

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний
(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Бичкова Олександра Костянтиновича
(ПІБ)
академічної групи 132-21-2 ММФ
(шифр)
спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(за наявності)

за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»
на тему Оптимізація форми та матеріалу виготовлення лопатей
вітрогенератора підвищеної аеродинамічної ефективності
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Ротт Н.О.			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Ротт Н.О..			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Ротт Н.О.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
Рецензент	Слупська Ю.С.			
Нормоконтролер	Гаркавенко Д.В.			

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
конструювання, технічної
естетики і дизайну
(повна назва)

Сергій ФЕДОРЯЧЕНКО

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню _____ бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Бичкова Олександра Костянтиновича академічної групи 132-
21-2

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство
спеціалізації _____

за **освітньо-професійною програмою** «Промислова естетика і
сертифікація матеріалів та виробів»
на тему Оптимізація форми та матеріалу виготовлення лопатей
вітрогенератора підвищеної аеродинамічної ефективності затверджену
наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 14.05.2025р. №369-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз сучасного стану вітроенергетики, матеріалів та технологій виготовлення. Постановка задач роботи.	20.05.2025
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Виконання функціонального аналізу лопаті. Моделювання та використання МСЕ.	05.06.2025
Інженерно-технологічний	Обґрунтування вибору технологій виготовлення. Процес утилізації та рециклінгу.	15.06.2025
Експлуатаційний	Визначення видів та методів контролю якості.	20.06.2025

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Наталія РОТТ

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 14.05.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії 27.06.2025

Прийнято до виконання _____

Олександр БИЧКОВ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 50 рис., 7 табл., 18 джерел.

ЛОПАТЬ ВІТРОГЕНЕРАТОРА, КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ, МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ, РЕЦИКЛІНГ.

Об'єкт дослідження – процес виготовлення лопаті вітрогенератора з композитних матеріалів.

Мета роботи – обґрунтування інженерного підходу до розробки, моделювання, аналізу та виготовлення лопаті вітрової турбіни, що забезпечує її ефективну експлуатацію в умовах змінних вітрових навантажень.

Вітрова енергетика посідає одне з провідних місць серед джерел відновлюваної енергії завдяки високому потенціалу зниження викидів CO₂, енергоефективності та відновлюваності ресурсу. Центральним елементом будь-якої вітроустановки є лопать – складна інженерна конструкція, що перетворює кінетичну енергію повітряного потоку в механічну. Саме від її конструкції, геометрії та характеристик матеріалу залежить ефективність генерації електроенергії та стабільність роботи турбіни у складних погодних умовах.

Особливу увагу в роботі приділено технічним вимогам до лопатей, сучасним підходам до вибору конструкційних композитів, питанням сертифікації відповідно до міжнародних стандартів, методам неруйнівного контролю та випробуванням на міцність, зокрема методом триточкового вигину. Також розглянуто актуальні стратегії повторної переробки відпрацьованих лопатей, зокрема механічну переробку та цементне співспалювання як ефективні та екологічно доцільні способи утилізації.

У даній кваліфікаційній роботі обґрунтовано конструкцію лопаті вітрогенератора з урахуванням вимог до міцності, довговічності та екологічності. Робота спрямована на підтримку сталого розвитку та впровадження більш ефективних технологій у сфері вітроенергетики.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Різновиди вітрогенераторів.....	7
1.2 Аналіз матеріалів та технологій виготовлення лопатей.....	9
1.3 Технічне обслуговування вітрогенератора.....	15
1.4 Особливості роботи лопатей в умовах високих вітрових навантажень.....	17
1.5 Постановка задач дослідження.....	19
2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА	
2.1 Функціонально-вартісний аналіз.....	21
2.2 Підготовка до моделювання лопаті.....	24
2.3 Моделювання лопаті вітрогенератора.....	27
2.4 Дослідження напружено-деформованого стану лопаті вітрогенератора методом скінченних елементів.....	35
2.5 Висновки за розділом.....	41
3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Етапи створення конструкції лопаті.....	42
3.2 Підготовка форми.....	43
3.3 Формування сухих шарів армування.....	44
3.4 Вакуумна інфузія смоли.....	48
3.5 Встановлення внутрішніх ребер жорсткості.....	53
3.6 Склеювання оболонок лопаті.....	54
3.7 Виймання з форми та контроль якості.....	59
3.8 Утилізація та рециклінг лопатей вітрогенераторів.....	60
3.9 Висновки за розділом.....	63
4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	
4.1 Сертифікація та вимоги до якості лопаті вітрогенератора.....	66
4.2 Методи контролю лопаті вітрогенератора.....	69

4.3 Контроль і випробування після виготовлення лопаті	74
4.4 Технологія проведення досліджень лопаті вітрогенератора триточковим вигином.....	76
4.5 Висновки за розділом.....	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Види вітрових турбін: <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/types-of-wind-turbines.php>
2. Матеріали для лопатей вітрових турбін: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5706232/>
3. Матеріали для лопатей вітрових турбін, завантаження та методи виготовлення: <https://www.ijert.org/materials-for-wind-turbine-blades-loading-and-manufacturing-methods>
4. DIN EN IEC 61400-1 VDE 0127-1:2019-12
5. Технічне обслуговування вітрових турбін: <https://www.bgbinnovation.com/knowledge/news-and-articles/wind-turbine-maintenance-guide>
6. Яка швидкість вітру потрібна для вітрових турбін? Посилання на джерело: <https://www.inverter.com/what-wind-speeds-are-needed-for-home-wind-turbines>
7. Властивості поліаміду 66 з 30% скловолокна: <https://materialwizard.com.ua/ua/examid-6m-gf-30/>
8. Як виготовляються лопаті вітрових турбін? Посилання на джерело: <https://windmillstech.com/how-wind-turbine-blades-are-manufactured/>
9. Що таке адгезія матеріалів і чому вона важлива? Посилання на джерело: <https://teknosel.com.ua/ua/news/kley-i-germetiki/chto-takoe-adgeziya-materialov-i-pochemu-ona-vajna/>
10. Як компанії можуть переробляти лопаті вітрових турбін? Посилання на джерело: <https://cen.acs.org/environment/recycling/companies-recycle-wind-turbine-blades/100/i27>
11. Переробка та утилізація вітрових турбін: <https://cleangridalliance.org/blog/137/wind-turbine-recycling-and-disposal>
12. Вирішення глобальної проблеми переробки лопатей за допомогою масштабованого рішення: <https://orsted.co.uk/insights/from-the-front-line-of->

[climate-action/meeting-the-global-challenge-of-blade-recycling-with-a-scalable-solution](#)

13. ДСТУ EN 61400-23:2022 Вітрові турбіни. Частина 23. Повномасштабне структурне випробування лопатей ротора.

14. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT)

15. Оптимізація продуктивності вітрових турбін шляхом перевірки лопатей:
<https://www.onestopndt.com/ndt-articles/wind-turbine-blade-inspection>

16. Повний посібник з випробування на триточковий згин:
<https://www.testresources.net/blog/a-complete-guide-to-the-three-point-bending-flexural-test>

17. ДСТУ EN ISO 14125:2019 Поліетиленові пластикові композити. Визначення властивостей згинання

18. Зіборов К.А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132Матеріалознавство ОПП «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів» / К.А. Зіборов, Н.О. Ротт, Т.О. Письменкова, С.О. Федоряченко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ«ДП», 2022.