

*Легенчук Р.В.,
учень 10 класу Відокремленого підрозділу "Науковий ліцей"
Державного університету "Житомирська політехніка"
Наукові керівники: Циганенко-Дзюбенко І.Ю.,
вчитель біології Відокремленого підрозділу "Науковий ліцей",
аспірант, асистент кафедри наук про Землю,
керівник центру наукового розвитку учнів та молоді «EcoYouth»
Державного університету «Житомирська політехніка»
Корбут М.Б.,
доцент, кандидат технічних наук,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
Державного університету «Житомирська політехніка»,
докторантка Національного університету «Львівська політехніка»
ke_miyu@ztu.edu.ua*

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОПАЛИВА З ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Актуальність. В умовах сучасної екологічної кризи та зростаючої потреби в альтернативних джерелах енергії, переробка твердих побутових відходів (ТПВ) у біопаливо набуває особливого значення для України. Вітчизняні науковці, зокрема представники наукової школи Національного університету "Львівська політехніка" на чолі з професором Мальованим Мирославом Степановичем, розробили інноваційні підходи до вирішення цієї комплексної проблеми. Дослідження доктора технічних наук Тимчук Івани та професора Корбут Марії Броніславівни також зробили значний внесок у розвиток технологій переробки ТПВ та їх використання для виробництва альтернативного палива.

Огляд технологічних аспектів переробки ТПВ у біопаливо. Сучасні технології переробки ТПВ у біопаливо базуються на декількох основних напрямках. Перший напрямок включає анаеробну переробку органічної фракції ТПВ з отриманням біогазу. При оптимальних умовах (температура 35-37°C, вологість 60-65%, рН 6,8-7,2) процес метаногенезу дозволяє отримати біогаз із вмістом метану 60-70%. Другий напрямок пов'язаний з переробкою целюлозовмісних відходів у тверде біопаливо. Цей процес включає сортування, подрібнення, сушіння та пресування матеріалу з отриманням паливних брикетів або пелет. Третій напрямок – термічна переробка полімерних відходів з отриманням рідкого палива через процес піролізу.

Мета дослідження. Оптимізація технологічних параметрів процесів переробки різних фракцій ТПВ у біопаливо та розробка інтегрованої системи управління виробництвом для забезпечення максимальної енергетичної ефективності та мінімального впливу на довкілля.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження виступають процеси конверсії твердих побутових відходів у різні види біопалива. Предметом дослідження є технологічні параметри та закономірності процесів переробки ТПВ з метою отримання біопалива.

Практичне значення. Результати дослідження мають безпосереднє практичне застосування для модернізації існуючих підприємств з переробки ТПВ.

Технологічні особливості виробництва різних видів біопалива з ТПВ. Виробництво біогазу з органічної фракції ТПВ вимагає створення спеціальних умов для розвитку метаногенних бактерій. Ключовими параметрами процесу є температурний режим, вологість субстрату, рН середовища та співвідношення C:N. Для отримання твердого біопалива з целюлозовмісних відходів критичними параметрами є вологість сировини (не більше 15%), розмір частинок після подрібнення (2-5 мм) та тиск пресування (80-120 МПа). При піролізі полімерних відходів особлива увага приділяється температурному режиму (оптимальний діапазон 450-550°C) та часу перебування матеріалу в реакторі.

Теплотехнічні характеристики компонентів ТПВ як сировини для альтернативного палива демонструють значну гетерогенність за показниками калорійності та зольності, що обумовлює необхідність диференційованого підходу до їх термічної утилізації. Полімерні компоненти ТПВ характеризуються найвищою теплотою згоряння (35-41 МДж/кг для поліетилену, 42-46 МДж/кг для полістиролу) при мінімальній зольності (0,5-1,5%), що робить їх найбільш енергетично цінною фракцією. Целюлозовмісні компоненти демонструють середні показники калорійності: папір - 13-16 МДж/кг, картон - 14-17 МДж/кг, текстиль - 15-19 МДж/кг, при зольності 5-15%.

Особливої уваги заслуговує аналіз термодинамічних параметрів органічної фракції ТПВ, яка характеризується варіабельністю показників залежно від морфологічного складу та ступеня вологості. При вологості 20-25% теплота згоряння харчових відходів становить 8-13 МДж/кг, однак висока зольність (20-40%) суттєво знижує їх енергетичну цінність. Імплементція попередньої механіко-біологічної обробки дозволяє оптимізувати параметри сировини шляхом зниження вологості до 10-15% та зменшення зольності на 15-20%.

Інтегральний показник теплотворної здатності RDF (Refuse Derived Fuel), отриманого з ТПВ після комплексної сепарації та кондиціонування, варіює в діапазоні 18-24 МДж/кг при зольності 12-18%, що корелює з характеристиками низькосортного кам'яного вугілля. Стехіометричний аналіз процесів термічної деструкції демонструє, що при температурах 850-950°C досягається максимальна ефективність конверсії органічної складової з мінімізацією утворення токсичних продуктів неповного згоряння.

Гранулометричний склад та морфологічна структура паливних компонентів ТПВ здійснюють безпосередній вплив на кінетику процесів термічної деструкції. Експериментально встановлено, що оптимальний розмір частинок

для забезпечення максимальної повноти згоряння становить 20-50 мм для RDF та 10-30 мм для пелет і брикетів. При цьому досягається мінімізація механічного недопалу та оптимізація режимів тепломасообміну в шарі палива.

Кореляційний аналіз взаємозв'язку між елементним складом ТПВ та їх теплотехнічними характеристиками дозволив встановити, що найбільший вплив на калорійність здійснює вміст вуглецю ($r = 0,92$) та водню ($r = 0,87$), тоді як підвищений вміст кисню та азоту призводить до зниження теплоти згоряння ($r = -0,76$ та $r = -0,64$ відповідно). Зольність демонструє сильну негативну кореляцію з калорійністю ($r = -0,89$), що обумовлює необхідність мінімізації мінеральної складової в паливній фракції.

Математичне моделювання процесів термічної деструкції компонентів ТПВ з використанням рівнянь хімічної кінетики та тепломасопереносу дозволило оптимізувати режимні параметри процесу та розробити алгоритми автоматичного управління для забезпечення максимальної енергетичної ефективності при мінімізації екологічного навантаження на довкілля.

Екологічні аспекти виробництва. Переробка ТПВ у біопаливо дозволяє значно знизити навантаження на полігони та звалища, зменшити викиди парникових газів та знизити забруднення ґрунтових вод. Важливим аспектом є контроль викидів при термічній переробці відходів та очистка біогазу від сірководню та інших домішок.

Висновки.

1. Виробництво біопалива з ТПВ є перспективним напрямком вирішення як енергетичних, так і екологічних проблем.
2. Ефективність процесу залежить від правильного підбору технологічних параметрів для кожного виду відходів та створення інтегрованої системи управління виробництвом.
3. Дослідження українських науковців, зокрема представників Львівської політехніки, створили потужну наукову базу для розвитку цього напрямку в промислових масштабах.
4. Впровадження розроблених технологій дозволить не тільки зменшити обсяги відходів на полігонах, але й забезпечити виробництво відновлюваного джерела енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Malovanyu M., Korbut M., Davydova L., Tymchuk I. 2021. Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 36–49. <https://doi.org/10.12911/22998993/137446>
2. Roadmap for the Implementation of the Law of Ukraine "On Waste Management": a collection of materials from the National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technology" (Kyiv, November 24-25, 2022) - Kyiv: Center for Environmental Education and Information, 2022. 248 p. ISBN 978-617-7130-21-4].
3. Корбут, М. Б., Мальований, М. С., Давидова, І. В., & Скиба, Г. В. (2023). Оцінювання впливу звалищ твердих побутових відходів на гідрохімічний режим прилеглих територій (на прикладі полігону Житомирської територіальної громади). *Науковий вісник НЛТУ України*, 33(3), 40-45.
4. Кірейцева Г.В., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Пацева І.Г., Демчук Л.І., Палій О.В. Оцінка якісних показників поліетиленової плівки та її енвайроментологічний вплив. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля* №4. 2023. С. 63-70
5. ПАЦЕВА І., НОНІК Л. (2023). Рециклінг відходів руйнації - крок до зменшення ризиків воєнного екоциду. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2023. №3. с. 73–81. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-10>
6. Нонік Л.Ю., Пацева І.Г., Пічкур Т.В. Розроблення стратегії управління відходами руйнації в умовах воєнного стану. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля* №4. 2023. с. 40-47. <https://eztuir.ztu.edu.ua/handle/123456789/8292>
7. Нонік Л., Пацева І., Циганенко-Дзюбенко І., Медвідь О., Дасевич І. (2023). Визначення екологічних пріоритетів управління відходами (на прикладі полігону ТПВ м. Житомир). *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 18–26 <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-1-3>