нормальне зусилля для підвищення тертя і запобігання мікропереміщенням, а в зоні кореня та/або біля проміжної опори додають діагональні елементи, що приймають поздовжні та поперечні компоненти інерційних сил. При цьому кут до поверхні платформи є принциповим: при малих кутах ефективність притискання і утримувальних сил погіршується, що прямо підкреслюється у практичних керівництвах із вантажозакріплення. (Forankra Brand Portal)

Важливо також контролювати крутий ступінь свободи лопаті. Аеродинамічний профіль при боковому вітрі може створювати момент, що прагне повернути лопать навколо поздовжньої осі. Тому ложементи доцільно виконувати з бічними упорами або формоутворюючими вставками, які перешкоджають провороту без жорсткого «заклинювання», а стяжні елементи розташовувати симетрично, щоб не вводити небажаних скручувальних напружень у композит.

Розрахункове обґрунтування необхідних утримувальних зусиль

Розрахунок кріплення у дипломній роботі доцільно виконувати за логікою EN 12195-1, використовуючи інерційні навантаження як добуток маси вантажу на прискорення ( $F = m \cdot a$ ), де «а» задається нормативними коефіцієнтами для поздовжнього та поперечного напрямків руху. У загальному вигляді потрібна утримувальна сила в кожному напрямку визначається як різниця між інерційною дією та «допоміжним» утриманням за рахунок тертя на опорах:  $F_{\text{потр}} \approx m \cdot a - \mu \cdot m \cdot g$ , де  $\mu$  беруть з урахуванням пари матеріалів і фактичного стану поверхонь. Для TeleMAX важливо, що дерев'яне покриття платформи має орієнтовно  $\mu \approx 0,2$ ,

але у випадку композитних виробів і прокладок фактичне тертя може суттєво відрізнятись, тому в розрахунках приймають консервативні значення та закладають запас.

Після визначення  $F_{\text{потр}}$  обирають тип і кількість стяжних елементів, виходячи з їхньої здатності створити утримувальну складову у відповідному напрямку. Для діагональних стяжок вирішальними стають кути встановлення і паспортна вантажоздатність LC; у керівництвах із безпечного закріплення вантажів наголошується, що діагональне кріплення повинно оцінюватися з урахуванням кута, тертя і LC, як того вимагає EN 12195-1. В межах дипломного розрахунку доцільно показати, що при збільшенні вертикального кута стяжки та при наближенні до симетричної схеми з двох боків зростає корисна утримувальна компонента, тоді як занадто «пласкі» ремені дають малу ефективність і потребують більшої кількості стяжок або інших методів фіксації.

Окремим пунктом обґрунтовується перевірка на перекидання/розгойдування у поперечному напрямку, що актуально для довгих профільних вантажів. Для цього порівнюють момент від поперечної інерційної сили та/або бокового вітру з моментом стабілізації від ваги, геометрії опор і стяжних елементів. У тексті роботи важливо підкреслити, що задача тут полягає не у «силовому притисканні», а у забезпеченні достатньої ширини бази опори, адекватного бічного обмеження в ложементях та симетричного стягування.

#### Технологія виконання кріплення та контроль у рейсі

Технологічно процес починається з підготовки платформи: перевіряють справність і сертифікованість точок кріплення, стан настилу, відсутність виступаючих елементів, які можуть пошкодити композит, і правильність фіксації телескопічних секцій платформи. Далі виконують установку ложементів із регулюванням по висоті та куту так, щоб лопать лежала без перекосів, а контакт був рівномірним по площі. Після посадки лопаті на опори стяжні ремені монтують у послідовності, яка не викликає скручування або «підтягування» кромки: спочатку задають базову стабілізацію в ложементях, потім формують діагональні утримувальні зв'язки, і лише після цього виконують контрольне

натягування з урахуванням захисту кромок і поверхні. Практичні керівництва рекомендують приділяти увагу кутам кріплення та правильному натягуванню, оскільки це прямо впливає на ефективність утримання. (Forankra Brand Portal)

У рейсі ключовим є контроль осідання й перерозподілу натягу. Текстильні ремені та прокладки можуть «сісти» на перших кілометрах, тому після короткого контрольного пробігу виконують повторну перевірку натягу, а надалі контролюють стан кріплення на регламентних зупинках. Додатково враховують погодні умови: при поривчастому боковому вітрі аеродинамічний профіль лопаті може створювати додаткові навантаження, і тоді рішенням є не «перетягування ременів», а обмеження швидкості, корекція маршруту, підвищення частоти контролю та, за потреби, тимчасова зупинка руху.

Кріплення лопаті Vestas V66 на платформі Faymonville TeleMAX доцільно розглядати як систему «опори + утримувальні зв'язки», де ложементи забезпечують безпечний контакт із композитом і геометричну стабільність, а стяжні елементи відповідають за сприйняття інерційних впливів у поздовжньому та поперечному напрямках. Конструктивні особливості TeleMAX, зокрема подовжена вантажна платформа та підвищена крутильна жорсткість центральної балки, створюють передумови для раціонального розміщення опор і зменшення перекосів у русі, а параметри тертя настилу й вимоги до розрахунку стяжок повинні враховуватися у відповідності до підходів EN 12195-1 і профільних настанов із вантажозакріплення. (Faymonville)

### **Розрахунок схеми та параметрів кріплення лопаті Vestas V66 на Faymonville TeleMAX за методикою EN 12195-1**

Розрахунок кріплення доцільно виконувати за логікою EN 12195-1, тобто порівнювати інерційні навантаження в характерних напрямках руху з утримувальною здатністю, яку забезпечують тертя в опорах та стяжні елементи (притискні й діагональні). Для лопаті Vestas V66 в подальших обчисленнях приймаємо довідкові геометрично-масові параметри: довжина лопаті близько 32

м і маса однієї лопаті близько 3,8 т (для сімейства V66). (vestas.com) Потрібно підкреслити, що для реального рейсу в дипломному проєкті ці значення слід замінити на паспортні дані конкретної лопаті (бо маса залежить від модифікації та комплектації), але методика розрахунку не змінюється.

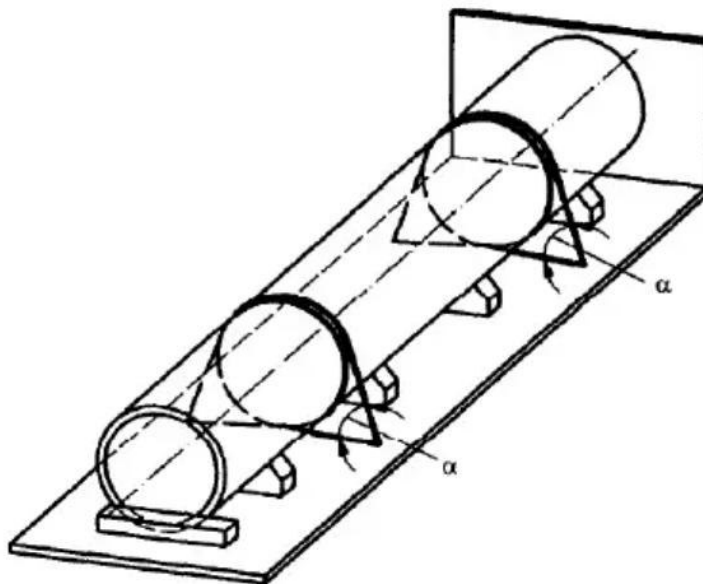


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема кріплення лопаті вітрогенератора у відповідності до методики кріплення вантажів EN 12195-1

Як контактну пару «настил платформи TeleMAX – вантаж/прокладки» для консервативної оцінки приймаємо коефіцієнт ковзного тертя  $\mu = 0,2$ , що характерно для дерев'яного настилу Faumonville (hardwood covering) і прямо наведено виробником як середнє значення. Умови руху приймаємо відповідно до загальноприйнятих коефіцієнтів прискорень EN 12195-1 / європейських настанов: для поздовжнього напрямку вперед (гальмування) ( $c_x=0,8$ ), у поперечному напрямку ( $c_y=0,5$ ), у поздовжньому напрямку назад ( $c_{x,back}=0,5$ ). Для вертикального коефіцієнта беруть ( $c_z=1,0$ ). Додатково враховують коефіцієнти запасу (safety factor) ( $f_s=1,25$ ) для руху вперед і ( $f_s=1,1$ ) для поперечного та зворотного напрямків.

Узагальнена вимога до утримувальної сили від засобів кріплення в кожному напрямку може бути представлена в такому вигляді:

$$F_{req} = f_s mg (c - \mu c_z), \quad (2.4)$$

де  $m$  – маса вантажу, ( $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>),

$c$  – відповідний коефіцієнт прискорення, а ( $\mu c_z$ ) – частка, яку «покриває» тертя між вантажем (через ложементи/прокладки) та настилом. Такий запис відповідає змісту розрахункового підходу в європейських керівництвах із прикладами застосування EN 12195-1 (в них явно задаються ( $c_{x,y}$ ), ( $c_z$ ), ( $f_s$ ), ( $\mu$ ) і виконується оцінка проти ковзання).

Підставляємо числові значення для лопаті масою ( $m = 3,8$  т = 3800 кг). Спершу знайдемо вагу: ( $m g = 3800 \cdot 9,81 = 37278$  Н  $\approx 37,28$  кН). Далі визначаємо дефіцит утримання в кожному напрямку після врахування тертя (при ( $\mu = 0,2$ ), ( $c_z = 1,0$ )).

Для напрямку вперед (гальмування):

$$F_{req,forward} = 1,25 \cdot 37,28 \cdot (0,8 - 0,2) = 1,25 \cdot 37,28 \cdot 0,6 \approx 27,96 \text{ кН.}$$

Для напрямку назад (розгін):

$$F_{req,back} = 1,1 \cdot 37,28 \cdot (0,5 - 0,2) = 1,1 \cdot 37,28 \cdot 0,3 \approx 12,30 \text{ кН.}$$

Для поперечного напрямку:

$$F_{req,side} = 1,1 \cdot 37,28 \cdot (0,5 - 0,2) \approx 12,30 \text{ кН.}$$

Отримані значення означають, що навіть за наявності тертя від опорних ложементів і прокладок, кріплення має «додати» близько 28 кН утримання у напрямку вперед (це найкритичніший випадок), а також близько 12 кН у напрямку назад і вбік.

Далі принципово важливо показати, чому для лопаті нераціонально покладатися лише на притискні (top-over) ремені. Притискне кріплення утримує вантаж від ковзання переважно через збільшення нормальної сили і, відповідно, сили тертя. У розрахункових прикладах EN 12195-1 (як подані в європейських настановах) прямо використовується параметр попереднього натягу  $F_T$  (часто ототожнюваний зі  $STF$  – Standard Tension Force) та кут  $\alpha$  між ременем і платформою, які формують додаткову вертикальну складову й дають приріст тертя. Якщо прийняти типову  $STF$  для ременя з храповиком порядку 500 даН = 5 кН (такі значення також фігурують у прикладах), і навіть за сприятливого кута  $\alpha$

$\approx 75^\circ$  (тобто  $\sin \alpha \approx 0,97$ , один притискний ремінь створює додатковий «притиск» приблизно  $2 \cdot F_T \cdot \sin \alpha \approx 2 \cdot 50,97 \approx 9,7$  кН, що дає приріст тертя лише  $\mu \cdot 9,7 \approx 0,2 \cdot 9,7 \approx 1,9$  кН у потрібному напрямку. Щоб «закрити» найгірший випадок  $F_{req,forward} = 28$  кН тільки притискними ременями, знадобився б порядок величини близько 15 таких ременів, що є технічно й експлуатаційно невиправданим, а для композитної лопаті ще й небезпечним через ризик локального стискання оболонки. Це підводить до висновку, що базову роботу проти ковзання повинні виконувати діагональні (direct / spring) стяжки, а притискні ремені доречні як допоміжні елементи для «посадки» в ложементх і демпфування мікрорухів.

Для діагональних стяжок розрахунок зручно виконувати через проєкції зусилля стяжки на необхідні напрями з урахуванням кутів. У прикладах EN 12195-1 для «spring lashing» (діагональної/похилого типу) застосовують характеристику міцності на розрив/утримання  $F_R$ , яку на практиці пов'язують із LC (Lashing Capacity), та вводять коефіцієнт  $f_m$  у прикладі настанов наведено  $f_m = 0,75$ . Тому для консервативної оцінки приймемо, що розрахункова утримувальна здатність однієї стяжки

$$F_R = f_m \cdot LC. \quad (2.5)$$

Надалі розглянемо поширений і реалістичний варіант застосування двох пар важких ременів або ланцюгів із  $LC = 5000$  даН = 50 кН кожний, а тоді  $F_R = 0,75 \cdot 50 = 37,5$  кН на один елемент.

Геометрію стяжки задають вертикальним кутом  $\alpha$  (між стяжкою і платформою) та горизонтальним кутом  $\beta$  (між проєкцією стяжки на платформу і поздовжньою віссю). Для практично здійсненого монтажу на низькорамній платформі часто отримують  $\alpha$  близько  $40\text{--}55^\circ$  і  $\beta$  близько  $20\text{--}35^\circ$ . У підрозділі приймемо прикладові (але реалістичні) значення  $\alpha = 45^\circ$  та  $\beta = 30^\circ$ , які легко контролюються при компонованні точок кріплення на TeleMAX.

Утримання стяжки у напрямку вперед складається з прямої поздовжньої проєкції зусилля та додаткового внеску через збільшення тертя від вертикальної складової (логіка цього внеску також відображена у формулах для «spring

lashing» у прикладах EN 12195-1, де присутні члени із  $\mu$  та  $\sin\alpha$ . Для інженерної оцінки можна записати:

$$F_{cap,forward} \approx F_R \cos \alpha \cos \beta + \mu F_R \sin \alpha. \quad (2.6)$$

Підставляємо  $\cos 45^\circ=0,707$ ,  $\cos 30^\circ=0,866$ ,  $\sin 45^\circ=0,707$ :

$$F_{cap,forward} \approx 37,5 \cdot 0,707 \cdot 0,866 + 0,2 \cdot 37,5 \cdot 0,707 \approx 22,96 + 5,30 \approx 28,26 \text{ кН.}$$

Отже, навіть одна така діагональна стяжка при заданих кутах дає утримання порядку 28 кН у напрямку вперед, тобто на рівні розрахункової потреби  $F_{req,side}=27,96$  кН. Проте в реальному проєкті неприпустимо закладатися на одиничний елемент через вимоги резервування та неминучі відхилення кутів/тертя/осідання натягу, тому конструктивно обґрунтованим є застосування щонайменше двох симетричних діагональних стяжок, спрямованих уперед (по одній з кожного борту). Тоді сумарна здатність у напрямку вперед становитиме приблизно  $2 \cdot 28,26 = 56,5$  кН, що дає двократний запас відносно потреби, а це важливо саме для довгомірної лопаті, де можливі додаткові динамічні ефекти й вітрові моменти.

Аналогічно оцінюється утримання в напрямку назад і в поперечному напрямку. Якщо застосувати пару діагональних стяжок, спрямованих назад, то вони так само забезпечать запас проти зсуву при розгоні, адже потрібна сила там істотно менша:  $F_{req,side}=12,3$  кН. Для поперечного напрямку (за рахунок горизонтальної поперечної компоненти) для однієї діагональної стяжки можна записати:

$$F_{cap,side} \approx F_R \cos \alpha \sin \beta + \mu F_R \sin \alpha. \quad (2.7)$$

При  $\sin 30^\circ=0,5$ :

$$F_{cap,side} \approx 37,5 \cdot 0,707 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 37,5 \cdot 0,707 \approx 13,26 + 5,30 \approx 18,56 \text{ кН.}$$

Це суттєво більше за  $F_{req,side}=12,3$  кН. Коли стяжки виконані симетрично з лівого та правого боків, система отримує запас утримання як для зсуву ліворуч, так і праворуч (бо в кожному випадку «працюватиме» та стяжка, яка натягується при спробі ковзання у відповідний бік). Саме симетричність тут критична, щоб не створювати зайвих скручувальних моментів у композиті лопаті.

На основі наведених обчислень у дипломному проєкті можна обґрунтувати таку розрахункову конфігурацію: базове протиковзне утримання забезпечується чотирма діагональними стяжками з розрахунковою здатністю кожної на рівні  $F_R = 37,5$  кН тобто, наприклад, LC=50 кН при  $f_m=0,75$ , з геометрією монтажу орієнтовно  $\alpha=45^\circ$ ,  $\beta=30^\circ$ . Дві стяжки орієнтуються на сприйняття поздовжнього навантаження вперед (гальмування), а дві – на сприйняття поздовжнього навантаження назад (розгін), при цьому точки кріплення на платформі та на адаптерах/траверсах лопаті підбираються так, щоб стяжки не контактували з кромками профілю та не створювали лінійного стискання оболонки. Притискні реміні із STF порядку 5 кН доцільно вводити не як «головний силовий елемент», а як допоміжний засіб посадки лопаті в ложементях і гасіння коливань; їхній внесок у чисте протиковзне утримання при  $\mu = 0,2$  є обмеженим, що й показано оцінкою вище, однак технологічно вони істотно зменшують ризик мікропереміщень і «розкочування» лопаті в сідлах.

У завершенні підрозділу корисно зафіксувати інженерний висновок: при консервативному коефіцієнті тертя  $\mu=0,2$  для дерев'яного настилу TeleMAX та нормативних прискореннях 0,8g/0,5g/0,5g із коефіцієнтами запасу  $f_s$  найбільш критичним є гальмування, що вимагає близько 28 кН додаткового утримання. Пара симетричних діагональних стяжок класу LC= 50 кН при реалістичних кутах монтажу забезпечує суттєвий запас проти ковзання вперед, а в поперечному напрямку запас ще вищий. Це дозволяє сформувати кріплення, яке не потребує надмірного притискання лопаті ремінями і, відповідно, краще узгоджується з вимогами збереження композитної оболонки.

### **3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

#### **3.1 Безпека життєдіяльності при перевезенні лопаті турбіни вітрогенератора**

Перевезення лопаті вітрогенератора довжиною 35 м належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки поєднує одразу кілька ризикових компонентів: рух великогабаритного автопоїзда в загальному транспортному потоці, виконання вантажно-розвантажувальних операцій із довгомірним композитним виробом, роботи поблизу інженерних споруд та мереж, а також перебування персоналу в зоні потенційного падіння вантажу або його елементів кріплення. З позиції безпеки життєдіяльності ключовою є вимога, що рух транспортного засобу (та його складу) з перевищенням нормативних габаритів і/або маси здійснюється не за загальними правилами, а відповідно до спеціальних правил проїзду великогабаритних і великовагових транспортних засобів, тобто із завчасним плануванням, погодженнями та встановленими умовами руху.

Нормативні габаритні межі, після яких виникає спеціальний режим, закріплені в Правилах дорожнього руху в розділі про перевезення вантажів; зокрема визначені орієнтири для ширини, висоти та довжини складів, а також відсилання до урядових Правил проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів. Це означає, що вже на стадії підготовки рейсу перевізник має розглядати 35-метрову лопать не як “звичайний вантаж”, а як об’єкт, для якого безпека забезпечується через спеціальний дозвільний режим, контроль маршруту, організацію супроводу (за потреби) та підвищені вимоги до дисципліни руху. Загрози для людей і довкілля під час такого перевезення доцільно розкривати у дипломній роботі через три етапи: підготовчий (планування маршруту та допуск персоналу), технологічний (навантаження, кріплення, перевірки) і транспортний (рух та зупинки), а також завершальний (розвантаження і передача вантажу). На кожному етапі превалюють різні небезпечні фактори, але “слабкою ланкою” зазвичай стають організаційні

порушення: невірно оцінені обмеження маршруту, недостатня підготовка персоналу, ігнорування метеофакторів, поспіх під час натягування стяжних елементів, а також недооцінка втоми водія та команди супроводу.

У підготовчому етапі безпека життєдіяльності починається з формалізованої оцінки ризиків і визначення відповідальних осіб. Для негабаритного рейсу критично важливо, щоб маршрут був не лише “логістично коротким”, а й технічно прохідним: з допустимими радіусами поворотів, відсутністю неприйнятних звужень, наявністю майданчиків для контрольних зупинок, можливістю безпечного об’їзду у разі перекриттів, а також із заздалегідь врахованими мостами, шляхопроводами, залізничними переїздами та ділянками з повітряними лініями. Саме урядові Правила проїзду великогабаритних/великовагових транспортних засобів закріплюють підхід, за яким рух має відбуватися у визначеному порядку і за встановлених умов, тобто безпека не може бути забезпечена “в дорозі імпровізацією”.

З позиції охорони праці важливо, щоб до вантажно-розвантажувальних операцій і робіт із кріплення допускалися працівники, які пройшли навчання й інструктаж, а організація робіт відповідала вимогам Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. Ці правила встановлюють обов’язковість безпечної організації навантаження/розвантаження та відповідальність роботодавця і працівників за дотримання вимог охорони праці, що в дипломному розділі логічно пов’язується з контролем стану вантажозахоплювальних пристроїв, справністю такелажу, визначенням небезпечної зони та недопущенням сторонніх осіб.

Під час навантаження та кріплення лопаті головними небезпеками для персоналу є падіння вантажу, раптове переміщення лопаті на опорах, віддача/розрив стяжних елементів, а також травмування при защемленні або ударі. Особливість лопаті як композитного довгоміра полягає в тому, що вона має змінний профіль і може “грати” на опорах; тому кріплення повинно не лише утримувати від ковзання, а й стабілізувати від повертання та коливань. Для безпеки життєдіяльності це трансформується у вимогу технологічної

дисципліни: натягування ременів/стяжок виконується послідовно й симетрично, персонал не перебуває в зоні можливого “хльосткого” руху ременя, а контроль натягу після короткого пробігу розглядається як обов’язковий захід попередження аварійної ситуації (осідання прокладок і зміна натягу є типовими для довгомірів).

Окремим аспектом є роботи на висоті, які майже неминучі при встановленні захисних чохлаів, укладанні стяжок на значній висоті або контролі стану кріплення на платформі. Українські Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті визначають, що такі роботи мають організовуватися за єдиним порядком задля безпеки працівників і допускають до них осіб, які відповідають вимогам допуску (вік, підготовка тощо). У дипломній роботі це коректно інтерпретується як вимога використовувати справні засоби доступу (помости, драбини, майданчики), застосовувати запобіжні системи там, де є ризик падіння, та виключати “саморобні” рішення, які часто стають причиною травматизму.

Транспортний етап (рух) формує специфічні ризики, пов’язані з геометрією автопоїзда і взаємодією з іншими учасниками руху. Довга лопать збільшує “винос” на поворотах і вимоги до траєкторії; через це найбільш небезпечними стають маневри на розв’язках, у містах, на ділянках із вузькими смугами та в умовах обмеженої видимості. Безпека життєдіяльності тут має два виміри: безпека водія та супровідної команди (втома, монотонність, нічний режим, стрес), і безпека інших учасників руху (ризик бокового зачеплення, перекриття смуг, екстрені гальмування). Тому в дипломному розділі доречно наголосити на ролі режиму руху, який задається умовами спеціального проїзду: контроль швидкості, збільшені інтервали, заборона ризикованих обгонів, вибір часових “вікон” з мінімальним трафіком, а також регламентовані зупинки для огляду кріплення. Сам факт, що рух при перевищенні габаритів здійснюється за спеціальними правилами, є нормативним обґрунтуванням цих заходів. Важливим фактором для лопаті 35 м є метеорологічний ризик. Лопать має аеродинамічний профіль і значну площу, тому боковий вітер і пориви здатні

створювати відчутні поперечні навантаження та моменти, що збільшують розгойдування, ускладнюють керування і підвищують вимоги до супроводу та вибору швидкості. З позиції безпеки життєдіяльності це означає, що погодні умови мають оцінюватися до виїзду і в процесі руху; у разі небезпечних поривів пріоритетом є не “встигнути за графіком”, а зупинитися на безпечному майданчику, перевірити кріплення, дочекатися покращення умов або змінити тактику руху. У дипломній роботі це доцільно подати як один із ключових організаційних принципів управління ризиком.

У контексті інженерної та пожежної безпеки типове перевезення лопаті не є перевезенням небезпечних вантажів у розумінні ADR, однак пожежні ризики зберігаються через наявність паливно-мастильних матеріалів у транспортного засобу, нагрів гальмівних механізмів на спусках, електропроводку, а також можливі короткі замикання у допоміжному обладнанні. Тому безпечна експлуатація передбачає справний технічний стан автопоїзда, наявність первинних засобів пожежогасіння, контроль температурного режиму гальм на затяжних спусках і виключення зупинок у місцях із підвищеним ризиком займання (сухостій, узбіччя з горючими матеріалами). У дипломному розділі це логічно пов'язується з вимогою технічної готовності транспортного засобу як частини загальної системи безпеки життєдіяльності.

Аварійна готовність є завершальним, але принциповим елементом. Для довгомірного негабариту найімовірнішими сценаріями небезпечних подій є часткова втрата натягу кріплення, пошкодження опор/ложементів, вимушена зупинка на проїзній частині, ДТП із залученням інших учасників руху, а також контакт із інженерними мережами. Тому ще до початку рейсу має бути визначений порядок дій: хто приймає рішення про зупинку, як забезпечується огороження місця, як організовується зв'язок між водієм, супроводом і відповідальним диспетчером, які служби викликаються та за яких умов відновлюється рух. У бакалаврській роботі доречно підкреслити, що ефективність аварійних дій прямо залежить від наявності погодженого маршруту та спеціального режиму руху: за спеціальними правилами проїзду визначаються

умови, які мінімізують ймовірність аварій і спрощують реагування, якщо інцидент стався.

### **3.2 Охорона праці при перевезенні лопаті турбіни вітрогенератора**

Перевезення лопаті вітрогенератора довжиною 35 м автомобільним транспортом є комплексним виробничим процесом, у якому одночасно поєднуються вантажно-розвантажувальні роботи, такелаж і стропування, роботи на висоті під час укладання та контролю стяжних елементів, а також тривала робота водія й супровідної команди в умовах підвищеної відповідальності. З точки зору охорони праці основною небезпекою є не тільки «аварія в русі», а й травматизм на етапах навантаження, кріплення, контрольних оглядів у рейсі та розвантаження, коли люди перебувають у зоні можливого падіння вантажу, різкого переміщення лопаті або відмови такелажу/стяжок.

Правова основа організації охорони праці формується Законом України «Про охорону праці», який покладає на роботодавця обов'язок організувати навчання, інструктажі та перевірку знань з питань охорони праці, а також забезпечити працівників умовами й засобами безпечної праці. Для процесів навантаження/розвантаження застосовуються спеціальні Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт (НПАОП 0.00-1.75-15), що є обов'язковими для роботодавців і працівників, які виконують такі роботи. Для операцій, де працівники піднімаються на платформу/вантаж або працюють на висоті, застосовуються Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті (НПАОП 0.00-1.15-07).

У реальних умовах логістики вітроенергетики характерною є ситуація, коли лопать має значну довжину при відносно невеликій масі, але дуже великій «парусності», тому охорона праці повинна враховувати не лише вагові фактори, а й вплив вітру під час стропування та в момент, коли лопать зависає на гаку, а також під час встановлення на ложементи і натягування ременів. Саме вітер

часто стає тригером неконтрольованих коливань, ударів об опори або раптового «повороту» профілю лопаті з ризиком травмування людей у небезпечній зоні.

Організаційно безпечне виконання робіт починається з призначення відповідальних осіб за етапи операції, розроблення технологічної карти/плану підймання і плану кріплення (із визначенням точок стропування, типу траверс/строп, місць установаження ложементів, порядку натягування стяжок та зон заборони перебування людей). На підприємстві це має бути прив'язано до системи інструктажів і допуску працівників: водій, машиніст крана, стропальники/такелажники, працівники, що виконують роботи на висоті, повинні проходити навчання та інструктаж з охорони праці за рахунок роботодавця, а допуск до самостійної роботи має відбуватися лише після підтвердження знань і навичок безпечних методів праці.

Найбільш травмонебезпечним етапом є навантаження та встановлення лопаті на транспортну платформу. Тут ключовими небезпечними факторами є падіння вантажу, зісковзування зі строп, неконтрольовані коливання, ударні контакти з елементами платформи або землею, а також защемлення кінцівок у момент позиціонування. Вимоги НПАОП 0.00-1.75-15 логічно застосовуються у вигляді практичної заборони перебування людей під піднятим вантажем та в зоні його можливого переміщення, організації безпечного зв'язку між машиністом і стропальником, використання справних вантажозахоплювальних пристроїв і недопущення «імпровізованих» стропувальних рішень. У випадку лопаті додатково обґрунтовується застосування траверс або рознесеного стропування з м'якими захисними прокладками, оскільки композитна оболонка чутлива до локального стискання, а вузький ремінь/ланцюг без захисту може пошкодити поверхню і створити прихований дефект.

Після встановлення лопаті на ложементи настає етап кріплення, де характерним ризиком є відмова або «віддача» стяжних засобів. Працівник може отримати травму при зриві храпового механізму, при розриві стрічки, при раптовому провороті лопаті на опорах або при ударі кінцем ременя. З позиції охорони праці важливими стають дві вимоги: використання лише справних і

промаркованих засобів кріплення з відомими характеристиками та регулярний огляд ременів/ланцюгів на зношення і пошкодження. Міжнародні настанови з безпечного закріплення вантажів підкреслюють необхідність систематичного контролю стану засобів кріплення і заміни пошкодженої стрічки, а також пояснюють ключові параметри ременів (LC, STF) та роль попереднього натягу. Для дипломного тексту це важливо як обґрунтування, чому «візуально нормальний» ремінь із надрізами, перетираннями чи пошкодженими швами не може вважатися придатним, а контроль кріплення не зводиться до перевірки наявності ременів, а включає оцінку їх фактичного стану.

Під час транспортного етапу охорона праці концентрується на безпеці водія та супровідної команди як працівників, що перебувають у виробничому процесі тривалий час. Професійні ризики тут пов'язані з втомою, монотонністю, психоемоційним напруженням під час маневрів негабаритним автопоїздом, а також з роботою на узбіччі під час контрольних зупинок. Оскільки у рейсі контроль кріплення є обов'язковим практичним заходом (через осідання прокладок, зміну натягу ременів), роботодавець повинен організувати його так, щоб працівники не виконували огляд у небезпечних місцях (на кривій, у зоні обмеженої видимості, без огороження, під рухомим потоком). Це вимагає попереднього вибору майданчиків для зупинок і регламенту взаємодії між водієм та супроводом, щоб контроль не перетворювався на «спонтанний вихід на дорогу», який є одним з найчастіших джерел травматизму.

Для лопаті довжиною 35 м суттєвою є метеозалежність безпеки праці. У сильний вітер будь-які операції з відкритими ременями, чохлами чи позиціонуванням вантажу ускладнюються, а в зоні Карпат ризик посилюється різкими поривами та обмеженими майданчиками для зупинки. Тому охорона праці повинна включати правило «припинення робіт» при досягненні небезпечних умов (передусім вітру) та алгоритм безпечної зупинки: відведення людей у безпечну зону, стабілізація вантажу без перебування під ним, виклик відповідальних осіб, за потреби — залучення додаткової техніки чи підрозділів супроводу.

Завершальний етап розвантаження зазвичай повторює ризики навантаження, але часто є небезпечнішим через втому персоналу після рейсу та часовий тиск. Тому в межах охорони праці принциповою є вимога не «спрощувати» процедури: зберігати визначені небезпечні зони, забезпечувати керований зв'язок між такелажниками та машиністом, застосовувати тільки справний такелаж і працювати за узгодженим планом, а не за ситуаційними командами. Саме НПАОП щодо вантажно-розвантажувальних робіт задає рамку, яка не дозволяє переносити вантажні операції в «побутовий режим», навіть якщо працівники мають великий практичний досвід.

Охорона праці при перевезенні лопаті вітрогенератора автомобільним транспортом повинна розглядатися як система, де юридичні вимоги Закону «Про охорону праці» реалізуються через навчання та допуск персоналу, вимоги НПАОП 0.00-1.75-15 забезпечують безпечне навантаження/розвантаження і такелаж, а НПАОП 0.00-1.15-07 регламентує безпечні роботи на висоті під час кріплення і контролю. Технічна складова цієї системи спирається на правильний підбір і справний стан стяжних засобів (із розумінням їхніх параметрів LC і STF) та дисциплінований контроль кріплення протягом рейсу, що підтверджується профільними міжнародними настановами з безпечного закріплення вантажів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне інженерно-транспортне завдання удосконалення процесу перевезення негабаритного довгомірного вантажу – лопаті ротора вітроенергетичної установки Vestas V66 – автомобільним транспортом за маршрутом Одеса – Ворохта.

У ході дослідження встановлено, що лопать ВЕУ є специфічним вантажем із значною довжиною, нерівномірним розподілом маси та підвищеною чутливістю до локальних навантажень і вібрацій. Це обумовлює необхідність застосування спеціалізованого рухомого складу, адаптованих опорних елементів і контрольованих схем кріплення. Сформований паспорт вантажу дозволив систематизувати вимоги до транспортування та врахувати інфраструктурні обмеження маршруту.

Обґрунтовано доцільність використання телескопічного напівпричепа класу Faumonville TeleMAX, який забезпечує необхідну довжину платформи, гнучкість конфігурації та допустимий розподіл навантажень. Виконані розрахунки підтвердили можливість раціонального розміщення лопаті з урахуванням геометрії вантажу, а також дозволили визначити вертикальні реакції в опорах, що є критичним для вибору ложементів і перевірки міцності елементів конструкції. Запропонована схема кріплення забезпечує надійну фіксацію вантажу, мінімізує ризики його зміщення та пошкодження під час руху.

Розроблений маршрут перевезення Одеса – Ворохта враховує дорожні обмеження, геометрію транспортної мережі та складні ділянки, зокрема гірський відрізок дороги Н-09. Проведений swept path аналіз підтвердив можливість проходження критичних поворотів за умови дотримання спеціального режиму руху та організації супроводу. Це дозволило сформуванню обґрунтований габаритний коридор руху автопоїзда.

Складений орієнтовний графік руху демонструє, що перевезення може бути виконане у встановлені терміни з урахуванням обмежень швидкості, складності ділянок маршруту та необхідності координації супроводу.

Запропоновані організаційні рішення забезпечують керованість транспортного процесу.

У розділі безпеки життєдіяльності визначено основні небезпеки при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт та транспортуванні, а також розроблено комплекс заходів щодо їх мінімізації. Встановлено, що дотримання технологічної дисципліни, використання засобів індивідуального захисту, контроль стану кріплень і чітка взаємодія учасників перевезення є визначальними факторами безпеки.

Таким чином, у роботі сформовано комплексне технічно обґрунтоване рішення, яке поєднує вибір рухомого складу, розрахунок параметрів перевезення, оптимізацію маршруту та заходи безпеки. Отримані результати можуть бути використані в практиці організації перевезень негабаритних вантажів, зокрема елементів вітроенергетичних установок.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабак В. П., Хільчевський В. К., Харченко В. П. Транспортні системи. Київ : Либідь, 2004. 416 с.
2. Гудков В. О., Мироненко В. К., Котенко О. М. Організація перевезень вантажів автомобільним транспортом. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 384 с.
3. Дмитриченко М. Ф., Левковець П. Р., Ткаченко А. М. Логістика транспортних систем. Київ : НТУ, 2010. 312 с.
4. Котляренко В. О. Вантажні перевезення: організація, планування, управління. Харків : ХНАДУ, 2013. 256 с.
5. Криворучко О. М., Лебідь І. Г. Логістика : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2015. 304 с.
6. Левковець П. Р., Дмитриченко М. Ф., Ігнатенко О. С. Управління вантажними перевезеннями. Київ : НТУ, 2007. 292 с.
7. Мироненко В. К. Автомобільні перевезення: організація та технологія. Київ : Центр учбової літератури, 2014. 328 с.
8. Пономарьов А. М., Криворучко О. М. Транспортна логістика. Харків : ХНАДУ, 2011. 280 с.
9. Семенов В. М. Організація дорожнього руху та перевезень. Київ : Вища школа, 2008. 272 с.
10. Шинкаренко В. Г. Основи транспортної логістики. Харків : ХНАДУ, 2016. 300 с.