

ПЕРЕРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

Плуталов Я.А., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Вітер – це ефективне та чисте, відновлювальне джерело енергії, яке допомагає людству вже багато століть. Перші вітряні турбіни були невеликими і мали лопаті з металу, дерева або тканини. Потім композити з армованого скловолокном пластику використовувалися для виготовлення лопатей довжиною понад 30 м. Композити мають меншу масу, кращу стійкість до корозії та втомну міцність порівняно з металом та деревом. Постійне збільшення розмірів вітрових турбін призвело до використання вуглецевих волокон, які легші і міцніші за скловолокно.

Мета роботи. Мета даної роботи полягає у розгляді питань утилізації відходів вітрогенераторів та можливих методів переробки композитних матеріалів, що використовуються у виробництві лопатей вітротурбін.

Матеріали і результати досліджень. З урахуванням швидкого розвитку глобальної вітроенергетики та зростаючої кількості офшорних проєктів з великими лопатями, використання вуглецевих волокон у лопатях стрімко збільшується. Ця масштабна експлуатація створює низку серйозних викликів у керуванні відходами від композитів на основі вуглепластику. По-перше, виготовлення великих офшорних вітрогенераторів вже призводить до накопичення виробничих відходів, які можуть бути відновлені. Ці відходи можуть приймати різні форми, включаючи залишки необроблених заздалегідь просочених тканин, первинні вуглецеві волокна або відбраковані деталі. Крім того, вітрогенератори, встановлені у 2010 році, мають середній термін служби від 20 до 30 років, після чого вони вимагають відновлення [1]. Однак видалення та переробка цих відходів ускладнюються тим фактом, що вони складаються з різних видів матеріалів, таких як скловолокно, вуглецеве волокно, полімери та метали. Підсумовуючи, проблема утилізації відходів виробництва вітрогенераторів є актуальною і важливою. Сьогодні близько 85-90% лопатей вітрогенераторів можна відновити, але існують виклики в досягненні 100% утилізації через складності повторного використання термореактивних смол, наприклад, епоксидних. Наразі існують чотири основних методи утилізації вітрових відходів [2].

1. Механічна переробка – під час цієї переробки відходи лопатей вітрогенераторів проходять процес перетворення на фрагменти різних розмірів та форм, застосовуючи методи різання. Наступним етапом в цій обробці є фрезерування, дроблення, подрібнювання та шліфування, щоб отримати менші частинки. Це потрібно для того, щоб полегшити відокремлення коротких волокон від полімерних смол. Перевагами цього методу є висока ефективність обробки, можливість відновлення волокон і смол, низька вартість. Серед недоліків є деградація механічних властивостей матеріалів, обмежені властивості повторної переробки та отримання нечистих матеріалів. Повторне використання відходів можливе в бетоні зміцненого подрібненим

скловолокном та вуглецевим волокном, композитах відновлених короткими волокнами, поліпропіленові та нейлонові матричні композити та інше.

2. Хімічна переробка. Цей вид переробки передбачає хімічне розкладання полімерних матриць для відновлення як коротких волокон, так і інших продуктів процесу. Найпоширенішими методами хімічної переробки є сольволиз і використання докритичних або надкритичних рідин. Перевагами є повна сегрегація волокон і смол з композитів лопатей, однак висока вартість і небезпечні хімічні речовини є недоліком такого методу переробки. Повторне використання може бути у вигляді композитів, армованих вторинною сировиною, та паливний газ.

3. Під час піролізного методу відходи нагріваються до високих температур (450°C - 1000°C). Полімерні смоли перетворюються на пару або газ, а решта волокон залишаються неушкодженими і в підсумку вилучаються. Перевагами є невисока вартість і простий процес, можливість відновити хімічний зворотний зв'язок зі смолою та відсутність хімічного розчинника. Серед недоліків – висока чутливість до параметрів процесу. У вигляді повторного використання може бути піролітична нафта або газ, органічне рідке паливо, композит, армований відновленими короткими волокнами.

4. Окислення в киплячому шарі потребує середовища з високою температурою (450°C - 1000°C), багатого на кисень. Таким чином волокна відокремлюються з полімерних матриць. Переваги полягають в швидкому нагріванні завдяки киплячому шару, висока якість відновлених волокон, але недоліки – в низькій ефективності, низькій економічній ефективності та низьких механічних властивостях волокон. Отриманий матеріал можна використати в високомодульних композитах та як електромагнітно-екрановані матеріали.

Висновок. Усі сучасні технології переробки є життєздатними варіантами ефективної утилізації композитних відходів. Однак механічні, хімічні та термічні технології мають певні недоліки, такі як поверхневі дефекти, довжина волокон, витрати на обладнання та придатність процесу відповідно до складу композитів лопатей. На мою думку, питання переробки лопатей вітрових турбін є одним з найвищих пріоритетів, яку можна вирішити за допомогою політичних заходів, таких як виділення фінансування на проєкти з переробки та утилізації, надання стимулів компаніям, що займаються переробкою, та видання політичних директив для сектору відновлюваної енергетики.

Перелік посилань

1. Lefeuvre, A., Garnier, S., Jacquemin, L., Pillain, B., & Sonnemann, G. (2019). Anticipating in-use stocks of carbon fibre reinforced polymers and related waste generated by the wind power sector until 2050. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 30–39. doi:10.1016/j.resconrec.2018.10.008
2. Khalid, M. Y., Arif, Z. U., Hossain, M., & Umer, R. (2023). Recycling of wind turbine blades through modern recycling technologies: A road to zero waste. *Renewable Energy Focus*, 44, 373–389. doi:10.1016/j.ref.2023.02.001- <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.02.001>