НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

На правах рукопису

ГАЙДАЙ ОЛЬГА ІГОРІВНА

УДК 620.92

ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

05.14.08 – Перетворювання відновлюваних видів енергії

ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
старший науковий співробітник,
кандидат технічних наук
Желєзна Т.А.

Київ 2016

ЗМІСТ

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ 16
1.1. Постановка задачі дослідження 16
1.2. Методологія оцінки життєвого циклу 21
1.3. Огляд показників, що можуть використовуватись в якості критеріїв енергетичної та екологічної ефективності 26
1.4. Огляд результатів оцінки життєвого циклу використання твердої біомаси з метою отримання теплової енергії 33
Висновки до Розділу 1 38
РОЗДІЛ 2 ІНВЕНТИРИЗАЦІЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ ТА СОЛОМИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ 39
2.1. Опис життєвого циклу використання відходів лісозаготівлі у якості палива 39
2.2. Опис життєвого циклу використання соломи у якості палива 53
Висновки до Розділу 2 65
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ІЗ ТВЕРДОЇ БІОМАСИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ 66
3.1. Методика оцінки енергетичної ефективності, що базується на використанні показника сукупних витрат енергії та коефіцієнту перетворення енергії 66
3.2. Методика оцінки екологічної ефективності, що базується на балансі викидів парникових газів 80
Висновки до Розділу 3 87
РОЗДІЛ 4 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА 88

4.1. Оцінка ефективності використання лісосічних відходів для виробництва теплової енергії за показником коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії у якості критерію 88
4.1.1. Оцінка енергетичної ефективності використання лісосічних відходів у вигляді тріски у котельній установці потужністю 500 кВт 89
4.1.2. Залежність енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з деревної тріски від потужності енергетичної установки та відстані транспортування біопалива 95
4.1.3. Вплив параметрів життєвого циклу на енергетичну ефективність виробництва теплової енергії з лісосічних відходів 96
4.1.4. Вплив форми ущільнення лісосічних відходів на енергетичну ефективність життєвого циклу їх використання 98
4.2. Оцінка ефективності використання соломи для виробництва теплової енергії за показником коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії у якості критерію 102
4.2.1. Оцінка енергетичної ефективності використання тюкованої соломи у котельній установці потужністю 500 кВт 102
4.2.2. Залежність енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з тюкованої соломи від потужності енергетичної установки та відстані транспортування біопалива 107
4.2.3. Вплив параметрів життєвого циклу на енергетичну ефективність виробництва теплової енергії з тюкованої соломи 109
4.2.4. Вплив форми ущільнення соломи на енергетичну ефективність життєвого циклу її використання 111
4.3. Оцінка ефективності використання деревної тріски та соломи для виробництва теплової енергії за показником скорочення питомих викидів ПГ у якості критерію 116
4.3.1. Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з лісосічних відходів 117
4.3.2. Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з соломи 121
Висновки до Розділу 4 125

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТІВ З ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА. АНАЛІЗ СОЦІАЛЬНОГО ВПЛИВУ. 127
5.1. Методика розрахунку показників економічної ефективності..... 127
5.2. Основні положення методики техніко-економічного обґрунтування 132
5.3. Техніко економічні показники виробництва теплової енергії з твердої біомаси 140
5.3.1. Фінансові показники проекту впровадження котельної на деревній трісці 140
5.3.2. Фінансові показники проекту впровадження котельної на деревних гранулах 145
5.3.3. Фінансові показники проекту впровадження котельної на тюкованій соломі 148
5.3.4. Фінансові показники проекту впровадження котельної на гранулах із соломи 150
5.4. Аналіз соціального впливу впровадження проектів з виробництва теплової енергії із твердої біомаси 153
5.4.1. Методика оцінки соціального впливу 153
5.4.2. Оцінка потенціалу створення нових робочих місць в секторі біоенергетики в Україні 158
Висновки до розділу 5 162
ЗАГАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ 163
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 167
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 169
ДОДАТОК А. АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ 177

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення:

CED – сукупні приведені витрати первинної енергії, ГДж/рік;

ced – питомі приведені сукупні витрати первинної енергії;

CEP – сукупне виробництво енергії, ГДж/рік;

EYC – коефіцієнт перетворення енергії;

E – енергоємність операції, МДж;

e – питомі витрати первинної енергії, МДж/т;

$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – нижча теплота згорання, МДж/кг;

B – споживання палива котельною установкою, т/рік;

b – питома витрата палива, л/т;

n – відстань транспортування, км;

ε – загальні викиди парникових газів від виробництва палива до його енергетичного перетворення , г$CO_{2\text{-екв.}}$/т;

EC – загальні викиди парникових газів при виробництві теплової енергії як кінцевого продукту, г$CO_{2\text{-екв.}}$/МДж.;

Δε – скорочення викидів парникових газів, %;

DPB – дисконтований термін окупності, років;

IRR – внутрішня норма прибутковості, %;

NPV – чиста приведена вартість проекту, тис. грн.;

PB – простий термін окупності, років.

Скорочення:

АТП – автотранспортне підприємство;

БМ – біомаса;

ВКЕ – валове кінцеве енергоспоживання;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ДСТУ – державні стандарти України;

ЄС – Європейський Союз;

ЗППЕ – загальне постачання первинної енергії;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

НПДВЕ – національний план дій з відновлюваної енергетики;

ОЖЦ – оцінка життєвого циклу;

ПГ – парникові гази;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;

ТЕС – теплова електростанція;

ТЕЦ – теплоелектроцентраль;

ФО – функціональна одиниця;

ЦТ – централізоване теплопостачання;

GWP – global worming potential;

IPCC – international panel on climate change.

Нижні індекси:

з.т. – зелена тонна, відноситься до біомаси з польовою вологістю;

р.м. – робоче місце;

у.п. – умовне паливо;

н.е. – нафтовий еквівалент;

NR – невідновлюваний;

R – відновлюваний;

т.км. – тонна кілометр;

пал. – паливо;

п.л. – праця людини;

т.з. – транспортний засіб;

P – production;

D – disposal;

U – utilization;

A – additional;

сир. – сировинний;

пер. – перетворення;

зб. – збір;

тр. – транспортування;

под. – подрібнення;

ван. – вантаження;

збер. – зберігання;

гр. – гранули;

біом. – біомаса;

ел. – електричний;

д. – дизельний;

тюк. – тюкування;

мат. – матеріал;

сп. – спорудження;

дем. – демонтаж;

обсл. – обслуговування;

кот. – котельня;

пер. – перевезення;

заг. – заготівля;

ск. – складування;

вир. – виробництво;

h – тепловий.

ВСТУП

Актуальність теми.

Необхідність заміщення імпортованих енергоносіїв та наявність значного потенціалу біомаси створює передумови для розвитку біоенергетичного сектору України. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року ставить завдання, що мають забезпечити виконання Україною зобов'язань перед Енергетичним співтовариством, та декларує підвищення обсягу використання різних видів біомаси в енергетичних цілях. Найбільше залучення біомаси буде відбуватись у секторі виробництва теплової енергії. Прогнозоване зростання даного сектору видається неможливим без збільшення обсягів використання соломи зернових культур та відходів деревини від лісозаготівельних робіт. Згідно рекомендацій Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЕС, біомаса, яка використовується в енергетичних цілях, має бути отримана з врахуванням критеріїв сталого розвитку, що включають в себе показники енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів. Така біомаса може відігравати важливу роль не тільки в вирішенні проблеми зміни клімату та підвищенні енергетичної безпеки, а й в економічному зростанні та створенні нових робочих місць, зокрема у сільській місцевості.

Вказане обумовлює необхідність виконання оцінки повного життєвого циклу використання соломи та лісосічних відходів для виробництва теплової енергії з врахуванням аспекту дотримання критеріїв сталого розвитку за показниками енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота підготовлена і виконана у відділі теплофізичних проблем біоенергетики Інституту технічної теплофізики НАН України. Основу роботи складають результати теоретичних та практичних досліджень, проведених автором в рамках науково-дослідних робіт:

«Енергетичний, економічний, екологічний та соціальний аналіз впровадження технологій виробництва енергії із біомаси» (2011-2012 рр. № ДР 0111U001623);

«Дослідження процесів і технологій виробництва теплоти та електроенергії з біомаси» (2012-2014 рр. № ДР 0112U005080);

«Теплофізичні основи переробки біомаси і торфу на паливо» (2012-2013 рр. № ДР 0112U001932);

«Дослідження та вдосконалення технологій спалювання та анаеробного зброджування біомаси аграрного походження» (2015-2020, № ДР 0115U000773)

та проекту в рамках цільової комплексної програми наукових досліджень «Оцінка технічних можливостей, енергетичної, економічної та екологічної ефективності використання біомаси на ТЕС, ТЕЦ та когенераційних станціях в Україні» (2010-2012 рр., № ДР 0110U004845)».

Мета і завдання дослідження.

Метою дисертаційної роботи є визначення енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів при використанні твердого біопалива для виробництва теплової енергії, у відповідності до вимог сталого розвитку упродовж життєвого циклу.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

1. Дослідити існуючі критерії сталого розвитку, методологію оцінки життєвого циклу та можливість її використання для аналізу виробництва теплової енергії із твердого біопалива з використанням показників енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів.

2. Розробити типову модель розрахунку енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів упродовж життєвого циклу використання наступних видів твердого біопалива: тріска з лісосічних відходів, тюкована солома, а також гранули з лісосічних відходів та соломи для виробництва теплової енергії.

3. Провести порівняння ефективності використання тріски з лісосічних відходів, тюкованої соломи зернових культур, гранул з соломи та лісосічних відходів.

4. Визначити найбільш вагомі параметри життєвого циклу та дослідити їх вплив на ефективність процесу отримання теплової енергії із твердого біопалива.

5. Визначити відстані, за яких транспортування твердого біопалива автомобільним транспортом буде відповідати встановленим критеріям сталого розвитку, а проект з виробництва теплової енергії мати задовільні техніко-економічні показники.

6. Оцінити техніко-економічні показники та соціальний вплив впровадження проектів з виробництва теплової енергії з твердого біопалива.

Об'єкт дослідження – процес виробництва теплової енергії із твердого біопалива.

Предмет дослідження - енергетична ефективність та потенціал скорочення викидів парникових газів протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з твердого біопалива.

Методи дослідження.

Для вирішення вказаних завдань використовується методологія оцінки життєвого циклу згідно ДСТУ ISO 14040:2004, ДСТУ ISO 14041:2004 та ДСТУ ISO/TR 14049:2004, які відповідають міжнародним стандартам ISO 14040:1997, ISO 14041:1998 та ISO/TR 14049:2000, відповідно. Також використовуються розрахункові та аналітичні методи.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше адаптовано та застосовано методологію оцінки життєвого циклу для визначення ефективності використання твердого біопалива для виробництва теплової енергії в умовах України, що дозволило удосконалити порівняння енергетичних установок, які працюють на різних видах біомаси.

2. Розроблено розрахунково-методичні моделі визначення енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів при

використанні наступних видів твердого біопалива для виробництва теплової енергії: тріска з лісосічних відходів, тюкована солома, гранули з лісосічних відходів та соломи, які на відміну від відомих моделей додатково враховують критерії сталості та повний життєвий цикл продукту.

3. Вперше виконано комплексне порівняння набору технологічних операцій у ході виробництва теплової енергії з твердого біопалива використовуючи показники сукупних витрат первинної енергії, скорочення викидів парникових газів (двоокису вуглецю та метану) та економічної ефективності у якості критеріїв сталого розвитку.

4. Встановлено залежність економії первинної енергії викопного палива та скорочення викидів парникових газів від сукупності технологій, на яких базується життєвий цикл продукту.

Практичне значення отриманих результатів.

Одержано наступні практично важливі результати:

- На основі розроблених моделей запропоновано методику оцінки процесу виробництва теплової енергії з твердого біопалива, яка дозволяє оцінити економію первинної енергії викопного палива та обсяг скорочення викидів парникових газів залежно від набору застосованих технологій у життєвому циклі продукту.
- Визначено граничні відстані транспортування, які відповідають встановленим значенням критеріїв сталого розвитку, а саме, коефіцієнт перетворення енергії більше п’яти: від 100 до 270 км в залежності від виду твердого біопалива; скорочення викидів парникових газів не менше 35%: від 1050 до 1800 км.
- Доведено, що енергетична та екологічна ефективність використання лісосічних відходів у вигляді тріски та використання соломи у вигляді тюків вища у порівнянні з використанням гранульованої біомаси для виробництва теплової енергії у межах встановлених граничних відстаней транспортування.

- Доведено, що виконання критеріїв сталого розвитку під час виробництва теплової енергії з твердого біопалива може здійснюватися з задовільними економічними показниками.

Розроблені моделі визначення енергетичної ефективності дають можливість проведення аналізу проектів виробництва теплової енергії із біомаси на предмет їх відповідності критеріям сталості перед початком їх реалізації. Результати досліджень було використано при виконанні роботи «Дослідження ринку біопалива рослинного походження в Україні та Київському регіоні» для ПАТ «Київенерго» для обґрунтування величини радіусу транспортування, за якого заготівля біопалива буде доцільною з точки зору економії первинної енергії палива та скорочення викидів парникових газів.

Особистий внесок здобувача.

Постановка завдань досліджень виконана разом з науковим керівником. У співпраці з науковим керівником розроблені науково-методологічні засади аналізу енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів протягом життєвого циклу використання біомаси для виробництва теплової енергії з врахуванням критеріїв сталого розвитку. Автором особисто розроблено розрахунково-методичні моделі визначення енергетичної ефективності виробництва теплової енергії та потенціалу скорочення викидів парникових газів, а також проведено розрахунки коефіцієнту перетворення енергії, сукупних приведених витрат первинної енергії та скорочення викидів парникових газів для лісосічних відходів, соломи та гранул з даних видів сировини з використанням методології оцінки життєвого циклу та розроблених розрахунково-методичних моделей.

У роботах опублікованих разом із співавторами здобувачу належать наступні внески:

1. Гелетуха Г.Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, М.М. Жовмір, Ю.Б. Матвєєв, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2010, т. 32, № 6, с.58-65. Внесок здобувача: проведення

розрахункових досліджень потенціалу соломи та деревини, підготовка матеріалів до публікації.

2. Гелетуха Г.Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 2. Енергетичні культури, рідкі біопалива, біогаз / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, М.М. Жовмір, Ю.Б. Матвєєв, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2011, т. 33, № 1, с.57-64. Внесок здобувача: проведення розрахункових досліджень потенціалу енергетичних культур, підготовка матеріалів до публікації.

3. Гелетуха Г.Г. Аналіз розвитку секторів біоенергетики в Європейському Союзі / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова, Г.І. Гелетуха // Промислова теплотехніка. – 2011, т. 33, № 2, с.71-77. Внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень, підготовка матеріалів до публікації.

4. Гелетуха Г.Г. Аналіз механізмів стимулювання розвитку «зеленої» електроенергетики в Європейському Союзі / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2011, т. 33, № 5, с.35-41. Внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень, підготовка матеріалів до публікації.

5. Гелетуха Г.Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2012, т. 34, № 1, с.87-95. Внесок здобувача: виконання розрахунків енергетичної ефективності та викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з деревини.

6. Гелетуха Г.Г. Аналіз механізмів стимулювання виробництва теплової енергії з біомаси в Європейському Союзі / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2012, т. 34, № 3, с.67-72. Внесок здобувача: огляд міжнародної літератури, пошук даних щодо механізмів стимулювання, підготовка матеріалів до публікації.

7. Гелетуха Г.Г. Возобновляемые источники энергии в Украине: стимулы и барьеры / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, О.И. Дроздова, А.И.

Гелетуха // Промышленная теплотехника. – 2012, т. 34, № 5, с.58-63. Внесок здобувача: виконання аналітичних досліджень, аналіз енергетичного балансу України, підготовка матеріалів до публікації.

8. Гелетуха Г.Г. Аналіз основних положень Дорожньої Карти ЄС з енергетики до 2050 року / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2012, т. 34, № 6, с.64-69. Внесок здобувача: аналіз документу англійською мовою, виділення основних моментів, аналіз цілей щодо розвитку енергетики.

9. Гелетуха Г.Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 1. Солома / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2013, т. 35, № 3, с.56-63. Внесок здобувача: виконання розрахунків енергетичної ефективності, викидів парникових газів та економічних показників при виробництві теплової енергії з соломи.

10. Гелетуха Г.Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 2. Деревина / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Желєзна, О.І. Дроздова // Промислова теплотехніка. – 2013, т. 35, № 4, с.56-62. Внесок здобувача: виконання розрахунків енергетичної ефективності, викидів парникових газів та економічних показників при виробництві теплової енергії з деревини, підготовка матеріалів до публікації.

11. Дроздова О.И. Комплексный анализ технологий производства энергии из твердой биомассы в Украине / Т.А. Железная, О.И. Дроздова // Теплоэнергетика. – 2014, № 4, с.16-20. Внесок здобувача: розрахунок енергетичної ефективності, викидів парникових газів та економічних показників при виробництві теплової енергії з деревини, соломи та енергетичних культур, підготовка матеріалів до публікації.

12. Гелетуха Г.Г. Энергетический и экологический анализ технологий производства энергии из биомассы. Часть 1 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, О.И. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2014, т. 36, № 6, с.78-88. Внесок здобувача: розрахунок енергетичної ефективності, викидів парникових газів за

методикою оцінки життєвого циклу при використанні соломи та деревини, підготовка матеріалів до публікації.

13. Гелетуха Г.Г. Энергетический и экологический анализ технологий производства энергии из биомассы. Часть 2 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, О.И. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2015, т. 37, № 1, с.57-66. Внесок здобувача: розрахунок енергетичної ефективності, викидів парникових газів за методикою оцінки життєвого циклу при використанні енергетичних культур.

Апробація результатів дисертації.

Результати роботи доповідались на міжнародному симпозіумі «Практика впровадження зелених технологій: досвід Німеччини» (м. Київ, 16-17 травня 2013 р.), 8, 9 та 10 Міжнародних конференціях «Енергія із біомаси» (м. Київ, 25-26 вересня 2012 р., м. Київ, 24-25 вересня 2013 р., м. Київ, 23-24 вересня 2014 р.) та на 5th Young Researchers Conference: Biomass. World Sustainable Energy Days 2016 (м. Вельс, Австрія, 24-26 Лютого 2016 р.).

Публікації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 14 друкованих працях (12 статей в провідних фахових виданнях; 1 – у зарубіжному журналі, що належить до наукометричної бази даних; 1 публікація у збірнику праць міжнародного симпозіуму).

Структура дисертації.

Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 75 найменувань. Загальний обсяг дисертації складає 178 сторінок, 41 рисунок і 40 таблиць.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ

1.1. Постановка задачі дослідження

Скорочення споживання природного газу, розвиток енергозбереження та вирішення нагальних екологічних проблем – найбільш актуальні задачі, що стоять сьогодні перед Україною. Енергетична безпека країни суттєво залежить від ступеню диверсифікованості енергоносіїв, які вона використовує. На сьогодні основним паливом в Україні залишається природний газ – його частка в структурі споживання первинних енергоносіїв складає близько 40%. При цьому, за рахунок власник запасів Україна забезпечує себе газом лише на 35%, тоді як 65% необхідного обсягу приходиться імпортувати, в першу чергу, з Росії. На частку вугілля припадає 28% загального споживання первинних енергоносіїв, нафти та нафтопродуктів – 12%, атомної енергії – 18%. Внесок відновлюваних джерел енергії до енергобалансу становить близько 2,73% (загального постачання первинної енергії), в тому числі великої гідроенергетики – 1,03%. Частка біомаси у загальному постачанні первинної енергії 1,62% [1].

На противагу ситуації в Україні, тверда та газоподібна біомаса, зокрема деревина та деревні відходи, що використовується для виробництва теплової та електричної енергії а також охолодження, є найбільшим джерелом відновлюваної енергії у Європейському Союзі, та очікуються стати такими, що забезпечать ключовий вклад до цілей Європейського Союзу по досягненню 20% відновлюваної енергії у 2020 році (дані цілі закладено у директиві 2009/28/ЄС та продубльовано у Національних планах дій з відновлюваної енергетики кожної країни Європейського Союзу) [2-4]. Наразі біомаса - четверте за значенням паливо у світі, яке дає понад 1,5 млрд. т у.п. на рік [5].

Україна також має значний потенціал біомаси, що є економічно доцільним для виробництва енергії. В залежності від врожайності основних

сільськогосподарських культур він становить близько 19 млн т н.е./рік, що складає 16% загального постачання первинної енергії в Україні, або 27% кінцевого споживання первинної енергії [6]. Основними складовими потенціалу є первинні відходи сільського господарства (солома, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника) та енергетичні культури, вирощування яких у промислових масштабах активно розвивається в країні останніми роками. Загалом економічний потенціал відходів сільського господарства складає 12,2 млн. т у.п./рік, енергетичних культур – 10 млн. т у.п./рік.

Наразі, (за даними енергетичного балансу 2014 року) частка біомаси в валовому кінцевому енергоспоживанні становить 2,74%, що складає 65% від усіх ВДЕ або 1,68 млн. т н.е. (табл. 1.1). У порівнянні з 2013 р. спостерігається ріст внеску біомаси до загального постачанні первинної енергії – на 2,7%, з 1,88 до 1,93 млн. т н.е./рік (з 2012 по 2013 ріст становив 23%).

Таблиця 1.1

Місце ВДЕ та біомаси в енергетичному балансі України

Показники	2010	2011	2012	2013	2014
Частка відновлюваних джерел у ЗППЕ	2,00%	1,99%	2,02%	2,73%	2,42%
Частка відновлюваних джерел у ВКЕ	2,82%	2,66%	2,80%	3,45%	3,88%
Біопалива/відходи у ЗППЕ, млн. т н.е.	1,48 (1,12%)	1,56 (1,23%)	1,52 (1,23%)	1,88 (1,62%)	1,93 (1,67%)
Біопалива/відходи у ВКЕ, млн. т н.е.	1,40 (1,86%)	1,45 (1,90%)	1,47 (2,00%)	1,61 (2,32%)	1,68 (2,74%)
Частка біопалив/відходів від усіх ВДЕ у ВКЕ	62%	67%	68%	63%	65%

Нині на енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси – 2,7 млн. т у.п./рік. Головним чином це деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 86% всього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (8%). Найменш

активно застосовуються рослинні відходи – 94 тис. т соломи на рік, що становить <1% економічного потенціалу соломи в Україні.

Національний план дій з відновлюваної енергетики (НПДВЕ) на період до 2020 року ставить завдання, що мають забезпечити виконання Україною зобов'язань перед Енергетичним співтовариством, та декларує підвищення обсягу використання різних видів біомаси в енергетичних цілях. План був затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р. Згідно даного документу в Україні до 2020 року частка відновлюваних джерел енергії в кінцевому енергоспоживанні повинна становити не менше 11%. Так, виробництво електроенергії з твердої біомаси повинно зрости з 150 ГВт·год у 2014 році до 2950 ГВт·год до 2020 року, а загальний внесок (кінцевий обсяг енергоспоживання) твердої біомаси для досягнення індикативних цілей на 2020 рік у системах опалення та охолодження повинен зрости з 2260 тис. т н.е. у 2014 році до 4850 тис. т н.е. у 2020 році.

Прогноз згідно даних НПДВЕ та енергетичного балансу України показує, що основний ріст споживання біопалив для виробництва теплової енергії в Україні буде відбуватись за рахунок збільшення використання аграрних відходів у вигляді соломи зернових культур та ріпаку, а також стебел кукурудзи та соняшнику та гранул з соломи.

Ґрунтуючись на проведеному вище аналізі світових тенденцій та планів розвитку галузі біоенергетики в Україні, у поточному дослідженні буде розглянуто виробництво теплової енергії з твердої біомаси, а саме тих її видів, які наразі найбільше використовуються – деревна біомаса, та тієї, що володіє найбільшим потенціалом – відходи сільського господарства, а саме солома злакових культур.

Біомаса, яка виробляється чи використовується в енергетичних цілях, має бути вироблена з дотриманням критеріїв сталого розвитку. Такі критерії включають недопущення негативного впливу на оточуюче середовище (наприклад, виснаження земель, забруднення повітря), збереження

біорозмаїття, уникнення конкуренції з виробництвом продуктів харчування, сприяння економічному розвитку регіону та інші.

Продукт, що отримується в процесі роботи будь-якої установки буде вважатись таким, що отриманий з дотриманням критеріїв сталого розвитку, коли його виробництво включатиме екологічний та соціальний фактори та мінімізуватиме свій вплив протягом свого життєвого циклу по всьому ланцюгу постачання по відношенню до соціально-економічного оточення. Сталий розвиток – загальна концепція стосовно необхідності встановлення балансу між задоволенням сучасних проблем людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їх потребу у безпечному і здоровому довкіллі.

Директива Європарламенту з відновлюваних джерел енергії 2009/28/ЕС [7] визначає та робить обов'язковими дотримання критерії сталості для транспортних біопалив та біорідин, проте не вводить обов'язкові критерії сталості для твердої та газоподібної біомаси, що використовується для виробництва електроенергії, опалення та охолодження. ***Єврокомісією були розроблені рекомендовані схеми сталості для даних видів біомаси, а країни-члени наразі знаходяться в процесі запровадження національних критеріїв сталості для твердої біомаси*** [8].

Наразі Україна знаходиться на початковому етапі імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС (прийнято перше розпорядження про затвердження Плану імплементації даної директиви) [9], та анонсувала лише розробку критерії сталості для рідкого та газоподібного палива, що виробляється з біомаси та використовується на транспорті, а також для рідкого палива, що виробляється з біомаси та призначається для енергетичного використання, іншого ніж транспорт, враховуючи виробництво електричної, теплової енергії та енергії на охолодження. Проте у подальшому, відповідно до вимог угоди про Асоціацію України та ЄС, постане питання розробки національних критеріїв і для твердої біомаси.

Одним із завдань даної дисертаційної роботи є дослідження енергетичних, екологічних та економічних показників ефективності

впровадження біоенергетичних технологій, що можуть розглядатись як критерії сталості.

Рекомендовані критерії сталості для твердої та газоподібної біомаси, що використовується для виробництва електроенергії, опалення та охолодження згідно рекомендацій [8] діляться на чотири групи:

1) Критерії щодо захисту біорозмаїття, контроль за змінами запасів вуглецю в ґрунтах;

2) Контроль за землекористуванням та змінами в землекористуванні (включаючи непрямі зміни);

3) Вимоги щодо скорочення викидів парникових газів при використанні біомаси (методика оцінки життєвого циклу як інструмент розрахунку);

4) Ефективність перетворення енергії: зменшення споживання первинної енергії палива та підвищення ефективності виробництва енергії є найголовнішими завданнями Енергетичного Співтовариства. Для сировини, що може використовуватись у різних процесах перетворення, надзвичайно необхідним є визначення найбільш ефективної технології.

Україна є членом Енергетичного Співтовариства, тому вимоги та рекомендації Директиви, що регламентує використання відновлюваних джерел енергії, мають виконуватись. А у зв’язку з необхідністю виконання цілей НПДВЕ має бути виконана робота, в якій буде розглянуто види біомаси, які наразі використовуються для виробництва енергії в Україні (деревна біомаса) та ті, які робитимуть найбільший вклад в майбутньому (солома) на предмет їх використання з дотриманням критерії сталого розвитку. Досягнення енергетичної безпеки та покращення екологічної ситуації є першочерговими завданнями для України, тому енергетичне використання біомаси буде проаналізовано з врахуванням двох останніх аспектів сталості.

1.2. Методологія оцінки життєвого циклу

Одним з варіантів отримання відповідей на запитання щодо енергетичної та екологічної ефективності впровадження технологій отримання енергії із біомаси є проведення порівняльного аналізу, що ґрунтується на результатах розрахунку масових та енергетичних балансів, балансів викидів парникових газів та оцінки вартості впровадження тієї чи іншої технології [10-12]. Результати даного аналізу можуть класифікуватись як енергетичні, екологічні та економічні показники (критерії) ефективності (сталості) [13,8]. Варто зазначити наявність у дослідженнях великої кількості критеріїв, за якими проводиться аналіз і інтерпретуються отримані результати. Проте, їх розрахунок завжди виконується за методикою так званої «оцінки життєвого циклу» (ОЖЦ) [13-17]. Розрахунок енергетичних та екологічних показників в рамках оцінки життєвого циклу враховує всі дані про енергетичні, матеріальні потоки та викиди в навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу певної технології (для біоенергетики, наприклад, від моменту заготівлі сировини, через її попередню обробку до кінцевого використання).

Згідно стандарту ISO 14040 [18], методика ОЖЦ включає 4 етапи: 1 – визначення мети аналізу та його рамок, 2 – інвентаризація (опис) життєвого циклу (визначення необхідних показників для розрахунків), 3 – оцінка впливів життєвого циклу технології, 4 – аналіз результатів (рис. 1.1).

Методологія оцінки життєвого циклу дозволяє всебічно вивчити екологічні аспекти певної технології і взяти до уваги питання сталого розвитку. Як випливає із назви, при оцінці життєвого циклу технології досліджується її вплив на оточуюче середовище від самого початку до самого кінця її застосування, так званий підхід «from cradle to grave» [19] – «від колиски до захоронення». При цьому дуже важливим моментом є визначення меж ОЖЦ, з тим щоби, з одного боку, врахувати всі важливі технологічні елементи, а з іншого боку, не зайти в надто віддалені області впливу технології, для яких неможливо отримати достовірні вихідні дані для розрахунків.

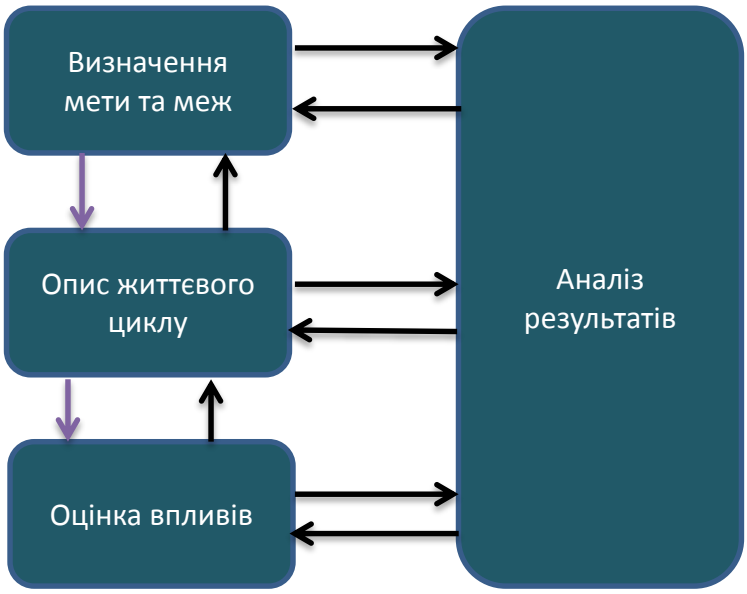

Рис. 1.1. Стадії оцінки життєвого циклу

У національних стандартах з оцінки життєвого циклу [20-22], які являються тотожними перекладами відповідних міжнародних стандартів використовуються наступні терміни та визначення, що будуть вживатись в даній роботі:

Екологічний аспект: елемент діяльності, продуктів чи послуг організації, який може взаємодіяти з довкіллям.

Функціональна одиниця (ФО): кількісна характеристика функціональної системи продукту, на яку посилаються досліджування з оцінки життєвого циклу. ФО є мірою, що характеризує функціональні виходи системи продукту. Першочерговою метою ФО є забезпечення еталону, за яким співвідносяться входи та виходи.

Життєвий цикл: послідовні та пов’язані між собою ступені системи продукту – від придбання сировини або добування природних ресурсів до остаточної утилізації відходів системи.

Оцінювання життєвого циклу (ОЖЦ): об’єднування та оцінювання входів, виходів та потенційних екологічних впливів системи продукту протягом її життєвого циклу.

Система продукту: сукупність матеріально та енергетично пов’язаних елементарних процесів, яка виконує одну або декілька визначених функцій.

Сировина: первинний або вторинний матеріал, який використовують для виробництва продукту.

Межа системи: спряження між системою продукту та довкіллям або іншими системами продукту.

Одиничний процес: найменша частина системи продукту, для якої збираються дані під час оцінювання життєвого циклу.

Енергетичний потік: вхідний або вихідний потік стосовно одиничного процесу або системи продукту, який кількісно виражається в одиницях енергії. Примітка: Енергетичний вхідний потік називають вхідною енергією, енергетичний вихідний потік – вихідною енергією.

Кінцевий продукт: продукт, який не вимагає додаткового перетворення перед його використанням.

Аналіз чутливості: системна процедура для встановлення впливу на результати дослідження вибраних методів і даних.

Система продукту – це набір одиничних процесів, пов'язаних між собою потоками проміжних продуктів, які виконують одну або більше заданих функцій. На Рис. 1.2 наведено приклад системи продукту. Опис системи продукту охоплює одиничні процеси, елементарні потоки та потоки продукту через границі системи (спрямовані в систему або з неї), а також потоки проміжних продуктів усередині системи.

Системи продукту поділяють на набір одиничних процесів. Одиничні процеси поєднані один з одним потоками проміжних продуктів та (або) відходів. Прикладами елементарних потоків, що входять до одиничного процесу, є сира нафта і сонячне випромінювання; прикладами елементарних потоків, що залишають одиничний процес, є емісія у повітря, скиди у воду та радіація, прикладами потоків проміжного продукту є основні матеріали та комплектувальні деталі.

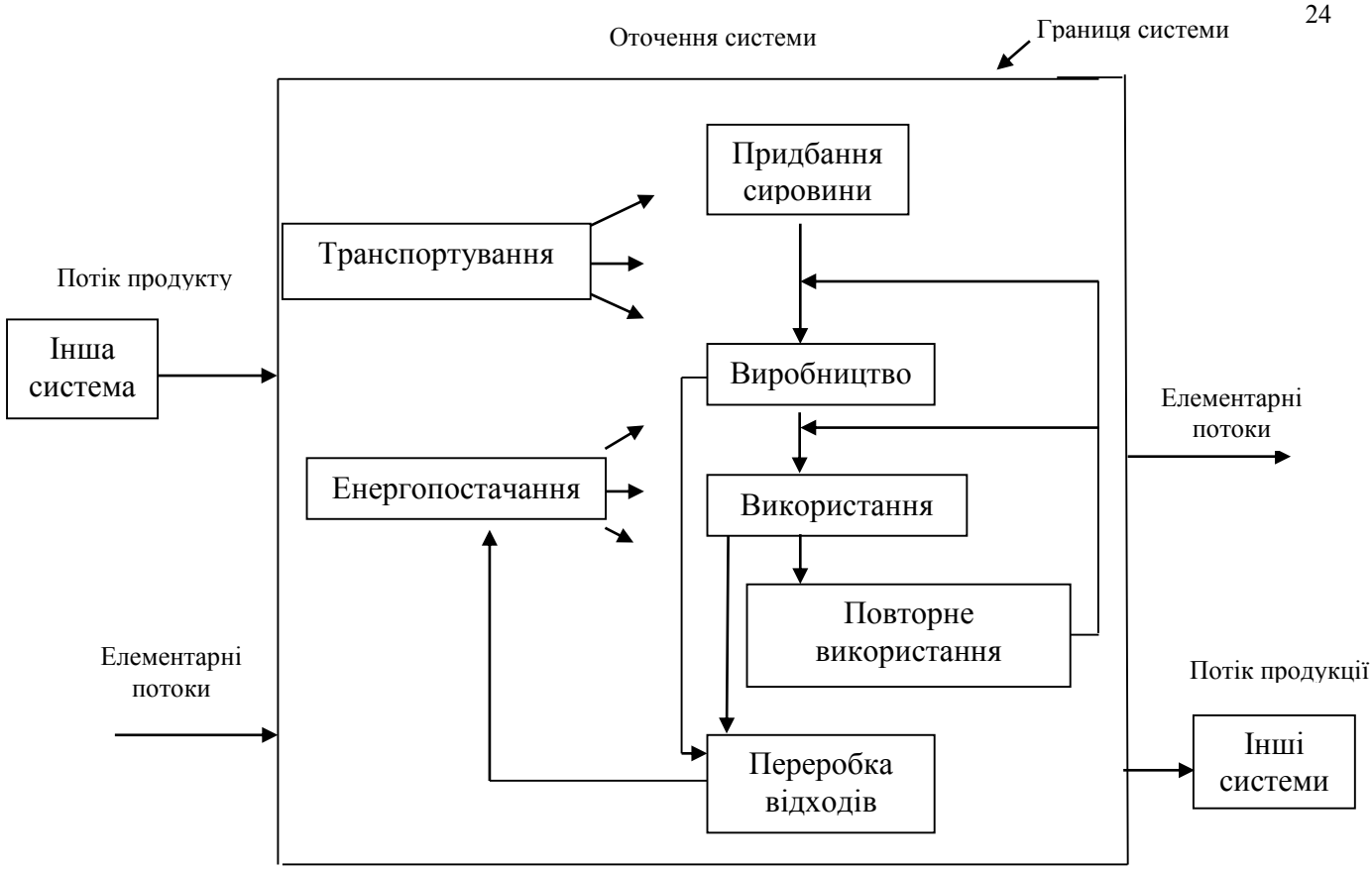

Рис. 1.2. Приклад системи продукту

Для дослідження ОЖЦ розробляють моделі, що описують ключові елементи фізичних систем. Часто буває недоцільно досліджувати всі взаємозв'язки між усіма одиничними процесами в системі продукту або всі взаємозв'язки між системою продукту та системою довкілля. Вибір елементів фізичної системи для моделювання залежить від мети і області дослідження. Використовувані моделі повинні бути описані, а допущення, покладені в основу зробленого вибору, ідентифіковані.

Границі системи визначають одиничні процеси, що включаються до модельованої системи. В ідеальному випадку систему продукту слід моделювати таким чином, щоб вхідні та вихідні потоки на її межах були елементарними. Оскільки у багатьох випадках для проведення такого дослідження немає достатнього часу, даних або ресурсів, приймають рішення щодо того, які одиничні процеси будуть змодельовані в дослідженні і з яким рівнем детальності вони повинні бути досліджені. Немає необхідності

витрачати ресурси на кількісну оцінку вхідних і вихідних потоків, які не призведуть до значної зміни загальних висновків дослідження.

Також приймають рішення щодо того, які викиди в навколишнє середовище і з яким рівнем детальності повинні бути оцінені. Критерії вибору вхідних і вихідних потоків мають бути легко зрозумілими і описаними. Будь-яке рішення про те, щоб не враховувати стадії життєвого циклу, процеси або вхідні/вихідні потоки, повинно бути чітко сформульоване і обґрунтоване. Критерії, використані підчас встановлення границь системи, визначають ступінь довіри, яка гарантує, що результати дослідження не буде скомпрометовано і що мети даного дослідження буде досягнуто.

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що методологія Оцінки Життєвого Циклу являється потужним інструментом, що може використовуватись для визначення потреби в первинних ресурсах та екологічних впливів від усього процесу та матеріалів, що беруть участь у виробництві продукту.

Для визначення конкурентоспроможності біоенергетичної системи з точки зору її енергетичних та екологічних показників роботи, вона має бути порівняна або з іншою аналогічною системою, або з системою на викопному паливі [23]. Границі систем, що порівнюються, мають бути вибрані таким чином, щоб їх кінцевий продукт був однаковим. Тип технології, масштаб установки, супутні продукти як в біоенергетичних, так і в установках на викопному паливі можуть впливати на ефект від впровадження біоенергетичної установки. Оскільки невеликі зміни в методичних припущеннях та вхідних параметрах можуть мати великі впливи на показники ефективності, всі системи, що порівнюються мають бути детально описані, а припущення прозоро перераховані [16].

1.3. Огляд показників, що можуть використовуватись в якості критеріїв енергетичної та екологічної ефективності

Як вже було зазначено, у зв'язку з підвищенням рівня використання біомаси для виробництва енергії постає запитання обґрунтованого її споживання по відношенню до зменшення викидів парникових газів та залежності від викопних видів палива. Оцінка життєвого циклу являється найкращою методологією для оцінки екологічних впливів, що пов'язані з виробництвом біопалив, шляхом ідентифікації як вхідних енергетичних та матеріальних потоків, так і відходів та викидів у навколишнє середовище. Більше того, ОЖЦ дає можливість визначення шляхів зменшення цих впливів [24-25].

Беручи до уваги різноманіття процесів, що передують енергетичному використанню біомаси (в залежності від типу біомаси це може бути посадка, збір урожаю, заготівля, подрібнення та ін.), та дискусію щодо їх питомого вкладу, у багатьох дослідження за допомогою ОЖЦ проводиться детальне порівняння даних процесів задля визначення типу біомаси, що має найменший вплив при її використанні з метою виробництва енергії [26-28].

Багато досліджень з оцінки життєвого циклу енергетичного використання біомаси вивчають вплив технології заготівлі сировини [29-30], оптимальних логістичних схеми та методів поводження з відходами (солома, відходи деревини та ін.) [31] на енергетичну та екологічну ефективність. Загалом, багатьма авторами відзначено, що при аналізі усіх наукових робіт за даною тематикою, неможливо проводити однозначне їх порівняння: результати можуть варіюватись навіть при розгляданні явно однакових біоенергетичних систем. Різниця у результатах досліджень зумовлена наступними причинами: вид та тип управління сировиною, технологія перетворення, границі системи продукту, референтна система та ін. [16].

Необхідність усестороннього розуміння екологічних впливів та переваг енергетичного використання біомаси зумовлює наявність праць щодо:

перспектив майбутнього розвитку біоенергетики в восьми Європейських країнах [29], можливості використання біомаси для виробництва електроенергії загалом [32] та в контексті порівняння зі спалюванням вугілля та сумісним спалюванням з метою отримання електроенергії [33], оцінки різних енергетичних систем на біомасі по відношенню до їх потенціалу збереження первинної енергії палива [34].

Задля визначення та порівняння оптимального варіанту утилізації біомаси, що є наявною у конкретному регіоні, проводиться аналіз життєвого циклу технологій отримання енергії із біомаси з врахуванням місцевих умов та конкретних показників, характерних для даного регіону. Так, для умов Італії [35] та Великобританії [19] розглядаються різні варіанти утилізації відходів лісозаготівлі, для умов Португалії – використання міскантусу як енергетичної культури [12], для Греції та Данії – використання соломи пшениці [36, 37] та інші.

Також, при аналізі наукових праць з оцінки енергетичної та екологічної ефективності технологій отримання енергії із біомаси, було встановлено, що в них розглядається доволі широкий спектр параметрів, які можна використовувати в якості критеріїв енергетичної/екологічної ефективності. Узагальнюючу оцінку можна знайти у дослідженні [38], в якому було детально проаналізовано майже 100 робіт з ОЖЦ біоенергетичних технологій, виконаних протягом 15 років. Дослідження покриває як статті з оригінальними результатами, так і всі існуючі оглядові статті в даному напрямку.

На рисунку 1.3 наведено інформацію щодо географічного розташування та меж досліджень, які були обрані в рамках виконання комплексного аналізу біоенергетичних технологій різними авторами.

Більше половини досліджень було проведено для Європейських та Північноамериканських країн, та було розглянуто широких діапазон кінцевих продуктів та біомасової сировини. Варто звернути увагу на те, що жодного дослідження не було виконано для України, Росії та Білорусі, незважаючи на

великі ресурси біомаси, наявні в даних країнах (виконувався аналіз англомовних статей).

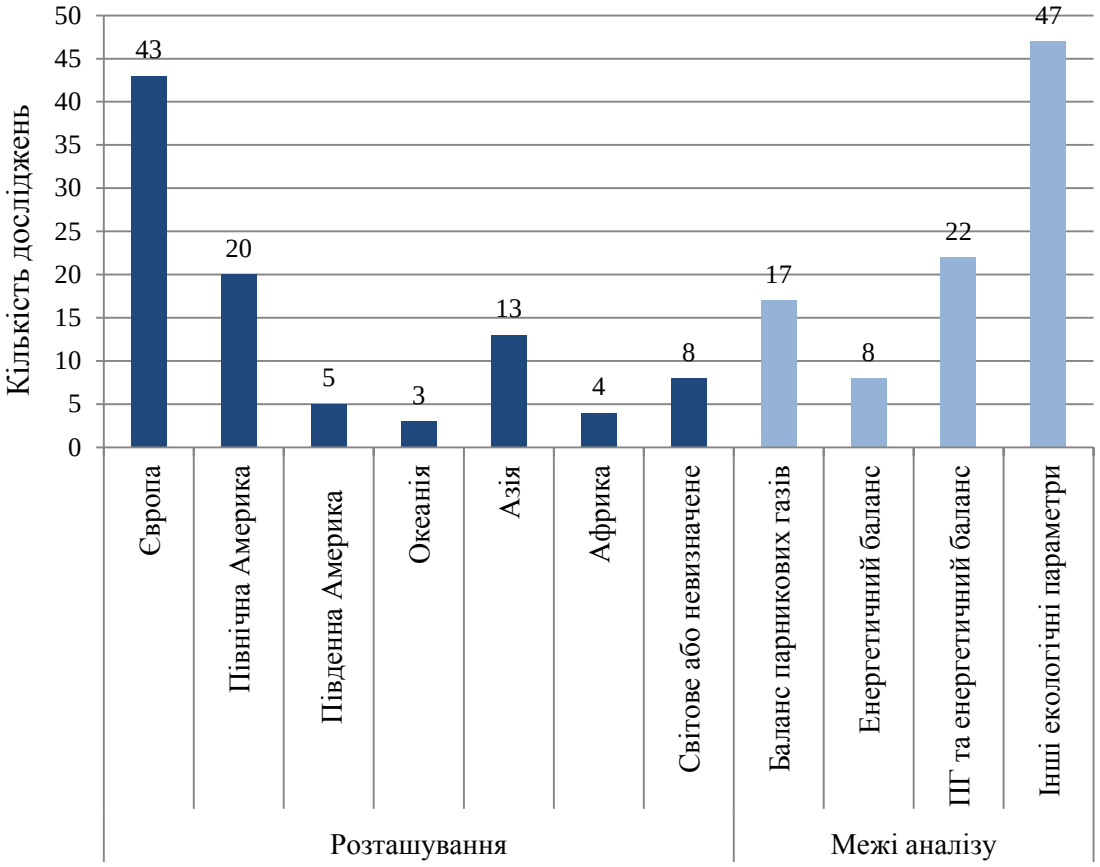

Рис. 1.3. Географічне розташування та тип досліджень життєвого циклу

Відносно меж досліджень варто відзначити, що половина статей обмежує оцінку аналізом енергетичного балансу та балансу парникових газів, без розгляду екологічного впливу біоенергетичних технологій за будь-якими іншими параметрами (вичерпання надр, пов'язане з добуванням мінералів та викопних палив, виснаження озонового шару, токсичність шкідливих речовин для людей, для прісної та морської води, ґрунту, фотохімічне окислення, кислотування, та ін.). *Цей підхід зазвичай аргументується очевидністю того факту, що пом'якшення зміни клімату та скорочення споживання викопного палива є основними рушійними силами для світового розвитку біоенергетики.* Інша половина статей приводить дані по аналізу життєвого циклу з врахуванням також і інших категорій впливів (умовно назвемо їх іншими екологічними параметрами). Загалом, близько 90% досліджень включають розрахунок викидів парникових газів, тоді як у 71% проводиться розрахунок споживання первинної енергії. На додаток до викидів парникових газів, деяка

кількість статей (20%) містить дані про інші викиди в навколишнє середовище, такі як NO_x, PM_{10}, SO_x та інші. Інші категорії екологічного впливу біоенергетичних технологій оцінюються у 20-40% досліджень.

Виходячи з інформації щодо відсутності аналогічних досліджень для України, видається необхідним проведення аналізу біоенергетичних технологій, починаючи з найбільш розповсюджених критеріїв ефективності, а саме – енергетичного та балансу парникових газів.

На рисунку 1.4 показано розподілення проаналізованих досліджень за видом кінцевої продукції (вид біопалива для транспорту та кінцевого енергоносія для безпосереднього виробництва енергії) та типом біомасової сировини.

У секторі транспортних палив однакова кількість досліджень присвячена біопаливам першого та другого покоління. Загалом, більшість статей присвячена виробництву біоетанола та біодизеля, які є найбільш розповсюдженими моторними біопаливами з тих, які наразі виробляються в світі. Також, велика кількість досліджень присвячена синтетичним біопаливам, які знаходяться на перед-комерційній стадії свого розвитку: біометан, дизель Фішера-Тропша та інші.

Щодо досліджень, в яких проводиться усесторонній аналіз використання біомаси для виробництва теплової та електричної енергії, то (як видно з рисунку 1.4), їх кількість є значно меншою, ніж кількість статей у галузі транспортних палив. Причиною цього можна вважати той факт, що в той час як електроенергія та теплова енергія можуть бути вироблені з різного роду альтернативних джерел (вітер, сонце, гідроенергія, біомаса), єдиною альтернативою викопним ресурсам для виробництва транспортних палив є біомаса. Цей аспект у поєднанні з підвищенням необхідності заміщення транспортних палив у країнах, що розвиваються, може бути причиною того, що більшість наукових досліджень фокусується на виконанні ОЖЦ саме для транспортних палив.

Різні види біомаси можуть використовуватись для виробництва різних форм кінцевої енергії. Наприклад, відходи деревини чи енергетичні культури можуть бути використані або з метою виробництва електроенергії, теплової енергії, комбінованого виробництва теплової та електроенергії, або як сировина для виробництва рідкого біопалива. Ключову роль відіграють шляхи постачання біомаси, оскільки джерело сировини має значний вплив на

характеристики життєвого циклу. Біомаса для енергетичних цілей може бути отримана двома шляхами: як відходи від виробництва іншої продукції, та як спеціально вирощувана енергетична культура. Сировиною у вигляді відходів є матеріали органічного походження, що виникають як побічні продукти, та відходи сільського та лісового господарства, харчової та лісової промисловості та домогосподарств [39]. Спеціальні енергетичні культури вирощуються саме з метою виробництва енергії.

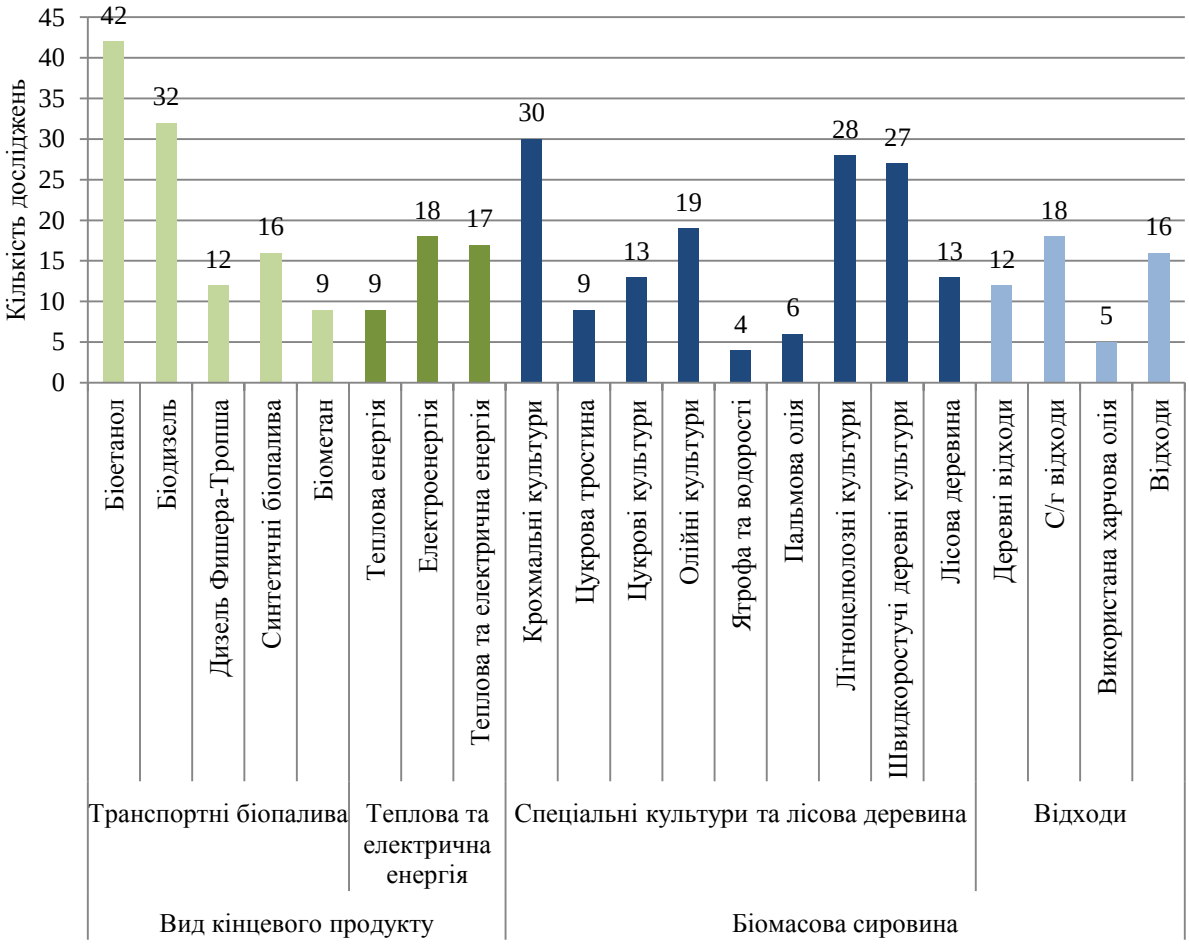

Рис. 1.4. Вид кінцевого продукту та біомасової сировини у проаналізованих дослідженнях

Оскільки відходи біомаси являються побічним продуктом та утворюються за будь-яких умов ведення основного виду діяльності, їх енергетичне використання зазвичай не підвищує спричиняє негативного впливу на оточуюче середовище. Проте, існує декілька винятків: видалення відходів лісового та сільського господарств з місця їх утворення може призвести до зниження вмісту вуглецю та поживних речовин у ґрунтах; розвиток ринку

відходів може створити умови, за яких первинне виробництво стане більш привабливим, у зв'язку з чим будуть збільшуватись об'єми виробництва, та, як наслідок, екологічні впливи.

Як показано на правій частині рисунку 1.4, дослідження життєвого циклу біоенергетичних технологій покривають широкий діапазон видів сировини, яка використовується. Велика кількість досліджень використання спеціальних енергетичних культур та крохмальних культур пов'язана з розбіжністю думок багатьох науковців щодо доцільності їх використання для виробництва енергії. Використання такої сировини в енергетичних цілях може спричинити виникнення конкуренції між продуктами харчування, кормами та енергією – під її вирощування мають виділятись додаткові землі. В той самий час, такі види сировини як деревні, сільськогосподарські та інші відходи є безпосередньо доступними. Велика кількість досліджень виконана також для лігноцелюлозної біомаси, що пов'язано з найбільшим поширенням цього ресурсу в світі та його місцевою наявністю у більшості країн.

Приблизно однакова кількість досліджень зроблена для відходів лісового та сільського господарств та для інших відходів. У контексті досліджень життєвого циклу даних видів сировини розглядається їх потенціал для забезпечення недорогої та екологічно привабливої біоенергетичної системи. Розглядається сукупність факторів, що впливають на енергетично та екологічну ефективність таких систем: технологія збору відходів, пакування, щільність, частина відходів, що залишається на площадці (або у полі), ступінь механізації операцій з обробітку відходів та ін.

В літературних джерелах не існує уніфікованої функціональної одиниці, яка була б обрана при виконанні різних досліджень, що ускладнює порівняння між собою результатів аналізу життєвого циклу. Згідно розглянутих досліджень, 4 типи функціональних одиниць можуть бути вибрані при виконанні оцінки життєвого циклу біоенергетичних технологій:

1) Вхідна біомаса – в масовому або енергетичному вираженні. При виконанні аналізу за даним типом ФО, його результати не залежать від технології перетворення біомаси та типу кінцевої продукції. Ця ФО може бути обрана для досліджень, метою яких є порівняння різних варіантів утилізації одного виду біомасової сировини.

2) Потік «вихідної» енергії: наприклад, одиниця виробленої теплової або електричної енергії або кілометр транспортних послуг, що надаються з

використанням виробленого рідкого біопалива. Цей тип ФО вибирається при порівнянні однієї технології, при реалізації якої використовуються різні типи сировини.

3) Одиниця, прив'язана до сільськогосподарських земель: одиниця по відношенню до гектара сільськогосподарських земель, на яких вирощується БМ. Ця одиниця має обов'язково використовуватись у випадках, коли розглядається варіант спеціально вирощуваних енергетичних культур.

4) Рік: результати порівняння можуть бути представлені по відношенню до року у тому випадку, коли у системи є декілька видів кінцевої продукції.

Як видно з рисунку 1.5, у більшості досліджень було обрано функціональну одиницю по відношенню до потоку «вихідної» енергії. ***Саме така одиниця буде використовуватись і в даній роботі через необхідність порівняння технологій отримання теплової енергії з різних видів біомасової сировини в умовах України.***

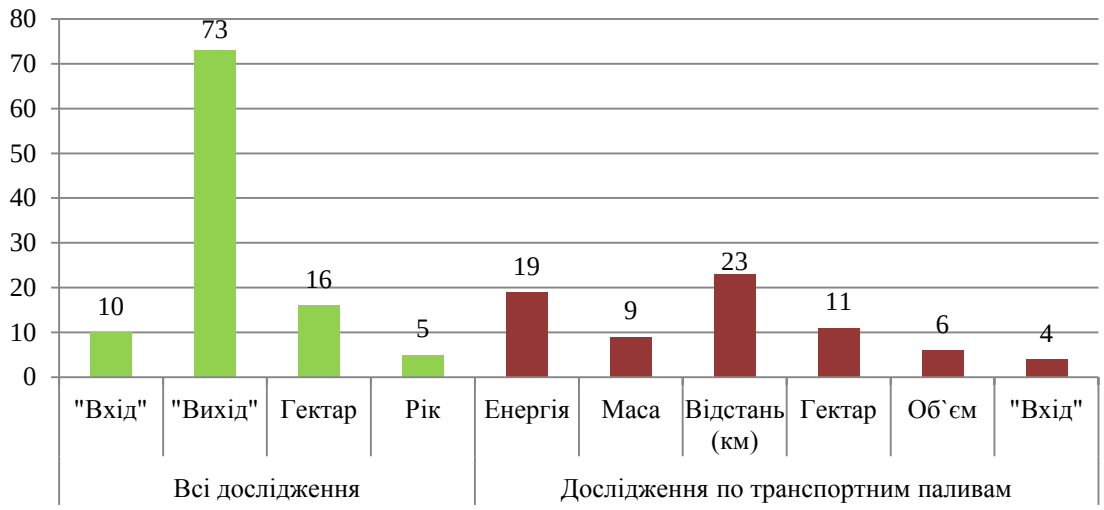

Рис.1.5. Вибір функціональної одиниці

1.4. Огляд результатів оцінки життєвого циклу використання твердої біомаси з метою отримання теплової енергії

Як вже було зазначено, дослідження, що будуть проводитись в рамках даної роботи, будуть відноситись саме до твердої біомаси, потенціал якої є найбільшим для умов України. Також розглядатиметься виробництво теплової енергії, як найбільш актуальної для умов України у контексті заміщення природного газу. Тому нижче детальніше розглянемо дослідження, які присвячені аналізу життєвого циклу технологій отримання теплової енергії із твердої біомаси, а в якості критеріїв енергетичної та екологічної ефективності розраховується енергетичний баланс та баланс парникових газів.

Попри наявність вітчизняних робіт з визначення енергетичної ефективності використання біомаси (автори Голуб Г.А., Кухарець С.М., Дубовський С.В., Кондратюк Г.Г., Білодід В.Д. та ін.), встановлено відсутність врахування положень сталого розвитку та використання методології оцінки життєвого циклу при їх виконанні. Як видно з попереднього розділу найбільше робіт з оцінки життєвого циклу використання біомаси виконано для Європейських країн та для виробництва транспортних біопалив. Оцінка життєвого циклу проводиться з врахуванням місцевих умов та з порівнянням різних варіантів утилізації біомаси, задля визначення системи, що матиме найменший вплив за обраними показниками.

Одним з досліджень по ОЖЦ використання соломи з метою виробництва енергії є робота [40], метою якої є оцінка сталості виробництва енергії із соломи у найбільшому сільськогосподарському регіоні Іспанії. Проводився аналіз викидів парникових газів та енергетичного балансу виробництва електроенергії на ТЕС потужністю 25 $МВт_е$, паливом для якої є тюкована солома злакових культур (жита, тритикале[1], вівса). В даному випадку вважається, що ці культури спеціально вирощуються для використання їх соломи як палива. Результати аналізу порівнювались з використанням природного газу для виробництва електроенергії, та проводились розрахунки для великого діапазону сценаріїв, що базуються в першу чергу на варіюванні урожайності 12 різних генотипів озимих культур.

[1] Тритикале – штучний гібрид жита й пшениці.

Визначено, що врожайність використовуваних культур, яка в дослідженні коливалась в діапазоні 3-11 сух. т/га, має великий вплив на енергетичні та екологічні показники роботи ТЕС. Це пояснюється тим, що споживання пального на виконання ряду операцій по збиранню біомаси (наприклад, скошування, тюкування) залежить від врожайності сільськогосподарської культури на даній земельній ділянці.

Авторами дослідження було отримано результати, які показують що використання соломи для виробництва електроенергії призводить до значного скорочення викидів ПГ у порівнянні з використанням природного газу. Проте, результати також вказують на те, про низька урожайність біомаси (як наслідок низької урожайності озимих культур) може призвести до незначного зниження викидів ПГ. Це означає, що в залежності від витрат енергії на збирання та підготовку біомаси робота ТЕС може бути як достатньо ефективною з точки зору енергетичного балансу (відношення затраченої невідновлюваної енергії до отриманої EYC_{NR}[2]>2), так і енергетично неефективною (EYC_{NR}<2). Межа відповідає врожайності сільськогосподарських культур порядку 7 сух. т/га (Рис. 1.6).

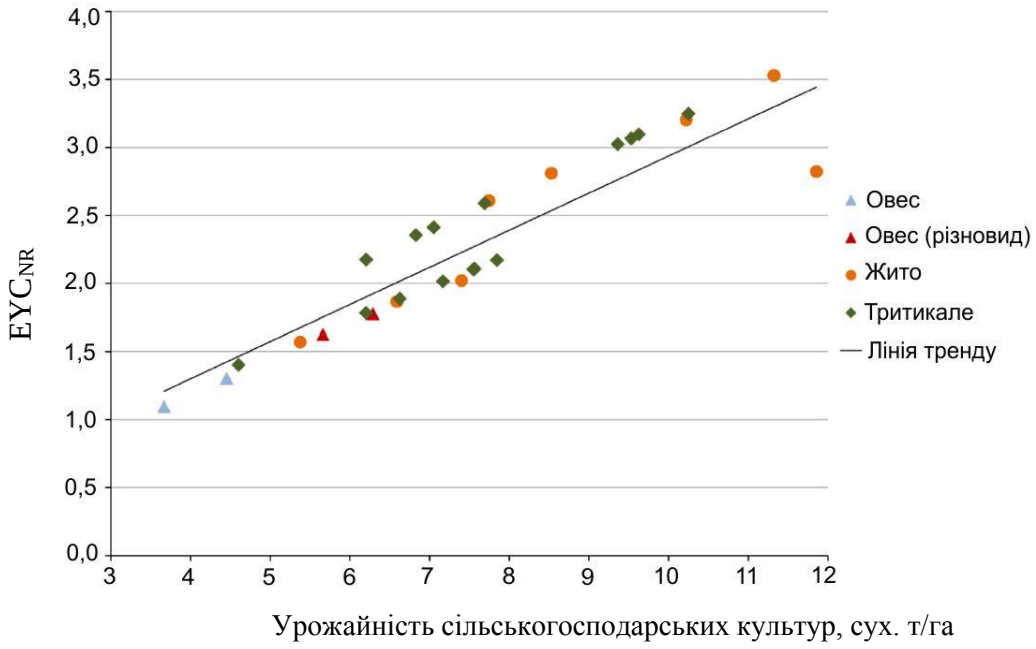

Рис. 1.6. Залежність коефіцієнту виходу енергії від врожайності використовуваних сільськогосподарських культур

[2] Детальний опис цього показника буде проведено у розділі 3 даної роботи.

В даній роботи зроблено акцент на зміну врожайності культур, проте не береться до уваги фактор відстані транспортування біомаси, що є недоліком. Розглядається лише одна відстань, на яку перевозиться солома (60 км), хоча видається, що даний показник буде мати значний вплив на енергетичні та екологічні показники життєвого циклу використання соломи в енергетичних цілях, оскільки на етапі транспортування відбувається значна витрата викопного палива.

В роботі [41] проводиться порівняння технології прямого спалювання біомаси з різними видами її газифікації, використовуючи питомі сукупні витрати енергії (відношення суми всіх вхідних енергетичних потоків до вихідних) як критерій енергетичної ефективності. Аналіз енергетичного використання таких видів біомаси як відходи лісозаготівлі, міскантус, швидкоростучі плантації (тополя) проводиться з використанням методики ОЖЦ. Пряме спалювання біомаси порівнюється з газифікацією в циркулюючому киплячому шарі. В якості еталонної (тієї, з якою порівнюється) розглядається технологія спалювання природного газу з метою виробництва енергії.

З графіку на рисунку 1.7 видно, що показник питомих сукупних витрат енергії (ced[3]) варіюється від 1,45 до 1,77, що є більшим від значення для природного газу на рівні 1,37 (тобто на виробництво одиниці кінцевої енергії затрачується більше первинної енергії на всіх стадіях життєвого циклу технології). Також, видно, що показники для технології газифікації різних видів біомаси перевищують значення для спалювання. Проте, якщо розглядати показник ced_{NR} (враховує витрати тільки викопних палив), то видно, що при використанні біомаси досягається значне зниження споживання первинної енергії викопного палива в порівнянні з природним газом. Наприклад, газифікація лісосічних відходів у циркулюючому киплячому шарі скорочує споживання первинної енергії викопного палива на 88% в порівнянні з спалюванням природного газу.

При порівнянні газифікації біомаси з її прямим спалюванням великої різниці у споживанні первинної енергії викопного палива не спостерігається. Споживання первинної енергії відновлюваного палива при газифікації є дещо більшим – приблизно на 10 відсотків, в залежності від сировини. Даний

[3] Детальний опис цього показника буде проведено у розділі 3 даної роботи.

висновок є дуже важливим, адже технологія газифікації біомаси є дорожчою, проте виявляється неефективною з точки зору економії первинної енергії для виробництва теплової енергії.

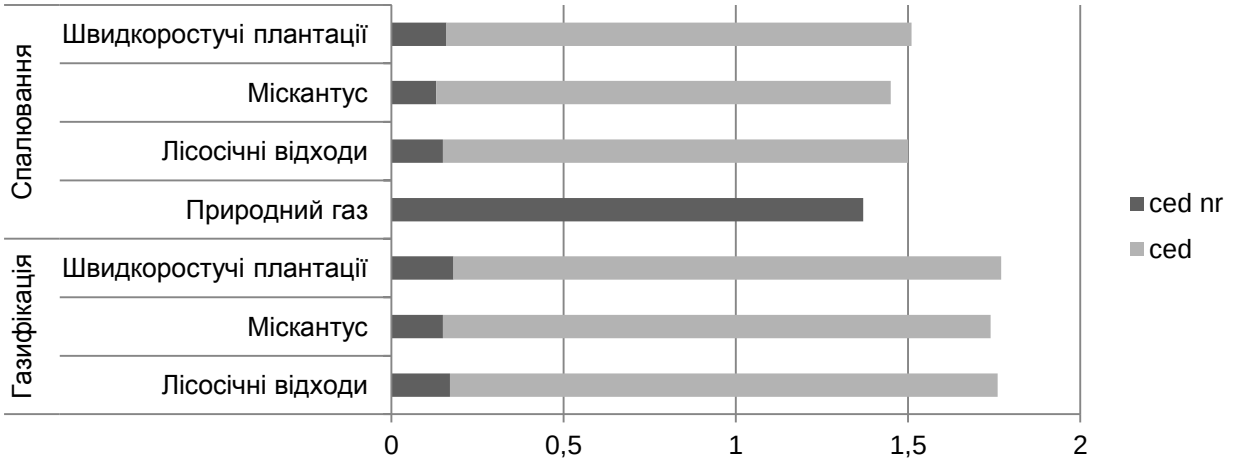

Рис. 1.7. Порівняння технологій виробництва енергії із біомаси за показником питомих сукупних витрат енергії

В даній роботі увага акцентується на різницю у технологіях використання різних типів сировини, проте не проводиться аналіз чутливості впливу різних параметрів (потужності установки, відстані транспортування біомаси та ін.) на викиди парникових газів та споживання первинної енергії за даними технологіями.

Порівняльний аналіз життєвих циклів трьох енергетичних систем – двох котлів на біомасі (гранули з відходів деревини та енергетичних культур) й котла на традиційному паливі, з акцентом на оцінку екологічних впливів, проводився у роботі [42].

Основна мета дослідження полягає у визначенні та порівнянні навантаження на навколишнє середовище, викликане використанням котельних установок. Розглядаються підсистеми спорудження, експлуатації (включаючи підсистему виробництва та транспортування біомаси) і демонтажу з вивезенням відпрацьованого обладнання на звалище. Ці етапи визначають рамки ОЖЦ.

Згідно методиці CML 2000, розробленій Інститутом екологічних наук університету м. Лейден (Нідерланди), 10 показників впливу на оточуюче середовище розглядались у якості критеріїв екологічної ефективності.

Важливим висновком роботи є те, що найбільший вплив на оточуюче середовище має стадія експлуатації установки. На другому місці знаходиться стадія спорудження, а вплив протягом стадії демонтажу та утилізації – нехтовно малий (***цей висновок дозволяє нехтувати даною складовою при виконанні аналогічних досліджень***).

Порівняння екологічного впливу двох енергетичних систем на біомасі і однієї на традиційному паливі показує, що в період експлуатації котел на дизелі має 8 показників з 10, що перевищують показники котла на деревині і котла на енергетичній культурі. Найбільш високими є показники глобального парникового ефекту (GWP), виснаження озонового шару (ODP) і фотохімічного окислення (PO). З двох котлів на біомасі, котел що використовує гранули з енергетичних культур у якості палива, характеризується більшим впливом у 8 з 10 показників екологічної ефективності, особливо це стосується глобального парникового ефекту та токсичності шкідливих речовин для людей. Це пояснюється включенням до оцінки мінеральних добрив, що застосовуються при вирощуванні цієї енергетичної культури, та дизельного пального, на якому працює сільськогосподарська техніка та транспортні засоби.

Недоліком даної роботи можна назвати те, що у якості палива для котлів на біомасі розглядається тільки покращене паливо у вигляді гранул та не проводиться порівняння зі спалюванням у котлах такого палива, яке не проходило стадії попередньої обробки, а саме – тріски з відходів деревини та енергетичних культур.

Висновки до Розділу 1

1. Підсумовуючи інформацію попереднього розділу прийнято рішення щодо необхідності проведення досліджень енергетичної та екологічної ефективності впровадження технологій виробництва теплової енергії із твердої біомаси, використовуючи методологію оцінки життєвого циклу.

2. Оцінка життєвого циклу виконується шляхом встановлення та кількісного визначення всіх енергетичних та матеріальних потоків, що входять до меж системи життєвого циклу продукту та аналізу їх впливу за різними індикаторами. В якості індикаторів впливу обрано показники енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів.

3. Буде розглянуто ті види біомаси, що володіють найбільшим енергетичним потенціалом в умовах України: солома, та ті, що наразі найбільше використовуються: відходи деревини.

4. В якості функціональної одиниці буде використовуватись енергія «на виході» з енергетичної установки.

5. Аналіз ЖЦ проводитиметься також з метою визначення сталості використання даних видів біомаси для виробництва енергії в умовах України та надання рекомендацій щодо підвищення ефективності використання різних видів твердого біопалива для виробництва теплової енергії з урахуванням вимог сталого розвитку.

6. Дослідження життєвого циклу використання твердої біомаси для виробництва енергії буде проводитись з визначенням ступеню впливу найбільш вагомих параметрів на енергетичну та екологічну ефективність її використання для виробництва енергії, а саме: відстань транспортування біомаси до енергетичного об’єкту, форма ущільнення біомаси, потужність енергетичної установки.

РОЗДІЛ 2
ІНВЕНТИРИЗАЦІЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ ТА СОЛОМИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Як вже було зазначено, метою даної роботи є визначення енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів при використанні твердого біопалива для виробництва теплової енергії у відповідності до вимог сталого розвитку протягом життєвого циклу. Деревина з відходів лісозаготівлі та солома зернових культур є найбільш перспективними видами сировини, що володіють значним потенціалом для використання в якості палива в Україні. Життєвий цикл використання даних видів біомаси для виробництва теплової енергії буде проаналізовано та описано у цьому розділі.

2.1. Опис життєвого циклу використання відходів лісозаготівлі у якості палива

В залежності від походження енергетичну сировину з деревини можна розділити на палива, отримані з лісу, енергетичних плантацій та палива повторного використання. Палива перших двох груп можна без особливих проблем використовувати в якості біопалива для котелень, ТЕЦ або ТЕС. Сировина повторного використання є попередньо обробленою (просоченою або пофарбованою) та має різноманітні включення, такі як метали, скло, пластмаси тощо. Її переробка і подальше спалювання є досить ускладненим, необхідні спеціальні дробарки для подрібнення вищезгаданих включень.

За ступенем якості біопалива поділяються на непокращені та покращені. Непокращеним вважається паливо, при виробництві якого сировина перероблюється (пакується чи подрібнюється) без зміни своїх механічних властивостей. Покращене паливо отримується шляхом пресування (паливні брикети та гранули) або подрібнення (деревний пил). Основною перевагою такої обробки є утворення більш однорідного палива з більш високою теплотою згорання. Недоліком є значна вартість такого палива.

В залежності від обраного палива, будь-яка ТЕЦ (ТЕС) або котельня повинна обрати найбільш раціональний ланцюг постачання.

Ланцюг постачання – це послідовність процесів, які доставляють продукти чи послуги від постачальників, через виробництво і розподілення, безпосередньо споживачу. У випадку постачання палива для об'єктів комунальної енергетики можна виділити три основні етапи: збір та підготовка сировини, транспортування, зберігання.

Класифікація твердої деревної біомаси і етапи постачання первинної деревної біомаси представлені на рис. 2.1, 2.2.

При проріджені молодого лісу, а іноді і в процесі вирубки зрілого лісу, утворюється значний об'єм неліквідної сировини, яку вигідніше використати як паливо. Саме такий тип сировини у вигляді непокращеного палива (тріска) та покращеного (гранули) і розглядатиметься у даній роботі.

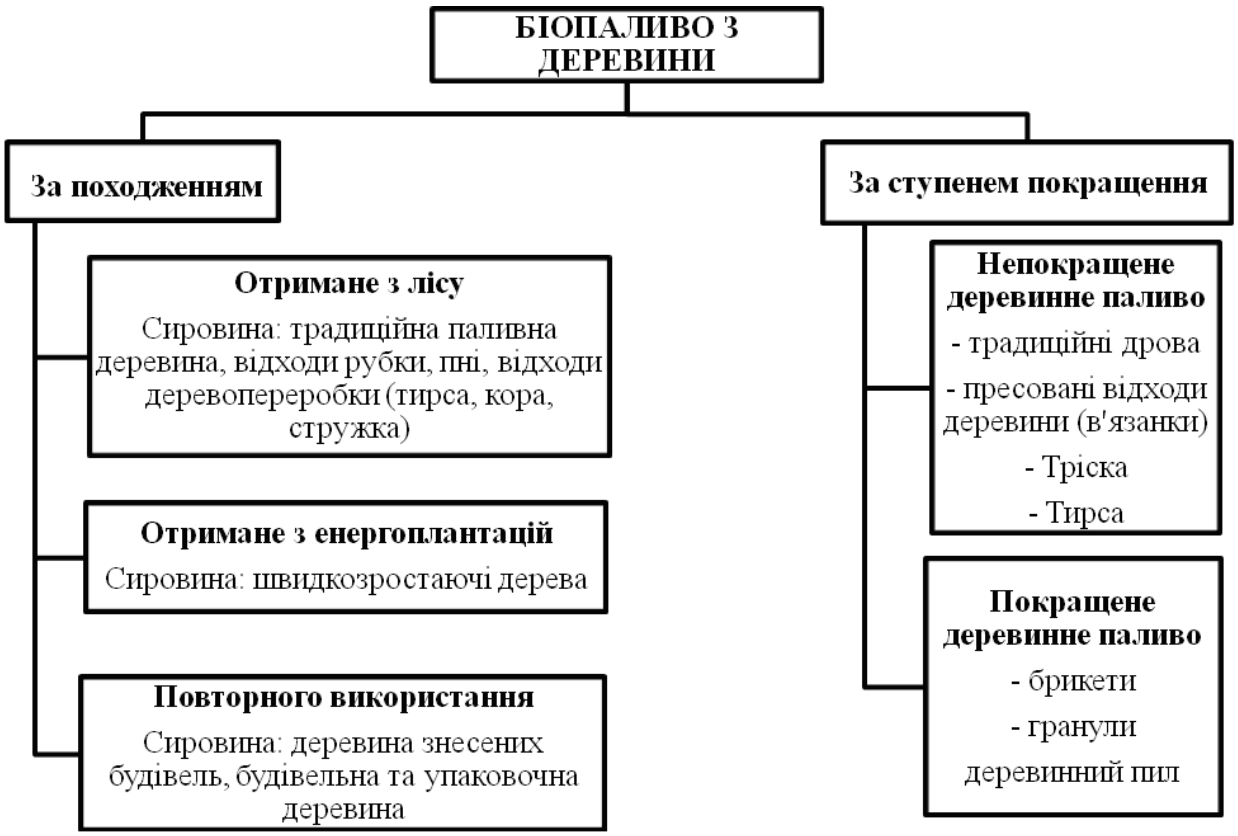

Рис. 2.1. Класифікація твердої деревної біомаси

Рис. 2.2. Етапи постачання первинної деревної біомаси

У порівнянні з переробкою ліквідної деревини, при зборі відходів необхідно враховувати наступне: відходи рубки мають низьку щільність і широкий розкид, їх збір та обробка трудомісткі, обладнання дороге; через низьку енергоємність, перевезення є дорогим і економічно доцільна відстань є невеликою. Тому для зниження витрат необхідно детально планувати весь логістичний ланцюг. Перш за все, необхідно визначити відповідне місце для подрібнення відходів рубки. Найчастіше застосовують наступні технології:

- подрібнення безпосередньо у лісі;
- подрібнення на проміжному (буферному) складі;
- перевезення відходів у нижній склад з подальшим його подрібненням;
- пакетування відходів.

У північних країнах Західної Європи найбільш розповсюджений метод переробки на проміжних складах. Якщо відстань незначна, то можна застосовувати подрібнювач на вантажному автомобілі. *На рис. 2.3 та 2.4 наведені схеми подрібнення відходів на проміжному складі: саме дані схеми і будуть розглядатись у цьому дослідженні.*

Рис. 2.3. Збір відходів форвардером, подрібнення мобільним подрібнювачем і перевезення спеціальним вантажним транспортом

Рис. 2.4. Збір відходів форвардером, подрібнення і перевезення спеціальним вантажним транспортом, обладнаним подрібнювачем

Збір відходів проводиться форвардером, кузов якого розширений для збільшення вантажопідйомності. Відходи рубки збирають у високі кипи на узбіччі, накривають водостійким папером і залишають на просушування. Подрібнення відбувається наступною зимою мобільним подрібнювачем, перевезення тріски – спеціалізованими контейнеровозами. Подрібнення деревини – важлива операція, що визначає послідуючі технології та формування ціни на тріску. Вибір подрібнювачів достатньо широкий, їх виготовляють для роботи з різними приводами та встановленням на різних машинах.

Для виробництва тріски застосовують три типи подрібнювачів: дискові, барабанні та шнекові. Для подрібнення сировини, що містить включення (ґрунт, каміння, цвяхи і т.і.) застосовують молоткові млини, валкові та щекові подрібнювачі та інше обладнання, але це, в основному, стаціонарне обладнання масового виробництва.

Для транспортування трісок та подрібненої деревини використовують як змінні контейнери, так і спеціальні причепи та напівпричепи. Об'єм типових тріскovозів становить 35 м^3, 45 м^3, 55 м^3, 60 м^3, 65 м^3, 75 м^3. Перевезення подрібненої деревини здійснюється в закритих або напівзакритих контейнерах, що дозволяє зберегти її від впливу опадів та зменшити вивітрювання при транспортуванні. Завантаження може здійснюватися за допомогою ковшових навантажувачів або системи пневматичного навантаження. Для швидкого розвантаження можуть використовуватися причепи-самоскиди та причепи з рухомим дном.

Для отримання палива з високою теплотою згорання (тобто покращеного палива) використовується пресування. В процесі пресування під дією високого тиску та нагріву спресовуються усі пустоти. Щільність пресованого палива (гранул, брикетів) може досягати 1300-1400 кг/м^3. Висока сипучість гранул дозволяє організувати ефективну логістику для крупних споживачів.

Умови зберігання суттєво впливають на якість деревної біомаси. Зберігання деревної біомаси на ТЕЦ або котельній повинно відповідати таким основним вимогам:

- відповідний захист палива від впливу зовнішніх факторів – погоди, поверхні ґрунту та ґрунтових вод;
- механізація процесу зберігання, а для великих об'ємів – його автоматизація;
- доступ автотранспорту для прямого відвантаження біомаси на склад або механізований прийомний пункт.

Склад зберігання палива на території котельної завжди повинен складатись, щонайменше, з двох частин: 1 – тимчасового проміжного складу

для зберігання запасу палива для роботи котлів протягом декількох днів (як правило від 2 до 8 днів); 2 – терміналу з автоматичною системою паливопостачання котлів з ємністю до об'єму добового споживання котельні. Обидва типи складів зазвичай знаходяться в одній будівлі, хоча можуть знаходитись і окремо один від одного. На невеликих котельнях забезпечення котлів паливом та транспортування деревних відходів з проміжного складу здійснюється бульдозером. На більших котельнях або ТЕЦ для паливопостачання застосовують автоматичні вантажопідйомні крани.

Далі, згідно методики ОЖЦ, проведемо інвентаризацію кожної стадії (одиничного процесу) використання ***відходів лісозаготівлі у вигляді тріски*** у якості палива. На рис. 2.5 представлено дані стадії та границі системи продукту (продукт – теплова енергія). Нижче опишемо всі вхідні та вихідні потоки на кожній із стадій використання відходів до підсистеми перетворення у енергоносій – всі потоки, що стосуються даної стадії, будуть розглянуті у наступному розділі.

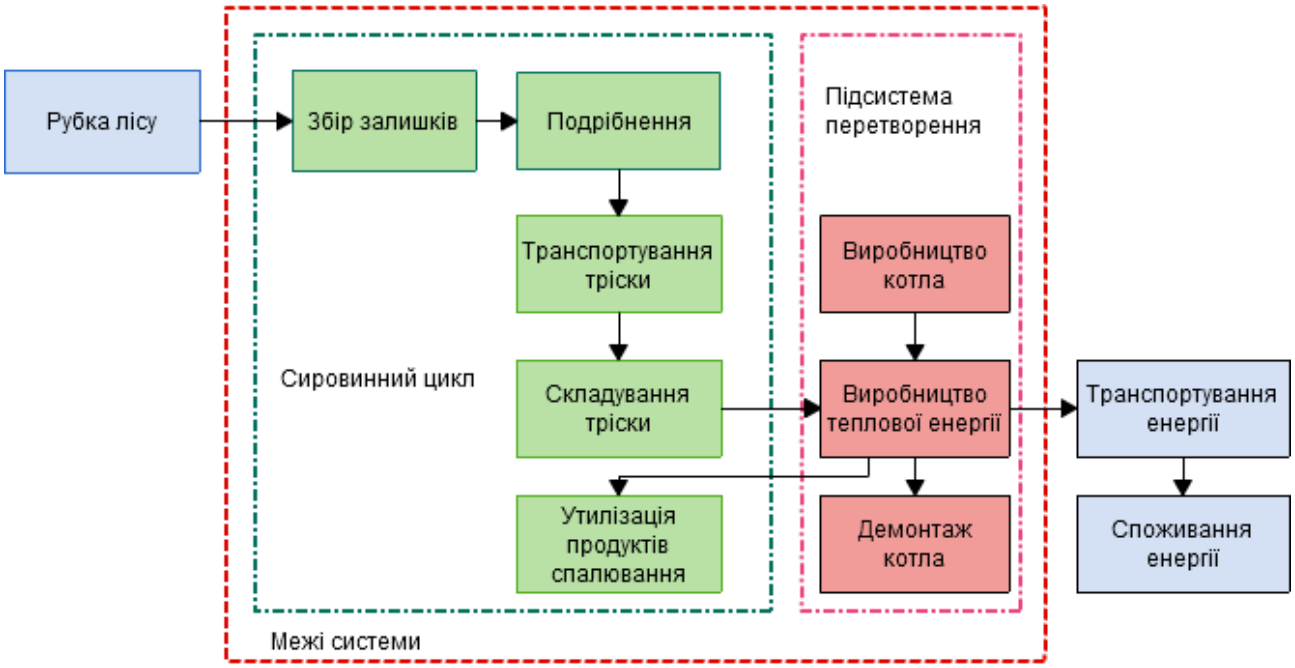

Рис. 2.5. Схема життєвого циклу використання відходів лісозаготівлі у вигляді тріски для виробництва теплової енергії

З огляду на те, що залишки лісозаготівлі являються відходом ведення основного виду діяльності, та згідно рекомендацій [8], енергоспоживання, що стосується використання даних відходів у якості палива, розпочинається зі стадії збору залишків спеціальним обладнанням – форвардером. Далі відходи перевозяться на проміжний склад (радіус збору залишків 5 км) за допомогою спеціального автотранспорту – лісовозу, де відбувається їх подрібнення до стану тріски у мобільному подрібнювачі, що може представляти собою як окремий агрегат, так і спеціальну насадку на автотранспорті. Після подрібнення готову тріску доставляють на склад, що знаходиться безпосередньо поблизу енергетичного об'єкту, де за допомогою ковшового навантажувача паливо перевантажується на автоматизовану систему подачі до котлоагрегату. Зола, що утворюються після спалювання, вивозиться на місце, де відбувся збір залишків деревини, задля збереження балансу органічної речовини в ґрунтах. У таблиці 2.1 нижче наведено дані, щодо виду та витрат палива, яке використовується під час виконання кожної операції, типу обладнання і техніки та інших показників, необхідних для оцінки споживання первинної енергії палива.

Енергоємність транспортних операцій залежить як від характеристик окремого типу транспортного засобу, так і від вантажопідйомності автомобіля в цілому, співвідношення кількості пустих ходок до завантажених та ін. У даній роботі енергетична оцінка транспортної операції виконувалась за методикою, представленою у роботі [44].

Для вантажних автомобілів однієї марки питому витрату палива (г/т·км) без урахування різних надбавок визначають за формулою:

$$H_{т-км} = 10 \cdot \rho \cdot \frac{H_{км} + H_д \cdot q \cdot (2\beta \cdot \gamma - 1)}{q \cdot \beta \cdot \gamma}, \qquad (2.1)$$

де ρ – густина палива, г/см^3 (для бензину ρ = 0,72–0,75; для дизельного палива ρ=0,82–0,85); $H_{км}$ – лінійна норма витрати палива, л/100 км; q – вантажопідйомність автомобіля, т; $H_д$ – додаткова норма витрати палива, л/100 км (для автомобіля з карбюраторним двигуном $H_д$ = 2; з дизельним – $H_д$ = 1,3); β – коефіцієнт використання пробігу (відношення пробігу з вантажем до

загального); γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності (відношення перевезеного вантажу до номінальної вантажопідйомності).

Таблиця 2.1

Інвентаризація елементарних потоків використання відходів лісозаготівлі у якості палива*

Операція	Обладнання для виконання операції	Тип обладнання	Паливо, що витрачається	Витрата палива	Інше
Збір залишків	форвардер	Komatsu pc35mr-3	дизельне пальне	1,94 л/т відходів	операція виконується двічі – при завантаженні на лісовоз та в машину, що подрібнює
Транспортування до місця подрібнення	лісовоз	сортиментовоз КрАЗ 6133М6	дизельне пальне	172,42 г/т·км	радіус транспортування 5 км
Подрібнення відходів	мобільний подрібнювач	DP 660 T (виробник СП «Олнова»)	дизельне пальне	2,2 л/т відходів	
Транспортування тріски до місця використання та золи	спеціальний вантажний транспорт	Iveco TECTOR	дизельне пальне	22,5 г/т·км	вантажопідйомність транспортного засобу 22 т, об'єм з причепом 100 м^3
Складування та зберігання деревної тріски	під металевим навісом		енергозатрати на виготовлення матеріалів та спорудження складу	40 МДж/м^3 складу	На складі зберігається місячний запас палива Термін експлуатації споруди 10 років
Завантажувально/розвантажувальні роботи	фронтальний навантажувач	MAN BME-1560 (1,5 т)	дизельне пальне	0,5 кг/т	Операція виконується двічі: при перевантаженні тріски з центрального складу на склад біля котла, та при завантаженні в котел

* інформація щодо витрати палива відповідає індивідуальним характеристикам вибраного обладнання, що найчастіше використовується в умовах України. Проте, дані повністю співвідносяться з результатами узагальнюючої оцінки всього наявного обладнання, що використовується в лісовому господарстві, виконаної в роботі [43].

Енергоємність транспортної роботи (МДж/т·км) автомобіля однієї марки дорівнює:

$$E_{т\cdot км} = E_{пал} + E_{пл} + E_{тз}, \quad (2.2)$$

де $E_{пал}$, $E_{пл}$, $E_{тз}$ – енергоємність відповідно палива, праці людини, транспортних засобів, МДж/т·км.

Енергоємність палива розраховують за формулою:

$$E_{\text{пал}} = \frac{H_{\text{т·км}} \cdot \alpha_{\text{пал}}}{1000}, \quad (2.3)$$

де $H_{т\cdot км}$ – питома витрата палива, г/т·км; $\alpha_{\text{пал}}$ – енергетичний еквівалент палива, МДж/кг. Для сільськогосподарських підприємств України прийнято, що $\alpha_{\text{пал}}$ = 79,5 МДж/кг.

Енергоємність праці людини дорівнює:

$$E_{пл} = З_{пл} \cdot \alpha_{пл} = \frac{n_{мех}}{q \cdot V} \cdot \alpha_{пл}, \quad (2.4)$$

де $З_{пл}$ – затрати праці, люд.·год/т·км; $\alpha_{пл}$ – енергетичний еквівалент праці людини, МДж/люд.·год; $n_{мех}$ – чисельність людей, які обслуговують транспортний засіб, чол.; V – швидкість руху транспортного засобу, км/год; q – вантажопідйомність транспортного засобу, т.

Енергоємність транспортного засобу обчислюють як:

$$E_{тз} = З_{пл} \cdot \alpha_{тз}, \quad (2.5)$$

де $\alpha_{тз}$ – енергетичний еквівалент транспортного засобу, МДж/год.

Якщо енергетичний еквівалент транспортного засобу відсутній, то його визначають за формулою:

$$\alpha_{тз} = \alpha_{птз} \cdot M_{тз}, \quad (2.6)$$

де $\alpha_{птз}$ – питомий енергетичний еквівалент транспортного засобу; для вантажних автомобілів він становить 0,0143 МДж/кг·год; для причепів і напівпричепів – 0,0263; для навантажувачів на базі автомобілів – 0,046; $M_{тз}$ – маса транспортного засобу, кг.

Як вже було зазначено, в операціях по транспортуванню лісосічних відходів бере участь два типи транспортних засобів: лісовоз та вантажний автомобіль для перевезення вже готової тріски. Енергоємність даних

транспортних операцій буде різною в зв'язку з різними технічними характеристиками обладнання та щільністю вантажу (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Енергоємність операцій з перевезення лісосічних відходів

	Перевезення відходів до місця подрібнення	Транспортування тріски до місця споживання та золи до місця утилізації
Лінійна витрата палива, л/100 км	38	30
Вантажопідйомність, т	15,7	22,4
Коефіцієнт використання пробігу	0,5	0,5
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,125	1
Питома витрата палива (за формулою 2.1), г/т·км	172,42	22,5
Енергоємність палива $E_{пал}$ (за формулою 2.3), МДж/т·км	13,71	1,79
Швидкість руху, км/год	20	50
Чисельність обслуговуючого персоналу	1	1
Енергоємність праці людини $E_{пл}$ (за формулою 2.4), МДж/т·км	0,138	0,039
Маса транспортного засобу, кг	10000	8300
Енергоємність транспортного засобу $E_{тз}$ (за формулою 2.5), МДж/т·км	0,455	0,106
Енергоємність транспортної операції $E_{т·км}$ (за формулою 2.2), МДж/т·км	14,30	1,93

З таблиці 2.1 видно, що при операціях поводження та попередньої обробки лісосічних відходів витрачається переважно дизельне пальне, теплоємність якого становить 36,1 МДж/л або 43 МДж/кг (густина дизельного пального 0,84 л/кг). Проте, при проходженні технологічного процесу виробництва дизельного пального витрачається первинна енергія палива, що за рекомендаціями IPCC [45] в 1,25 рази перевищує кінцеву енергію дизельного пального. Таким чином, питоме споживання первинної енергії палива при використанні відходів лісозаготівлі у вигляді тріски протягом сировинного

циклу виробництва теплової енергії становитиме величини, вказані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Споживання первинної енергії під час сировинного та технологічного циклу використання відходів лісозаготівлі у вигляді тріски

Операція	Питома витрата первинної енергії, E_i
Збір залишків	109,4 МДж$_{перв.}$/т
Перевезення до місця подрібнення	14,3 МДж$_{перв.}$/т·км
Подрібнення	99,24 МДж$_{перв.}$/т
Транспортування тріски до місця використання та золи до місця утилізації	1,93 МДж$_{перв.}$/т·км
Операції з завантаження/розвантаження	2,67 МДж$_{перв.}$/т
Зберігання	133 МДж$_{перв.}$/т

У випадку використання лісосічних відходів у вигляді гранул життєвий цикл виробництва теплової енергії матиме додатковий етап гранулювання, що виконується після збору залишків, їх перевезення до місця подрібнення та подрібнення (рисунок 2.6). Подрібнення лісосічних відходів та їх гранулювання відбувається в одному місці, після чого готові гранули перевозяться до споживача. Вважається, що на складі у споживача у спеціальному бункері зберігається тижневий запас гранул. Бункер заповнюється автоматично з вантажного автомобілю. Далі гранули системою пневмотранспорту подаються безпосередньо у котел.

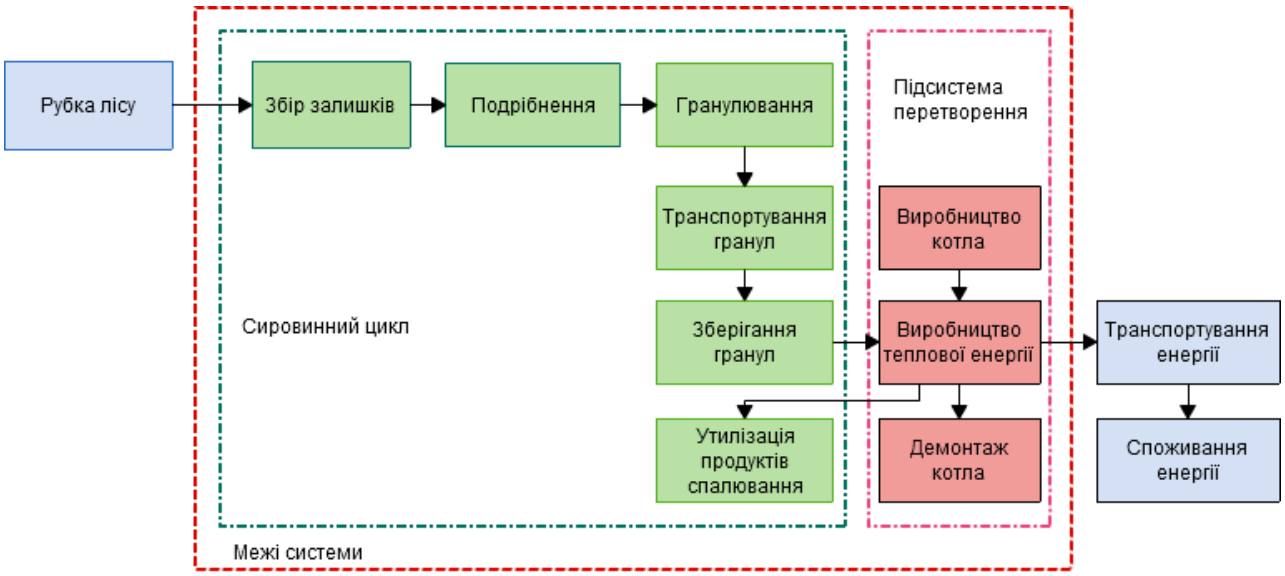

Рис. 2.6. Схема життєвого циклу використання відходів лісозаготівлі у вигляді гранул для виробництва теплової енергії

У таблиці 2.4 нижче наведено дані, щодо виду та витрат палива, яке використовується під час життєвого циклу використання гранул з лісосічних відходів для виробництва теплової енергії.

Енергоємність операцій з перевезення лісосічних відходів до місця подрібнення та гранулювання, а також гранул до місця використання буде становити величину, аналогічну значенням наведеним в таблиці 2.2. Через обмеження навантаження та автомобільні шляхи, завантаженість вантажного транспорту при перевезенні тріски та гранул є однаковою, та становить при об’ємі з причепом 100 м^3 22 тони (табл. 2.5).

Таблиця 2.4

Інвентаризація елементарних потоків використання відходів лісозаготівлі у вигляді гранул

Операція	Обладнання для виконання операції	Тип обладнання	Паливо, що витрачається	Витрата палива	Інше
Збір залишків	Форвардер	Komatsu pc35mr-3	Дизельне пальне	1,94 л/т відходів	Операція виконується двічі – при завантаженні на лісовоз та в рубальну машину
Транспортування до місця подрібнення	Лісовоз	Сортименто-воз КрАЗ 6133М6	Дизельне пальне	172,42 г/т·км	Радіус транспортування 5 км
Подрібнення відходів	Мобільний подрібнювач	DP 660 T (виробник СП «Олнова»)	Дизельне пальне	2,2 л/т відходів	
Гранулювання	Гранулятор потужністю 1 т/год гранул		Електро-енергія + Тріска на сушіння	144 кВт·год/т (90 кВт·год/т е/е)	Потужність виробництва гранул 1 т/год Для сушіння використовується тріска
Транспортування гранул до місця використання та золи	Спеціальний вантажний транспорт	Iveco TECTOR	Дизельне пальне	22,5 г/т·км	Вантажопідйомність транспортного засобу 22 т, об’єм з причепом 100 м^3
Складування та зберігання гранул	Бункер для зберігання		Енерго-затрати на виготовлен-ня матеріалів	44 МДж/т гранул	В бункері зберігається тижневий запас палива Термін експлуатації споруди 10 років
Завантажу-вальні роботи	Пневмотран-спорт з автомобілю		Дизельне пальне	0,3 кг/т	

Таблиця 2.5

Завантаженість транспортного засобу

	Насипна щільність, кг/м^3	Об’єм вантажного транспорту, м^3	Максимально можлива кількість вантажу, т	Максимально можливе допустиме навантаження на автошляхи, т
Тріска	350	100	35	22
Гранули	650	100	65	22

Таким чином, питоме споживання первинної енергії палива при використанні відходів лісозаготівлі у вигляді гранул протягом сировинного циклу виробництва теплової енергії становитиме величини, вказані в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Споживання первинної енергії під час сировинного та технологічного циклу використання відходів лісозаготівлі у вигляді гранул

Операція	Питома витрата первинної енергії, E_i
Збір залишків	109,4 МДж$_{перв.}$/т
Перевезення до місця подрібнення	14,3 МДж$_{перв.}$/т·км
Подрібнення	99,24 МДж$_{перв.}$/т
Гранулювання	1,5 ГДж/т
Транспортування гранул до місця використання та золи до місця утилізації	1,93 МДж$_{перв.}$/т·км
Операції з завантаження гранул в бункер	16 МДж$_{перв.}$/т
Зберігання	44 МДж$_{перв.}$/т

2.2. Опис життєвого циклу використання соломи у якості палива

Після деревного палива, другим за значенням біопаливом для об'єктів енергетики є солома. Найбільшою проблемою ефективного залучення соломи для спалювання є її низька щільність (30-40 кг/м^3 для непресованої соломи), що значно здорожує процеси транспортування і складування. Найчастіше солому поставляють у пресованому вигляді. При зборі врожаю зернових вологість соломи, як правило, складає 30-60%, для спалювання застосовують солому з вологістю до 20%. Оскільки при зберіганні вологість знижується на 2-6%, то для отримання соломи, придатної для спалювання, її необхідно збирати при вологості не вище 25%. Більш вологу солому необхідно підсушити до складування чи безпосередньо на складі, що збереже її від самонагрівання та гниття при зберіганні.

В Україні на сьогоднішній день найбільш розповсюдженим методом збору соломи є її подрібнення у січку в комбайні з подальшим накопиченням її у вантажному причепі. Після цього солома зберігається у великих стогах, як правило не накритих. Такий спосіб зберігання призводить до її надмірного зволоження внаслідок великої кількості опадів та сильних вітрів.

Для енергетичного використання соломи найбільш розповсюдженим способом заготівлі є її тюкування. Для промислового спалювання соломи використовуються переважно великі прямокутні тюки. В процесі збирання врожаю зернова частина відділяється від стеблової, й за допомогою зернозбиральних комбайнів, косарок та граблів солома вкладається у валки для формування щільних тюків.

Для формування тюків з соломи та стебел використовують прес-підбирачі, що дозволяють отримати щільні та заданої форми й потрібних розмірів прямокутні тюки або циліндричні рулони. Прес-підбирачі великогабаритних тюків мають незаперечні переваги перед іншими конструкціями машин. А саме: висока продуктивність, менші затрати праці, краще використання вантажопідйомності транспортних засобів і площ

складських приміщень, підвищення продуктивності навантажувачів. Провідні машинобудівні фірми світу John Deere, Challenger, Hesston, Vicon, Claas і Krone та інші пропонують понад 20 моделей прес-підбирачів великогабаритних тюків, які різняться між собою площею перетину пресувальної камери, кількістю ходів поршня, конструкційним виконанням робочих органів.

Великі тюки мають різні габарити: ширина 0,5…1,2 м, висота 0,7…1,3 м, довжина 2,0…3,0 м. Щільність тюків становить близько 130-200 кг/м^3 й залежить від типу сировини, щільності валків, швидкості пресування та типу підбирача (табл. 2.7). Для спалювання найчастіше використовують великі тюки (1,2×1,3×2,4 м). Вага таких тюків 400-500 кг, що робить їх транспортування, складування та зберігання економічно доцільним. Саме тюки з такими характеристиками розглядаються у даній роботі.

Таблиця 2.7

Характеристики великих тюків соломи

Характеристика тюків	Типи прес-підбирачів					
	Німеччина, CLAAS, Quadrant 3200	США, Massey Ferguson, MF 2160	Бельгія, New Holland, BB9080-Standart	Німеччина, KRONE, BiG Pack 1270	США, Challenger, LB24B	Німеччина, CASE
Ширина, мм	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Висота, мм	700	700	900	700	700	700
Довжина, мм	1000-3000	1000-2700	1000-2600	1000-2700	1000-2700	1000-2600
Щільність пресування соломи , кг/м^3	160	160	160	160	160	160

Вантаження та транспортування тюків можна організовувати різними способами. Великі прямокутні та циліндричні тюки навантажуються фронтальним завантажувачем (рис. 2.7), тракторами-вантажниками, телескопічними навантажувачами та механічними підбирачами-укладальниками тюків. Телескопічний навантажувач найкраще підходить для

розвантаження, оскільки досягає висоти штабелів, в яких зберігаються тюки соломи. Для завантаження найчастіше застосовують фронтальні завантажувачі. В залежності від обладнання фронтального завантажувача та його вантажопідйомності, вантажної потужності та стійкості, завантажувач може нести одночасно один або кілька тюків.

Рис. 2.7. Завантажування тюків фронтальним навантажувачем

Для перевезення тюкованої соломи широко використовуються переобладнані вантажівки або вантажні причепи. Обсяг завантаження складає від 6 до 18 тюків. При перевезенні на великі відстані трактор (автомобіль) часто буксирує два причепа, так що обсяг одного завантаження досягає 24 тюків за одну ходку (рис. 2.8).

Рис. 2.8. Перевезення великих тюків соломи

Затрати праці на пресування і транспортування тюків соломи на місце зберігання в сільськогосподарському підприємстві різні в залежності від типу тюків і техніки, яка використовується при завантаженні, розвантаженні та транспортуванні.

Працезатрати на обробку малих тюків складають близько 72 хв./т при ручному завантаженні і розвантаженні. Це в три рази більше часу, потрібного для обробки циліндричних тюків і в 5,5 рази більше того, що потрібно для обробки великих тюків. При встановленні подавального транспортера на прес-підбирач і навантаженні тюків прямо на транспортний засіб, працезатрати можуть бути зменшені приблизно до 45 хв./т для малих тюків.

Необхідні затрати праці для різки соломи на січку або для обробки середніх тюків одинакові і складають 17 хв./т. При обробці великих тюків працезатрати складають всього 13 хв./т. Це є дуже суттєвим скороченням необхідних працезатрат. Значне зменшення затрат тяжкої фізичної праці виявилось основною причиною того, що малі тюки були майже повністю витіснені циліндричними, середніми і великими тюками.

На рис. 2.9, 2.10 показано працезатрати на різні операції з соломою та продуктивність транспортування соломи для зберігання на зарубіжних сільськогосподарських підприємствах.

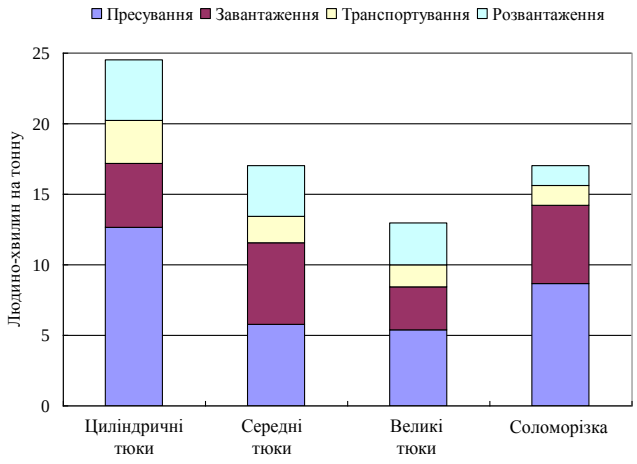

Рис. 2.9. Працезатрати на різні операції з соломою

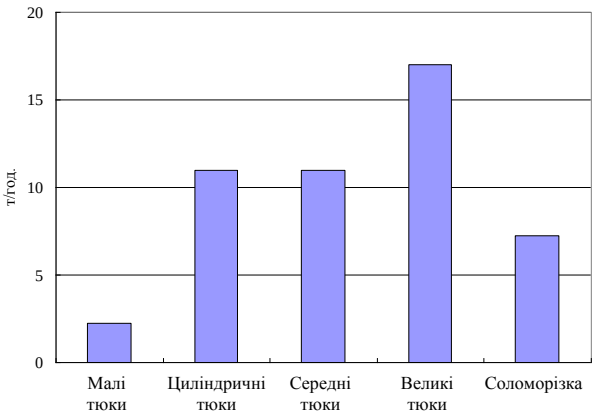

Рис. 2.10. Продуктивність транспортування різних видів соломи на зберігання

Солома, призначена для спалювання, повинна зберігатися в умовах, що забезпечують її захист від замокання, гниття, займання. Солому можна зберігати як у закритих приміщеннях, так і на вулиці. Зберігання у закритих приміщеннях дозволяє підтримувати вологість соломи на одному рівні, запобігає гниттю. Зберігання на вулиці є значно дешевшим, але у більшості випадків цей спосіб підходить лише для короткочасного зберігання. Краще за все її зберігати під дахом, наприклад під навісами.

В залежності від відстані між складом і енергетичним об'єктом доставка палива може здійснюватися або трактором, або вантажним автотранспортом. Якщо перевезення здійснюється трактором, то швидкість транспортування є досить низькою, а отже, потенціал перевезення також значно нижче у порівнянні з перевезенням вантажним транспортом, і зі збільшенням відстані ця різниця стає більш суттєвою. Затрати праці для перевезення великих тюків на котельню і продуктивність показані на рис. 2.11, 2.12.

При перевезенні довгомірними вантажними автомобілями, як правило, завантажуються 12 тюків на платформу автомобіля і 12 на причеп-платформу. Завантаження відбувається у два шари. При незначних відстанях широко застосовують навантаження до 16-20 тюків на автотранспорт. Відвантаження на котельні відбувається за допомогою спеціальних кранів. При високому ступені автоматизації процесу відвантаження виникають вимоги до точної організації автоперевезення. Тюки повинні мати визначені габарити та не перевищувати допустимої ваги.

Принципова логістична схема використання соломи в якості палива представлена на рисунку 2.13. Збір соломи зернових культур з поля повинен відбуватись відразу після збору основного урожаю, щоб не заважати основній діяльності по сівозмінам. Згідно типових сівозмін господарств, збір відходів з полів може тривати не більше 14 днів. Далі солома транспортується на основний, оперативний склад (зберігається весь річний об'єм соломи), а потім (у передопалювальний та опалювальний сезон) – на склад котельні.

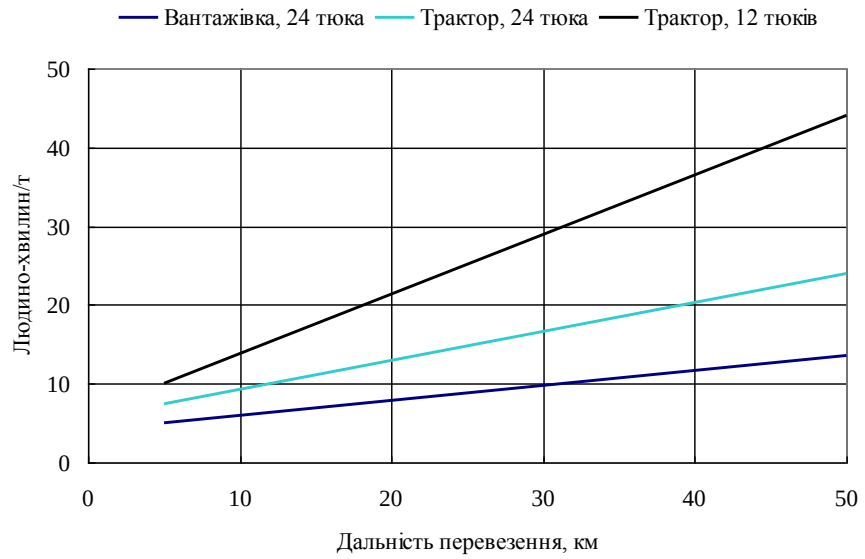

Рис. 2.11. Затрати праці при доставці великих тюків

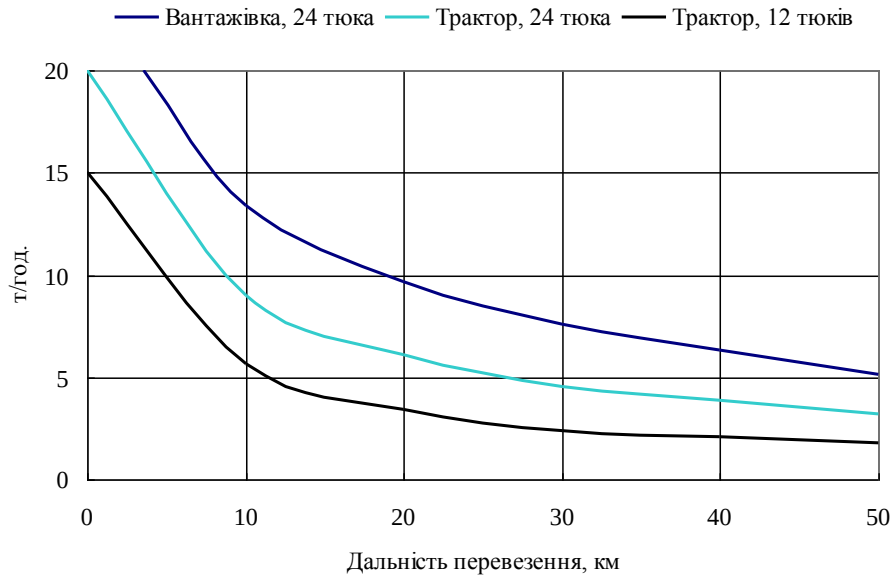

Рис. 2.12. Продуктивність доставки великих тюків

Далі, згідно методики ОЖЦ, проведемо інвентаризацію кожної стадії (одиничного процесу) використання соломи у якості палива. На рис. 2.14 представлено дані стадії та границі системи продукту (теплова енергія). Нижче опишемо всі вхідні та вихідні потоки на кожній із стадій використання соломи до підсистеми перетворення у енергоносій – всі потоки, що стосуються даної стадії будуть розглянуті у наступному розділі.

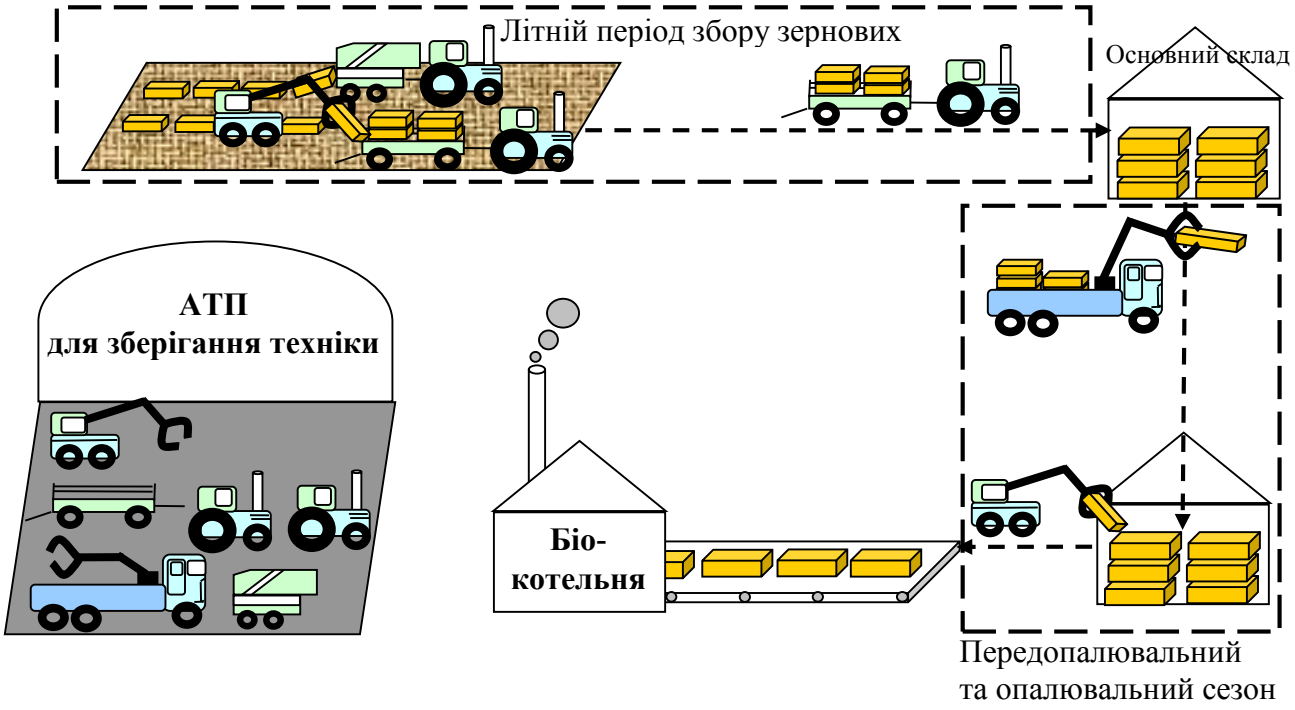

Рис. 2.13. Принципова логістична схема для тюкованої соломи

З огляду на те, що солома зернових культур являється відходом ведення основного виду діяльності та згідно рекомендацій [8], енергоспоживання, що стосується використання даного відходу у якості палива, розпочинається зі стадії тюкування соломи. У таблиці 2.8 наведено дані щодо виду та витрат палива, яке прийнято для використання під час виконання кожної операції, типу обладнання, техніки та інших показників, необхідних для оцінки споживання первинної енергії палива під час операцій із заготівлі/складування та транспортування соломи на енергетичний об’єкт. Дана інформація отримана шляхом аналізу реалізованих ланцюгів з постачання тюкованої соломи на котельні в країнах Європи, та першої в Україні котельної централізованого теплопостачання на соломі у місті Миргород. Котельня у місті Миргород побудована в рамках виконання проекту «Місцеві альтернативні джерела енергії, м. Миргород», в рамках якого здійснено реконструкцію газової котельні та створено інфраструктуру із заготівлі та постачання соломи для енергетичних цілей. Використання даних, отриманих під час роботи першого в Україні енергетичного об’єкту централізованого теплопостачання, що використовує

тюковану солому в якості палива, дозволить отримати достовірні результати оцінки життєвого циклу у відповідності до умов України.

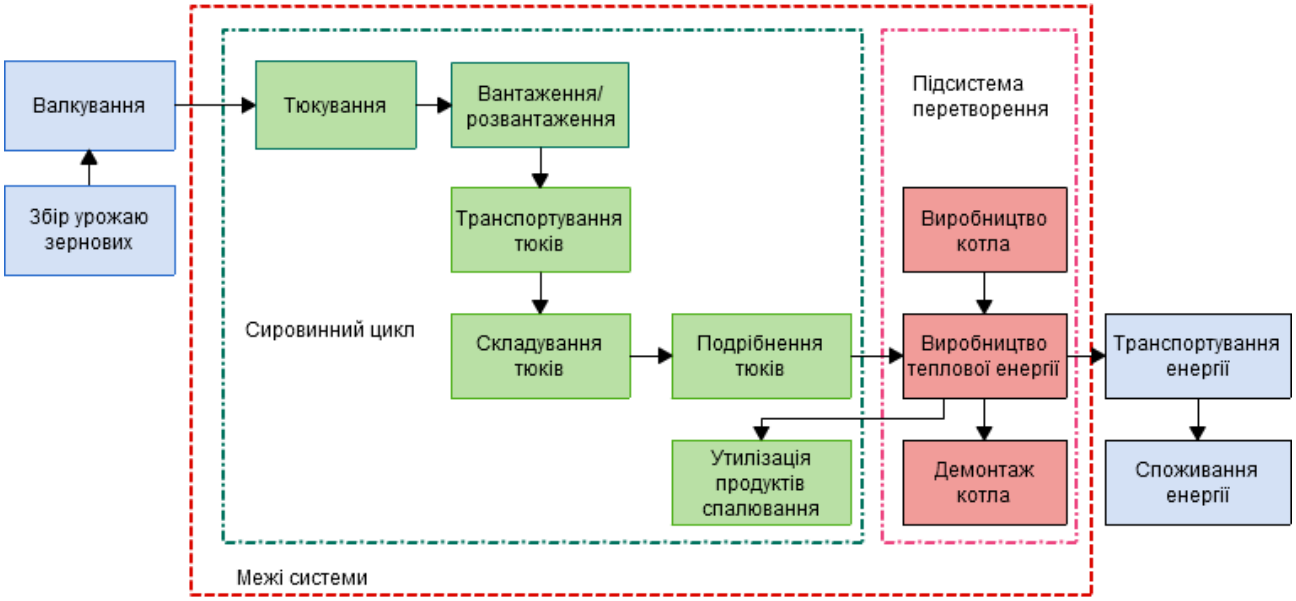

Рис. 2.14. Схема життєвого циклу використання соломи для виробництва теплової енергії

Як вже було зазначено, в операціях по транспортуванню тюкованої соломи беруть участь вантажні автомобілі різної вантажопідйомності, що пов’язано з розміщенням оперативного складу та складу котельної. Склад котельної знаходиться в районі житлової забудови у місці розміщення котельної, в зв’язку з чим, в основному, мають місце обмеження по габаритам вантажного транспорту. Тому в даному випадку відбувається перевезення вантажним транспортом без причепа (вантажопідйомність 15 т). Розрахунок енергоємності даних транспортних операцій представлено в таблиці 2.9.

Питомі значення споживання первинної енергії викопного палива протягом сировинного циклу використання тюкованої соломи в якості палива, отримані з врахуванням коефіцієнту первинної енергії під час виробництва дизельного пального та електроенергії наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.8

Інвентаризація елементарних потоків використання соломи у якості палива

Операція	Обладнання для виконання операції	Паливо, що витрачається	Витрата палива	Інше
Тюкування	Трактор з прес-підбирачем	дизельне пальне	1,4 л/т соломи	Трактор John Deere 8310-R Прес-підбирач Massey Ferguson 1290 – вага тюка 525 кг, розміри 1,2x1,3x2,4
Збір тюків соломи та їх завантаження на транспортний засіб	Телескопічний навантажувач	дизельне пальне	1,1 л/т	Телескопічний навантажувач – Massey Ferguson MF 94-07
Транспортування до оперативного складу	Спеціальний вантажний транспорт	дизельне пальне	38 л/100 км	Вантажопідйомність транспортного засобу 20 т, об'єм з причепом 100 $м^3$
Складування на оперативному складі	Під металевим навісом	енергозатрати на виготовлення матеріалів	40 $МДж/м^3$	Зберігається річний запас палива Термін експлуатації споруди 10 років
Транспортування до складу котельної	Спеціальний вантажний транспорт	дизельне пальне	30 л/100 км	Вантажопідйомність транспортного засобу 15 т
Завантажувально/ розвантажувальні роботи	Телескопічний навантажувач	дизельне пальне	0,25 л/т	Операція виконується чотири рази: розвантаження тюків на оперативному складі, завантаження на оперативному складі, розвантаження на котельній, завантаження на котельній.
Зберігання на складі котельної	Під металевим навісом	енергозатрати на виготовлення матеріалів	40 $МДж/м^3$	На складі котельної зберігається не весь запас соломи, а лише тижневий запас. Термін експлуатації споруди 10 років
Подрібнення соломи	Соломорізка	Електро-енергія на привід ріжучого механізму	15 кВт·год/ т соломи	Соломорізка – подрібнювач соломи ТАЙФУН-3000.

Таблиця 2.9

Енергоємність операцій з перевезення тюків соломи

	Транспортування тюків з оперативного складу до місця використання	Транспортування тюків з місця збору до оперативного складу
Лінійна витрата палива, л/100 км	30	30
Вантажопідйомність, т	15	20
Коефіцієнт використання пробігу	0,5	0,5
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,42	0,63
Питома витрата палива (за формулою 2.1), г/т·км	49,25	26,85
Енергоємність палива $E_{пал}$ (за формулою 2.3), МДж/т·км	3,92	2,13
Швидкість руху, км/год	50	50
Чисельність обслуговуючого персоналу	1	1
Енергоємність праці людини $E_{пл}$ (за формулою 2.4), МДж/т·км	0,058	0,043
Маса транспортного засобу, кг	5600	8300
Енергоємність транспортного засобу $E_{тз}$ (за формулою 2.5), МДж/т·км	0,107	0,119
Енергоємність транспортної операції $E_{т·км}$ (за формулою 2.2), МДж/т·км	4,08	2,30

Таблиця 2.10

Споживання первинної енергії під час сировинного та технологічного циклу використання соломи в якості палива

Операція	Питома витрата первинної енергії, E_i
Тюкування соломи	67,77 МДж$_{перв.}$/т
Збір та завантаження на транспортний засіб	49,67 МДж$_{перв.}$/т
Транспортування до оперативного складу	2,30 МДж$_{перв.}$/т·км
Зберігання на оперативному складі (річний запас)	200 МДж$_{перв.}$/т
Вантаження/розвантаження	45,15 МДж$_{перв.}$/т
Транспортування до місця використання	4,08 МДж$_{перв.}$/т·км
Зберігання на складі котельної (місячний запас)	200 МДж$_{перв.}$/т
Подрібнення соломи	162 МДж$_{перв.}$/т

У випадку використання соломи у вигляді гранул життєвий цикл виробництва теплової енергії матиме додатковий етап гранулювання, що виконується після тюкування соломи, її збору з поля та завантаження на транспортний засіб, перевезення до місця гранулювання (рисунок 2.15). Готові гранули перевозяться з місця їх виробництва до споживача. Вважається, що на складі у споживача у спеціальному бункері зберігається тижневий запас гранул. Річний запас тюкованої солома для виробництва гранул зберігаєтсья під плівкою. Бункер заповнюється автоматично з вантажного автомобілю. Далі гранули системою пневмотранспорту подаються безпосередньо у котел.

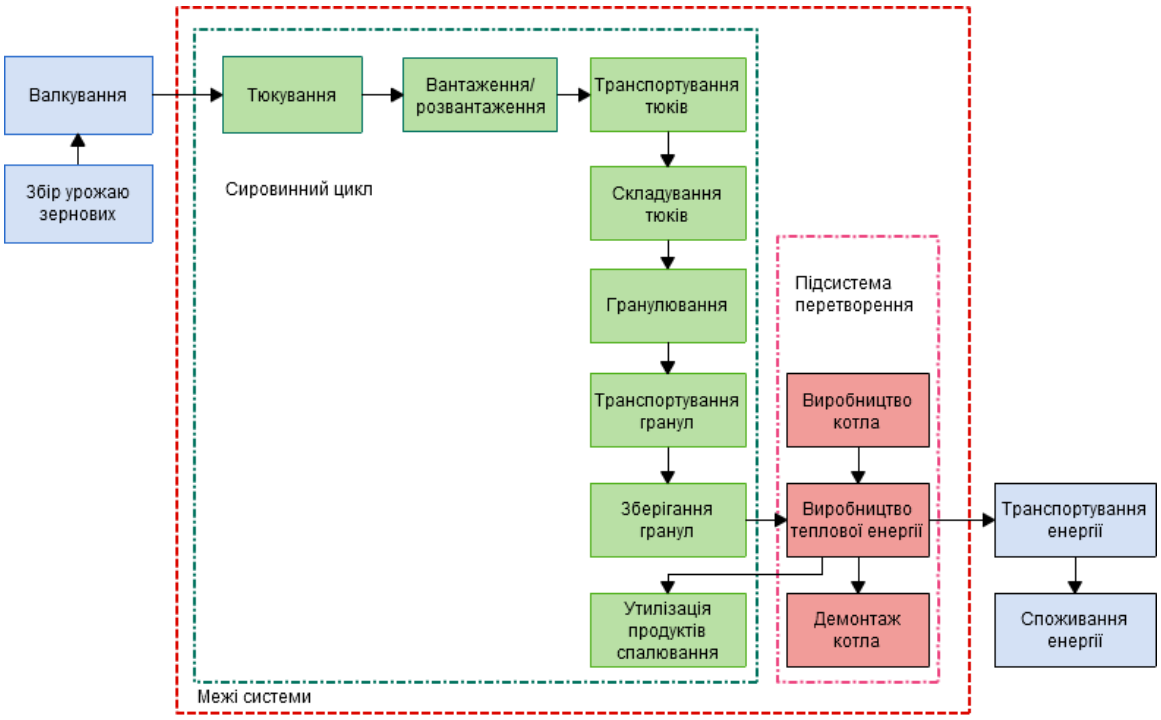

Рис. 2.15. Схема життєвого циклу використання соломи у вигляді гранул для виробництва теплової енергії

Питомі значення споживання первинної енергії викопного палива протягом сировинного циклу використання гранульованої соломи в якості палива, отримані з врахуванням коефіцієнту первинної енергії під час виробництва дизельного пального та електроенергії наведені в табл. 2.11. Транспортування гранул до місця використання, завантаження їх у бункер та зберігання на котельній відбувається з використанням обладнання та техніки як і у випадку використання гранул з лісосічних відходів (дані в таблиці 2.4). Питомі витрати енергії на тюкування соломи, збір тюків з поля, завантаження/розвантаження, та їх перевезення на місце гранулювання становлять величини, представлені в таблиці 2.8. Гранулювання соломи не потребує операції з сушіння сировини (вологість тюкованої соломи становить 15%), тому, на відміну від гранул з лісосічних відходів, питоме споживання первинної енергії загалом на гранулювання є дещо меншим, та становить 125 кВт·год/т гранул. Питоме споживання електроенергії на гранулювання соломи є вищим ніж для гранул з деревини.

Таблиця 2.11

Споживання первинної енергії під час сировинного та технологічного циклу використання гранул із соломи в якості палива

Операція	Питома витрата первинної енергії, E_i
Тюкування соломи	67,77 МДж$_{перв.}$/т соломи
Збір та завантаження тюків на транспортний засіб	49,67 МДж$_{перв.}$/т соломи
Транспортування до місця гранулювання	2,30 МДж$_{перв.}$/т·км
Зберігання тюкованої соломи (річний запас)	30 МДж$_{перв.}$/т соломи
Вантаження/розвантаження	33,9 МДж$_{перв.}$/т соломи
Гранулювання	1,3 ГДж/т
Транспортування гранул до місця використання	1,93 МДж$_{перв.}$/т·км
Операції з завантаження гранул в бункер	16 МДж$_{перв.}$/т
Зберігання гранул (місячний запас)	44 МДж$_{перв.}$/т

Висновки до Розділу 2

Таким чином, в розділі 2 згідно методології оцінки життєвого циклу виконано опис сировинних циклів використання лісосічних відходів у вигляді тріски та гранул, а також соломи у вигляді великих тюків та гранул з врахуванням особливостей виконання деяких операцій в умовах України. Визначено тип обладнання та техніки, вид та витрату палива, які використовуються під час виконання кожної з операцій життєвого циклу продукту.

Виконання такої інвентаризації дає можливість здійснити оцінку споживання первинної енергії викопного палива та викидів парникових газів на кожному етапі життєвого циклу виробництва теплової енергії. Дані показники будуть використані для оцінки енергетичної та екологічної ефективності використання різних видів біопалива для виробництва теплової енергії в наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 3
МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ІЗ ТВЕРДОЇ БІОМАСИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

3.1. Методика оцінки енергетичної ефективності, що базується на використанні показника сукупних витрат енергії та коефіцієнту перетворення енергії

Наразі часто оцінюється та порівнюється ефективність різних технологій перетворення. Проте такі технології як котел на дровах, котел на трісці чи котел на гранулах описує лише одиничний процес в енергетичному ланцюгу, що складається з декількох послідовних процесів. Для визначення ефективності впровадження всієї системи продукту, енергія, що використовується у одиничних процесах, які передують та йдуть після спалювання, має бути врахована. Ці додаткові енергетичні потоки можуть відрізнятись як в залежності вид виду біомаси, що використовується в якості палива, так і від логістичної схеми та ін.

Об’єктивне порівняння енергетичної ефективності впровадження різних технологій спалювання біомаси повинно проводитись за методологією оцінки життєвого циклу та з розрахунком загального споживання первинної енергії для кожного одиничного процесу системи продукту. Загальне споживання первинної енергії системою виробництва продукту позначається як величина Сукупних Витрат Енергії – Cumulative Energy Demand (CED), [Дж$_{перв.}$]. Сукупні витрати енергії враховують всі статті споживання енергії на одержання матеріалів та енергоносіїв з первинної сировини, які використовуються в даному енергетичному процесі та при виготовленні відповідного технологічного обладнання (споживання первинної енергії в процесі сировинного та технологічного циклів). У якості функціональної одиниці в даній роботі буде використовуватись величина Сумарного Виробництва Енергії (кінцевого продукту) – Cumulative Energy Production (CEP), [Дж$_{вир.}$], при діленні

CED на яку будемо мати приведену питому величину сукупних витрат енергії ced [$Дж_{перв.}/Дж_{вир.}$].

Показник сукупних витрат енергії визначається як сума витрат первинної енергії, необхідної для виробництва енергоустановки (E_P), для роботи установки протягом часу її існування (E_U) і для утилізації установки після завершення терміну її служби (E_D), віднесена до терміну її експлуатації (n) [46]:

$$CED = (E_P + E_D)/n + E_U. \quad (3.1)$$

Витрати первинної енергії на роботу установки протягом часу її функціонування поділяються на декілька складових:

$$E_U = E_A + F, \quad (3.2)$$

де E_A – енергія, необхідна для роботи допоміжного обладнання енергоустановки,

F – первинна енергія використаного палива протягом функціонування установки.

$$F = F_H + F_P + F_T, \quad (3.3)$$

де F_H – енергія палива (теплота згорання), що споживається безпосередньо установкою (наприклад, солома – для соломоспалюючого котла, природний газ – для газового котла);

F_P – первинна енергія, що витрачається на попередню підготовку палива (наприклад, подрібнення, сушка, гранулювання, тюкування);

F_T – первинна енергія, що витрачається на транспортування палива до установки.

Вклад невідновлюваного (NR) та відновлюваного палива відокремлюється наступним чином:

$$F = F_{NR} + F_R. \quad (3.4)$$

E_P, E_D, E_A, F_T розглядаються як складові 100% невідновлюваної енергії;

F_H – 100% відновлювана енергія для установки на біомасі;

F_P – 100% невідновлювана енергія для виробництва тріски, дров, тюків соломи; проте, необхідно враховувати частку біомаси, що може використовуватися на сушіння при виготовленні гранул з біомаси.

На практиці існує декілька підходів до визначення і розрахунку CED в залежності від того, які складові енерговитрат враховуються в аналізі:

1. $CED_{WOF} = (E_P + E_D)/n + E_A$. (3.5)

CED_{WOF} не включає витати палива на роботу енергоустановки і, отже, не враховує вплив ККД установки на сукупні витрати енергії. Цей показник не може використовуватися для порівняння між собою установок, що працюють на біопаливах та викопних паливах, сфера його застосування є досить обмеженою.

2. $CED = (E_P + E_D)/n + E_A + F$. (3.6)

Використання CED у даному вигляді – найбільш загальний підхід до визначення сукупних витрат енергії. Цей показник може використовуватися для порівняння енергетичної ефективності будь-яких установок, не акцентуючи уваги на тому, працюють вони на біомасі чи на традиційних паливах (різниця між відновлюваними та невідновлюваними паливами не проводиться.)

3. $CED_{NR} = (E_P + E_D)/n + E_A + F_{NR}$. (3.7)

Показник CED_{NR} враховує витрати тільки викопних палив, пов’язані з організацією роботи енергоустановки (F_{NR}). Тобто, наприклад, для котла на біомасі споживання біомаси цим котлом до F_{NR} не входить. CED_{NR} найбільш підходить для порівняння між собою установок, що працюють на біопаливах та викопних паливах, оскільки акцентує увагу на обсягах використання і заощадження традиційних енергоносіїв. Для порівняння двох енергосистем, які працюють на відновлюваних джерела енергії, рекомендується використання обох показників – CED та CED_{NR}.

Вибір того чи іншого способу визначення CED приводить до різних результатів та висновків, при цьому інтерпретація результатів може бути наступною:

- Якщо одна з кількох енергетичних систем виграє по обом показникам (CED та CED_{NR}), то можна однозначно сказати, що вона є найбільш прийнятною в даних умовах.

- Якщо одна з енергосистем, які порівнюються, є кращою за CED_{NR} (наприклад, котел на дровах, оскільки він потребує менше первинної енергії викопного палива на підготовку біомаси), а інша – за показником CED (наприклад, котел на гранулах із біомаси через вищій ККД установки), кінцеве рішення щодо вибору тої чи іншої системи не є однозначним. В цьому випадку дослідник сам визначає, яка технологія більше підходить в даних умовах – та, що споживає менше енергії в цілому, чи та, яка споживає менше невідновлюваної енергії. При цьому виконана оцінка може розглядатися як база для прийняття рішення по вибору оптимальних параметрів системи в цілому, наприклад, потужності котельної установки по відношенню до відстані транспортування біомаси.

Безрозмірне значення показника сукупних витрат енергії визначається через ділення на величину сукупного виробництва енергії установкою (CEP):

$$ced = CED/CEP, \quad (3.8)$$

$$ced_{NR} = CED_{NR}/CEP. \quad (3.9)$$

По суті показник ced показує у скільки разів загальні витрати енергії на забезпечення роботи даної установки (енергія «на вході») більші, ніж енергія, отримана «на виході».

Коефіцієнт перетворення енергії – це величина, обернено пропорційна безрозмірній величині сукупних витрат енергії:

$$EYC = ced^{-1}, \quad (3.10)$$

$$EYC_{NR} = ced_{NR}^{-1}. \quad (3.11)$$

Для будь-яких енергетичних систем, незалежно від виду палива, завжди виконується співвідношення: EYC<1, ced>1. При цьому найбільш оптимальними вважаються значення EYC = 0,67, ced=1,5. Для енергосистем на викопних паливах завжди $ced_{NR}>1$, $EYC_{NR}<1$, тоді як для енергосистем на відновлюваних джерелах енергії ситуація протилежна: $ced_{NR}<1$, $EYC_{NR}>1$.

Згідно рекомендацій міжнародного енергетичного агентства, зокрема викладених у звіті по Завданню 32 у секції Біоенергетики [46], для досягнення сталого розвитку біоенергетики у майбутньому коефіцієнт

перетворення енергії EYC_{NR} для енергоустановок на ВДЕ має складати як мінімум більше 2, ринкове значення – більше 5.

Значення EYC і EYC_{NR} для енергетичних установок на викопних паливах та ВДЕ за даними різних авторів наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Коефіцієнт перетворення енергії для різних енергоустановок

Джерело	Вид установки	EYC	EYC_{NR}
[47]	Конденсаційний котел на легкому дистилятному паливі	0,68-0,71	0,7-0,72
	Конденсаційний газовий котел	0,73	0,74
	Котел на дровах (ККД 65%)	0,46	10,1-12,1
	Котел на деревній трісці (ККД 65%)	0,51	11,0-12,1
[48]	Котел на легкому дистилятному паливі		0,67-0,72
	Конденсаційний котел на легкому дистилятному паливі		0,76
	Газовий котел		0,70-0,74
	Конденсаційний газовий котел		0,81
	Котел на дровах (ККД 65%)	0,51	8,3
	Котел на деревній трісці (ККД 75%)	0,91	10,0
[49]	Система опалення на легкому дистилятному паливі		0,66
	Система опалення на природному газі		0,73
	Система опалення на деревині		7,1
	Сонячна система опалення		4,0
[50]	Конденсаційний газовий котел		0,81
	Котел на легкому дистилятному паливі		0,71
	Котел на дровах		4,2
	Котел на деревній трісці		4,8
	Невелика система ЦТ на деревині		4,0
	Крупна система ЦТ на деревині		4,2
	Система ЦТ на біомасі з додатковим сонячним колектором		4,0
	Газовий котел з додатковим сонячним колектором		0,85
	Тепловий насос з горизонтальним колектором в ґрунті		1,04
	Тепловий насос з вертикальним колектором в ґрунті		0,99
	Біодизель та побічні продукти		2,4
	Біоетанол з цукрового буряку в Європі		2,1
[51]	Біодизель		1,50
	Біодизель та побічні продукти (грубий корм з ріпаку для тварин)		2,43
[52]	Біодизель		≈ 2-3
[53]	Біодизель		≈ 2-4

З врахуванням залежностей (3.1-3.7), повні сукупні приведені витрати *первинної енергії під час життєвого циклу використання біомаси як палива* для виробництва теплової енергії можна зобразити наступною формулою:

$$\text{CED}=E_{\text{сир}}+E_{\text{пер}}+\text{B}\cdot Q_{\text{н}}^{\text{p}}\text{, [ГДж/рік]} \quad (3.12)$$

де, $E_{сир}$ - питомі витрати первинної енергії під час операцій сировинного та технологічного циклів використання біомаси в якості палива, ГДж/рік; $E_{пер.}$ – сукупні витрати первинної енергії у підсистемі перетворення палива в енергоносій, ГДж/рік; В – витрата палива, т/рік; $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – нижча теплота згорання біопалива, ГДж/т.

Повні сукупні приведені витрати первинної невідновлюваної енергії під час життєвого циклу використання біомаси в якості палива для виробництва теплової енергії розраховуються за наступною залежністю:

$$\text{CED}_{\text{NR}}=E_{\text{сир}}+E_{\text{пер}}\text{, [ГДж/рік]} \quad (3.13)$$

Споживання первинної енергії протягом сировинного циклу використання відходів лісозаготівлі у вигляді тріски можна описати системою математичних співвідношень, кожне з яких буде відповідати за один з елементарних потоків або операцій життєвого циклу:

$E_{зб}=1{,}25\cdot 2\cdot B\cdot b_{зб}\cdot Q_н^p\cdot$– споживання первинної енергії при зборі залишків лісосіки форвардером та завантаження їх до подрібнюючої машини, МДж/рік;

$E_{тр1}= E_{т\cdot км1}\cdot B\cdot n_1$ – споживання первинної енергії при транспортуванні біомаси до місця подрібнення, МДж/рік;

$E_{под}=1{,}25\cdot B\cdot b_{под}\cdot Q_н^p$ – споживання первинної енергії під час подрібнення лісосічних відходів, МДж/рік;

$E_{тр2}= (B+A)\cdot E_{т\cdot км2}\cdot n_2$ – споживання первинної енергії при транспортуванні біомаси до споживача та золи до місця утилізації, МДж/рік;

$E_{ван}=1{,}25\cdot 2\ B\cdot b_{ван}\cdot Q_н^p\cdot$– споживання первинної енергії при операціях з вантаження/розвантаження тріски фронтальним завантажувачем, МДж/рік;

$E_{збер} = \frac{720}{10} \cdot \frac{В}{\tau} \cdot е_{збер.нав.}$ – витрати первинної енергії при будівництві складу для зберігання тріски (термін експлуатації будівель та споруд 10 років, зберігається місячний запас палива), МДж/рік,

де B – річне споживання палива котельною установкою, т/рік;

$b_{зб}$, $b_{под}$, $b_{ван}$ – питомі витрати палива обладнанням, яке використовується для збору, подрібнення та навантаження сировини, л/т;

$Q_н^р$ – нижча теплотворна здатність дизельного пального, МДж/л (36,1 МДж/л);

n – відстань транспортування біомаси від місця її збору до подрібнення та від подрібнення до споживача, км (перша відстань приймається на рівні 5 км, друга- являється змінною величиною), км;

А – кількість золи, що утворюється при спалюванні річної кількості палива (зольність деревної тріски приймається на рівні 3%), т;

$E_{т·км}$ – енергоємність транспортної роботи, розраховується за формулою 2.2, МДж/т·км;

τ – річне завантаження установки, год./рік;

$e_{збер.нав.}$ – питомі витрати первинної енергії при будівництві складу: енергоємність металічних та бетонних конструкцій, споживання пального та електроенергії при будівництві, МДж/т.

Підсистема сировинного циклу використання відходів лісозаготівлі характеризується системою вищеперерахованих рівнянь:

$$\begin{cases} E_{сир} = \sum_{i=1}^{n} E_i\,; \\ Е_{зб} = 2{,}5 \cdot В \cdot b_{зб} \cdot Q_р^н; \\ Е_{тр1} = Е_{т·км1} \cdot В \cdot n_1; \\ Е_{под} = 1{,}25 \cdot В \cdot b_{под} \cdot Q_р^н; \\ Е_{тр2} = (В + А) \cdot Е_{т·км2} \cdot n_2; \\ Е_{ван} = 2{,}5 \cdot В \cdot b_{ван} \cdot Q_р^н; \\ E_{збер} = \frac{72 \cdot В \cdot e_{збер.нав.}}{\tau}. \end{cases} \quad (3.14)$$

Загалом, споживання первинної енергії викопного палива протягом сировинного циклу використання лісосічних відходів у вигляді тріски може бути розраховане за наступним рівнянням:

$$\text{Е}_{\text{сир.тр}} = \text{В} \cdot \sum \text{Е}_\text{і} = \text{В} \cdot (2{,}5 \cdot b_{\text{зб}} \cdot Q_\text{н}^\text{р} + \text{Е}_{\text{ткм1}} \cdot n_1 + 1{,}25 \cdot b_{\text{под}} \cdot Q_\text{н}^\text{р} + \text{Е}_{\text{ткм2}} \cdot n_2 + 2{,}5 \cdot b_{\text{ван}} \cdot Q_\text{н}^\text{р} + \frac{72}{\tau} e_{\text{збер.нав.}}) + \text{Е}_{\text{ткм2}} \cdot \text{А} \cdot n_2, \text{ МДж/рік.} \quad (3.15)$$

З врахуванням додаткового етапу гранулювання споживання первинної енергії протягом сировинного циклу використання відходів у вигляді гранул буде становити:

$$\begin{cases} E_{\text{сир}} = \sum_{i=1}^{n} E_i\,; \\ E_{\text{зб}} = 2{,}5 \cdot \text{В}_{\text{тр}} \cdot b_{\text{зб}} \cdot Q_\text{н}^\text{р}; \\ E_{\text{тр1}} = \text{В}_{\text{тр}} \cdot \text{Е}_{\text{ткм1}} \cdot n_1; \\ E_{\text{под}} = 1{,}25 \cdot \text{В}_{\text{тр}} \cdot b_{\text{под}} \cdot Q_\text{н}^\text{р}; \\ E_{\text{гр}} = 3 \cdot \text{В}_{\text{гр}} \cdot \text{е}_{\text{гр}}; \\ E_{\text{тр2}} = (\text{В}_{\text{гр}} + \text{А}) \cdot E_{\text{ткм2}} \cdot n_2; \\ E_{\text{збер}} = \frac{168 \cdot \text{В}_{\text{гр}} \cdot \text{е}_{\text{збер.бун.}}}{10 \cdot \tau}. \end{cases} \quad (3.16)$$

де $\text{В}_{\text{тр}}$ – кількість деревних відходів, необхідних для отримання гранул, т/рік;

$\text{В}_{\text{гр}}$ – річне споживання гранул котельною установкою, т/рік;

n_1 – відстань транспортування лісосічних відходів від місця їх збору до місця подрібнення та гранулювання (приймається на рівні 5 км), км;

n_2 – відстань транспортування гранул до споживача, та золи до місця її утилізації (на місці збору залишків), км;

А – кількість золи, що утворюється при спалюванні річної кількості палива (зольність деревних гранул приймається на рівні 3%), т;

$E_{т \cdot км}$ – енергоємність транспортної роботи, розраховується за формулою (2.2), МДж/т·км;

$\text{е}_{\text{гр}}$ – питомі витрати невідновлюваної енергії на гранулювання (витрати електроенергії в технологічному обладнанні під час операцій з подрібнення,

гранулювання, охолодження та транспортування гранул), МДж/$т_{гр}$. Вважається, що для сушіння сировини використовується власне паливо, яке є відновлюваним, тому до балансу споживання енергії невідновлюваного палива не враховується (в такому випадку використовується термін «еко-гранули»);

$е_{зб.бун.}$ – питомі витрати первинної енергії при будівництві бункеру для гранул: енергоємність металічних та бетонних конструкцій, споживання пального та електроенергії при будівництві, МДж/$т_{гр}$.

Залежність між річною кількістю гранул, необхідних для роботи енергоустановки, та кількістю залишків деревини, що необхідно зібрати для виробництва гранул, виражається наступним чином:

$$В_{тр} = В_{гр} \cdot \frac{100 - W_{гр}}{100 - W_{тр}};$$

де, $W_{гр}$ – вологість деревних гранул, %; $W_{тр}$ – вологість тріски з лісосічних відходів, %

Приймаючи до уваги, що абсолютна вологість деревних гранул знаходиться на рівні 10%, а лісосічні відходи мають природну вологість на рівні 50%, попередня залежність має вигляд:

$$В_{тр} = 1{,}8 \cdot В_{гр}. \tag{3.17}$$

З врахуванням (3.17) залежність (3.16) матиме вигляд:

$$\begin{cases} E_{сир} = \sum_{i=1}^{n} E_i\,; \\ E_{зб} = 4{,}5 \cdot В_{гр} \cdot b_{зб} \cdot Q_н^р; \\ E_{тр1} = 1{,}8 \cdot В_{гр} \cdot Е_{ткм1} \cdot n_1; \\ E_{под} = 2{,}25 \cdot В_{гр} \cdot b_{под} \cdot Q_н^р; \\ E_{гр} = 3 \cdot В_{гр} \cdot е_{гр}; \\ E_{тр2} = (В_{гр} + А) \cdot E_{ткм2} \cdot n_2; \\ E_{збер} = \frac{16{,}8 \cdot В_{гр} \cdot е_{збер.бун.}}{\tau}. \end{cases} \tag{3.18}$$

Споживання первинної енергії протягом сировинного циклу використання тюкованої соломи можна описати системою математичних

співвідношень, кожний з яких буде відповідати за один з елементарних потоків або операцій життєвого циклу:

$E_{тюк}=1,25 \cdot B \cdot b_{тюк} \cdot Q_н^р \cdot$ – споживання первинної енергії при тюкуванні соломи на полі, ГДж/рік;

$E_{зб}=1,25 \cdot B \cdot b_{зб} \cdot Q_н^р$ – споживання первинної енергії під час збору тюків з поля та їх завантаження на транспортний засіб, ГДж/рік;

$E_{тр1}= (B+A) \cdot E_{т \cdot км1} \cdot n_1$ – споживання первинної енергії при транспортуванні тюкованої соломи на оперативний склад, ГДж/рік;

$E_{збер1} = \frac{B \cdot e_{збер.нав.}}{10}$ – витрати первинної енергії при будівництві складу для зберігання річного запасу тюкованої соломи (термін експлуатації будівель та споруд 10 років), ГДж/рік,

$E_{тр2}= B \cdot E_{т \cdot км2} \cdot n_2$ – споживання первинної енергії при транспортуванні біомаси до споживача, ГДж/рік;

$E_{ван}=1,25 \cdot 4 \ B \cdot b_{ван} \cdot Q_н^р \cdot$ – споживання первинної енергії при операціях з вантаження/розвантаження тюків соломи телескопічним завантажувачем;

$E_{збер2} = \frac{168 \cdot B \cdot e_{збер.нав.}}{10 \cdot \tau}$ – витрати первинної енергії при будівництві складу на котельній для зберігання тижневого запасу тюкованої соломи, ГДж/рік,

$E_{под}=3 \cdot e_{под} \cdot B$ – витрати первинної енергії при подрібненні соломи перед подачею у котел, ГДж/рік,

де B – річне споживання палива котельною установкою, т/рік;

$b_{тюк}$, $b_{зб}$, $b_{ван}$ – питомі витрати палива обладнанням, яке використовується для тюкування, збору та навантаження сировини, л/т;

A – кількість золи, що утворюється при спалюванні річної кількості палива (зольність соломи зернових культур приймається на рівні 4,5%), т;

$Q_н^р$ – нижча теплотворна здатність дизельного пального, МДж/л (36,1 МДж/л);

n_1 – відстань транспортування тюків соломи від місця їх виготовлення до оперативного складу, км;

n_2 – відстань перевезення тюків від оперативного складу до споживача, км (відстань приймається на рівні 10 км);

$E_{т\cdot км}$ – енергоємність транспортної роботи, розраховується за формулою 2.2, МДж/т·км;

$e_{\text{збер.нав.}}$ – питомі витрати первинної енергії при будівництві складу: енергоємність металічних та бетонних конструкцій, споживання пального та електроенергії при будівництві, МДж/т;

$e_{под}$ – питомі витрати електроенергії на подрібнення соломи, МДж/т соломи.

Споживання первинної енергії викопного палива підсистемою сировинного циклу використання тюкованої соломи описується системою вищеперерахованих рівнянь:

$$\begin{cases} E_{\text{сир}} = \sum_{i=1}^{n} E_i\,; \\ \text{Е}_{\text{тюк}} = 1{,}25 \cdot \text{В} \cdot b_{\text{тюк}} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н}}; \\ \text{Е}_{\text{зб}} = 1{,}25 \cdot \text{В} \cdot b_{\text{зб}} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н}}; \\ \text{Е}_{\text{тр1}} = (\text{В} + \text{А}) \cdot \text{Е}_{\text{т·км1}} \cdot n_1; \\ \text{Е}_{\text{збер1}} = \frac{\text{В} \cdot \text{е}_{\text{збер.нав.}}}{10}; \\ \text{Е}_{\text{тр2}} = \text{В} \cdot \text{Е}_{\text{т·км2}} \cdot n_2; \\ \text{Е}_{\text{ван}} = 5 \cdot \text{В} \cdot b_{\text{ван}} \cdot Q_{\text{р}}^{\text{н}}; \\ \text{Е}_{\text{збер2}} = \frac{16{,}8 \cdot \text{В} \cdot \text{е}_{\text{збер.нав.}}}{\tau}; \\ \text{Е}_{\text{под}} = 3 \cdot \text{е}_{\text{под}} \cdot \text{В}. \end{cases} \quad (3.19)$$

Загалом, споживання первинної енергії викопного палива протягом сировинного циклу використання тюкованої соломи для виробництва теплової енергії може бути розраховане за наступним рівнянням:

$$\text{Е}_{\text{сир.тюк}} = \text{В} \cdot \left(1{,}25 \cdot b_{\text{тюк}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} + 1{,}25 \cdot b_{\text{зб}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} + \text{Е}_{\text{ткм1}} \cdot n_1 + \frac{\text{е}_{\text{збер}}}{10} + \text{Е}_{\text{ткм2}} \cdot n_2 + 5 \cdot b_{\text{ван}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} + \frac{16{,}8 \cdot \text{е}_{\text{збер}}}{\tau} + 3 \cdot \text{е}_{\text{под}}\right) + \text{А} \cdot \text{Е}_{\text{ткм1}} \cdot n_1, \text{ ГДж/рік.} \quad (3.20)$$

З врахуванням додаткового етапу гранулювання споживання первинної енергії протягом сировинного циклу використання ***соломи у вигляді гранул*** *буде становити:*

$$\begin{cases} E_{\text{сир}} = \sum_{i=1}^{n} E_i\,; \\ E_{\text{тюк}} = 1{,}25 \cdot \text{В}_{\text{тюк}} \cdot b_{\text{тюк}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}; \\ E_{\text{зб}} = 1{,}25 \cdot \text{В}_{\text{тюк}} \cdot b_{\text{тюк}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}; \\ E_{\text{тр1}} = \text{В}_{\text{тюк}} \cdot \text{Е}_{\text{ткм1}} \cdot n_1; \\ E_{\text{ван}} = 2{,}5 \cdot \text{В}_{\text{тюк}} \cdot b_{\text{ван}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}; \\ E_{\text{збер1}} = \text{В}_{\text{тюк}} \cdot \frac{\text{е}_{\text{збер.пл.}}}{10}; \\ E_{\text{гр}} = 3 \cdot \text{В}_{\text{гр}} \cdot \text{е}_{\text{гр}}; \\ E_{\text{тр2}} = (\text{В}_{\text{гр}} + \text{А}) \cdot E_{\text{ткм2}} \cdot n_2; \\ E_{\text{збер2}} = \frac{16{,}8 \cdot \text{В}_{\text{гр}} \cdot \text{е}_{\text{збер.бун.}}}{\tau}. \end{cases} \quad (3.21)$$

де $\text{В}_{\text{тюк}}$ – кількість тюкованої соломи, необхідної для отримання гранул, т/рік;

$\text{В}_{\text{гр}}$ – річне споживання гранул котельною установкою, т/рік;

$b_{тюк}$, $b_{зб}$, $b_{ван}$ – питомі витрати палива обладнанням, яке використовується для тюкування, збору та навантаження тюкованої соломи, л/т;

$Q_н^р$ – нижча теплотворна здатність дизельного пального, МДж/л (36,1 МДж/л);

n_1 – відстань транспортування тюків соломи від місця їх збору до місця гранулювання (приймається на рівні 10 км), км;

n_2 – відстань транспортування гранул до споживача, та золи до місця її утилізації (на поле, де було зібрано солому), км,

А – кількість золи, що утворюється при спалюванні річної кількості палива (зольність солом'яних гранул приймається на рівні 5%), т;

$E_{т·км}$ – енергоємність транспортної роботи, розраховується за формулою 2.2, МДж/т·км;

$\text{е}_{\text{гр}}$ – питомі витрати невідновлюваної енергії на гранулювання (витрати електроенергії в технологічному обладнанні під час операцій з подрібнення, гранулювання, охолодження та транспортування гранул), МДж/$\text{т}_{\text{гр}}$. Вважається, що операції з сушіння сировини не виконуються, оскільки солома заготовлюється з невисокою природною вологістю;

$\text{е}_{\text{збер.пл.}}$ – питомі витрати первинної енергії при зберіганні тюкованої соломи до моменту її гранулювання (зберігання відбувається під плівкою), МДж/$\text{т}_{\text{тюк}}$.

$e_{збер.бун.}$ – питомі витрати первинної енергії при будівництві бункеру для гранул: енергоємність металічних та бетонних конструкцій, споживання пального та електроенергії при будівництві, МДж/$т_{гр}$. У бункері зберігається тижневий запас палива.

Залежність між річною кількістю гранул, необхідних для роботи енергоустановки, та кількістю тюкованої соломи, що необхідно зібрати для виробництва гранул, виражається наступним чином:

$$В_{тр} = В_{гр} \cdot \frac{100-W_{гр}}{100-W_{тс}};$$

де $W_{гр}$ – вологість гранул, %; $W_{тс}$ – вологість тюків соломи, %

Приймаючи до уваги, що абсолютна вологість гранул знаходиться на рівні 10%, а тюки соломи мають природну вологість на рівні 15%, попередня залежність має вигляд:

$$В_{тр} = 1{,}06 \cdot В_{гр}. \quad (3.22)$$

Система рівнянь для обчислення споживання первинної енергії під час сировинного циклу використання гранул з соломи (3.21) для виробництва теплової енергії з врахуванням (3.22) матиме вигляд:

$$\begin{cases} E_{сир} = \sum_{i=1}^{n} E_i\,; \\ E_{тюк} = 1{,}325 \cdot В_{гр} \cdot b_{тюк} \cdot Q_н^р; \\ E_{зб} = 1{,}325 \cdot В_{гр} \cdot b_{зб} \cdot Q_р^н; \\ E_{тр1} = 1{,}06 \cdot В_{гр} \cdot Е_{т\cdot км1} \cdot n_1; \\ E_{ван} = 2{,}65 \cdot В_{гр} \cdot b_{ван} \cdot Q_р^н; \\ E_{збер1} = 0{,}106 \cdot В_{гр} \cdot e_{збер.пл.}; \\ E_{гр} = 3 \cdot В_{гр} \cdot e_{гр}; \\ E_{тр2} = (В_{гр} + А) \cdot E_{ткм2} \cdot n_2; \\ E_{збер2} = \frac{16{,}8 \cdot В_{гр} \cdot e_{збер.бун.}}{\tau}. \end{cases} \quad (3.23)$$

Сукупні витрати первинної енергії у підсистемі перетворення визначаються як:

$$E_{пер.} = E_к/к_н + E_{екс.} + E_{ел.}, \text{ [ГДж/рік]} \quad (3.24)$$

де $E_к$ – затрати первинної енергії та стадії спорудження та демонтажу установки, ГДж; $к_н$ – розрахунковий період експлуатації обладнання, років (20 років); $E_{екс.}$ – витрати первинної енергії на ремонт та обслуговування котельного обладнання, ГДж/рік; $E_{ел.}$ –власне енергоспоживання, ГДж/рік.

$$E_к = E_{мат.} + E_{сп.} + E_{дем.},$$

де $E_{мат}$; $E_{сп}$; $E_{дем}$ – затрати первинної енергії під час виготовлення матеріалів, спорудження котельної установки та під час її демонтажу, ГДж.

$$E_к = E_{мат.} + 0{,}2 \cdot E_{мат.} + 0{,}125\ (1{,}2 \cdot E_{мат}) = 1{,}35 \cdot E_{мат.} = 1{,}35 \cdot e_{мат.}\ M, \qquad (3.25)$$

де $e_{мат}$ – енергоємність матеріалу, з якого виготовлено котел (сталь), МДж/кг;
M – маса котла, кг.

$$E_{екс.} = E_{рем.} + E_{обсл.}, \qquad (3.26)$$

де $E_{рем.}$, $E_{обсл}$ - затрати первинної енергії під час ремонтування котла та його обслуговування протягом терміну експлуатації (оператори котельної та працівники складу палива), ГДж/рік.

$$E_{рем.} = 0{,}0021\ e_{мат.}\ M, \qquad (3.27)$$

$$E_{обсл.} = e_{обсл.}\ N_{обсл.}. \qquad (3.38)$$

де $e_{обсл.}$ – енергетичний еквівалент праці людини, МДж/люд·год;
$N_{обсл}$ – сумарна кількість людино-годин обслуговування котельного обладнання, люд·год/рік.

$$E_{ел.} = e_{ел.}\ \text{СЕР} \qquad (3.39)$$

де $e_{ел.}$ – питоме споживання електроенергії на власні потреби котельної установки (включаючи подачу палива в котел), кВт·год/ГДж. СЕР – виробництво теплової енергії котельною установкою, ГДж/рік.

З врахуванням залежностей (3.25-3.29) сукупні витрати первинної енергії у підсистемі перетворення ($E_{пер.}$) становлять:

$$E_{пер.} = 0{,}07 \cdot e_{мат.}\ M + e_{обсл.}\ N_{обсл.} + e_{ел.}\ \text{СЕР}. \qquad (3.40)$$

3.2. Методика оцінки екологічної ефективності, що базується на балансі викидів парникових газів

Потенціальні екологічні переваги, включаючи скорочення викидів парникових газів, що можуть бути отримані завдяки заміщенню викопних видів палива біомасою, являються однією з найпотужніших рушійних сил для розвитку біоенергетики.

Аналіз життєвого циклу розглядається як найбільш придатний метод для оцінки викидів парникових газів для біоенергетики у порівнянні з системами на викопному паливі. Баланс парникових газів для біоенергетичної системи продукту залежить від типу сировини, зміни вуглецевого складу у зв'язку зі змінами у землекористуванні, транспорту, попередньої підготовки сировини та типу технології перетворення біомаси у теплову чи електричну енергію.

Слідом за методикою для біопалив та біорідин Єврокомісією у своєму звіті з біоенергетики [54] було розроблено та запропоновано спрощену методику для розрахунку балансу парникових газів для твердої та газоподібної біомаси, що використовується для виробництва теплової та електричної енергії та охолодження. Згідно запропонованої методики викиди парникових газів розглядаються для таких одиночних процесів як: посадка, збір урожаю, попередня підготовка та транспортування біомаси. Також враховуються викиди, що пов'язані із прямими змінами у землекористуванні у випадку, коли такі зміни відбулися після 2008 року. До балансу не включаються викиди від спалювання біомаси як палива та будь-які викиди, що пов'язані з непрямими впливами. На відміну від рідких біопалив методика розрахунку викидів ПГ для біомаси та біогазу включає також фінальний етап їх перетворення в теплову та/чи електричну енергію.

Викиди парникових газів від виробництва твердої та газоподібної біомаси перед її перетворенням у теплову/електричну енергію розраховуються за наступною формулою:

$$\varepsilon=e_{ec}+e_1+e_p+e_{td}+e_u-e_{sca}-e_{ccs}-e_{ccr}\ ,\ гCO_{2ек}/т_{біом.}, \quad (3.41)$$

де ε – загальні викиди від виробництва біопалива до його енергетичного перетворення;

e_{ec} – викиди від збору/посадки сировини для виробництва твердого біопалива;

e_1 – сумарні викиди від зміни вуглецевого запасу спричиненого змінами у землекористуванні;

e_p – викиди від переробки/обробки сировини;

e_{td} – викиди від транспортування біомаси;

e_u – викиди під час використання палива, що являють собою парникові гази під час спалювання твердої та газоподібної біомаси;

e_{sca} – скорочення викидів від акумулювання вуглецю у ґрунті, що пов’язане з покращенням ведення сільського господарства;

e_{ccs} – скорочення викидів внаслідок уловлювання та геологічного зберігання вуглецю;

e_{ccr} – скорочення викидів внаслідок уловлювання та заміщення вуглецю.

Викиди, що мають місце при виготовленні обладнання та техніки не враховуються до загального балансу.

Викиди парникових газів при використанні твердої та газоподібної біомаси для виробництва теплової енергії, включаючи етап енергетичного перетворення, розраховуються за наступною залежністю:

$$EC_h= \varepsilon /\eta_h. \quad (3.42)$$

де EC_h – загальні викиди парникових газів при виробництві теплової енергії як кінцевого продукту, $гCO_{2ек}/МДж_{вир.}$;

η_h – ефективність виробництва теплової енергії, що визначається через ділення річного виробництва енергії установкою (Q_1) на річну витрату палива (В), $МДж_{тепл.}/т$.

Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії із біомаси розраховуються наступним чином:

$$\Delta\varepsilon=(EC_{Fh}-EC_h)/EC_{Fh}, \% \quad (3.43)$$

де EC_{Fh} – загальні викиди ПГ при використанні викопних палив для виробництва теплової енергії.

Викиди при збиранні чи посадці сировини e_{ec} повинні включати викиди під процесу збору/посадки/вирощування сировини; від відходів та витоків; від виробництва хімікатів чи продуктів, що використовуються при культивації та зборі.

Річні викиди від зміни вуглецевого запасу, спричиненої змінами у землекористуванні e_1, повинні бути розраховані шляхом рівномірного розподілення загальних викидів протягом 20 років:

$$e_1 = \frac{(CS_R - CS_A) \cdot 3,664}{20} \cdot \frac{1}{P} - e_B,$$

де CS_R – запас вуглецю на одиницю земельної площі при попередньому використанні землі (вимірюється як маса вуглецю на одиницю площі, включаючи як вміст у ґрунті, так і рослинність). Попереднє – це використання землі протягом періоду у 20 років до теперішнього вирощування сировини;

CS_A – запас вуглецю на одиницю земельної площі при теперішньому землекористуванні (вимірюється як маса вуглецю на одиницю площі, включаючи як вміст у ґрунті так і рослинність);

P – продуктивність культури (розраховується на одиницю площі в рік);

e_B – бонус у розмірі 29 г$CO_{2ек}$/МДж твердої чи газоподібної біомаси у випадку, коли біомаса була отримана на відновлених деградованих землях.

Викиди e_p включають викиди від переробки/обробки сировини як такі, від відходів та витоків, що утворюються на даному етапі, від виробництва хімікатів, що використовуються при переробці сировини. Викиди парникових газів при виробництві та розподіленні електроенергії, що споживається в процесі обробки сировини, мають враховуватись на основі середніх значень для даного регіону.

Викиди від транспортування та розподілення e_{td} повинні включати викиди від транспортування та зберігання як сировини, напівготового палива, так і палива в кінцевій формі.

Викиди під час використання палива e_u для твердої та газоподібної біомаси приймаються на нульовому рівні, через те що біомаса вважається CO_2-нейтральним паливом (рекомендації Міжурядової групи експертів з питань змін клімату IPCC [55]).

Відходи лісового та сільського господарства, включаючи гілки та верхів'я дерев, солому, жом, лушпиння соняшника, качани, горіхову лушпину та відходи від переробки даних видів біомаси, включаючи сирий гліцерин, повинні розглядатись як такі, що мають нульовий баланс викидів парникових газів до моменту збору даних видів сировини.

Згідно звіту Європейської Комісії щодо стану сталого розвитку виробництва теплової, електричної енергії та охолодження із твердої та газоподібної біомаси за 2014 рік [56], при виробництві теплової енергії із біомаси викиди парникових газів мають порівнюватись з відповідними викидами від систем на викопних паливах (EC_{Fh}), що становлять 80 $гCO_{2\text{-екв}}/МДж_{тепл.ен.}$

Аналогічний коефіцієнт при виробництві теплової енергії для умов України не знайдений в офіційних документах. В директиві вказано, що значення показнику EC_{Fh} на рівні 80 $гCO_{2ек}/МДж$ враховує те, що більшість теплової енергії до 2020 року у Європейському Союзі вироблятиметься з природного газу, що є ідентичним також для України. Тому в даній роботі значення викидів парникових газів при використанні біомаси для виробництва теплової енергії буде порівнюватись з даною величиною.

Біоенергетична технологія може вважатися екологічно доцільною, якщо її впровадження призводить до зменшення викидів парникових газів у порівнянні із застосуванням традиційного палива. Директива Європарламенту 2009/28/ЕС щодо сприяння використання ВДЕ вимагає, щоб зниження викидів парникових газів при використанні біопалив та біорідин становило не менше 35%. З 1 січня 2017 року цей показник підвищиться до 50%, а з 1 січня 2018 року – до 60% для установок, які почали працювати з 01.01.2017 [57].

Єврокомісія у звіті 2010 року [54] рекомендує встановити такі самі вимоги до установок, що використовують тверду та газоподібну біомасу для виробництва теплової, електричної енергії та охолодження, якщо їх потужність перевищує 1 МВт.

Викиди ПГ від виробництва твердої біомаси перед її перетворенням у теплову енергію (ε) для різних видів твердого біопалива, що розглядаються у роботі, буде проаналізовано нижче.

Лісосічні відходи у вигляді тріски.

Розглядаються викиди парникових газів на кожному етапі життєвого циклу використання лісосічних відходів для виробництва теплової енергії: збору залишків, їх перевезення, подрібнення, транспортування готової тріски, операціях її вантаження/розвантаження та подачі у котельну установку. Залежність (3.41) у розрахунковому варіанті має наступний вигляд:

$$\varepsilon=e_{зб}+e_{пер}+e_{под}+e_{тр}+e_{ван}+e_{кот.}\text{ , г}CO_{2\text{-екв.}}/т_{біом.} \quad (3.44)$$

де $e_{зб}$ – викиди парникових газів під час роботи обладнання зі збору лісосічних відходів, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{пер}$ – викиди парникових газів під час роботи обладнання з перевезення відходів, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{под}$ – викиди парникових газів під час роботи подрібнювача, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{тр}$ – викиди парникових газів при перевезенні біомаси до споживача, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{зав}$ – викиди парникових газів при роботі фронтального навантажувача на складі палива, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{кот.}$ – викиди парникових газів при автоматизованій подачі палива до котельної установки г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом.}$

Майже всі вищеперераховані операції виконуються з використанням дизельного палива. Згідно керуючих принципів національних інвентаризацій парникових газів, розроблених міжурядовою панеллю зі зміни клімату IPCC [55], коефіцієнт викидів парникових газів при використанні дизельного пального ($К_{в.д.}$) становить 74,1 т/ТДж.

При подачі палива до котельної установки використовується електроенергія. Згідно наказу Національного агентства екологічних інвестицій України №75 від 12.05.2011 року, питомі викиди двооксиду вуглецю при використанні електричної енергії споживачами, які віднесені до 2 класу споживачів ($К_{в.ел.}$), становлять 1,227 кг $CO_{2\ екв.}$/кВт·год.

З врахуванням вищенаведеного, залежність (3.44) матиме наступний вигляд:

$$\varepsilon = К_{в.д.} \cdot Q_н^р \cdot (b_{зб} + b_{пер} + b_{под} + b_{тр} + b_{ван}) + К_{в.ел.} \cdot b_{кот}, \text{ г}CO_{2\text{-екв.}}/\text{т} \quad (3.45)$$

де $b_{зб}; b_{пер}; b_{под}; b_{тр}; b_{ван}$ – витрати дизельного пального обладнанням, що здійснює збір, перевезення та подрібнення лісосічних відходів, транспортування тріски та її завантаження, л/т;

$Q_н^р$ – нижча теплота згорання дизельного пального, МДж/л;

$b_{кот}$ – споживання електричної енергії котельною установкою, кВт·год/т.

Лісосічні відходи у вигляді гранул.

Життєвий цикл лісосічних відходів в даному випадку включатиме додатковий етап гранулювання, а залежність, що характеризує питомі викиди парникових газів, матиме наступний вигляд:

$$\varepsilon = К_{в.д.} \cdot Q_н^р \cdot \left(b_{зб} + b_{пер} + b_{под} + b_{тр} + b_{ван}\right) + К_{в.ел.} \cdot (b_{кот} + b_{гр}), \quad (3.46)$$

де $b_{гр}$ – питомі витрати електроенергії на гранулювання, кВт·год/$т_{гр}$.

Тюкована солома.

Розглядаються викиди парникових газів на кожному етапі життєвого циклу використання соломи для виробництва теплової енергії: тюкування, збору і завантаження, вантаження/розвантаження на складу, транспортування, подрібнення та подачі до котельної установки. Залежність (3.41) у розрахунковому варіанті має наступний вигляд:

$$\varepsilon = e_{тюк}+e_{зб}+e_{тр1}+e_{зав}+e_{тр2}+e_{под}+e_{кот.}, \text{ г}CO_{2\text{-екв.}}/т_{біом.} \quad (3.47)$$

де $e_{тюк}$ – викиди парникових газів під час роботи прес-підбирача соломи, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{зб}$ – викиди ПГ під час роботи обладнання зі збору соломи з поля та завантаження на транспортний засіб, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{тр1}$ – викиди ПГ під час перевезення соломи на оперативний склад, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{тр2}$ – викиди ПГ при перевезенні біомаси до споживача, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{зав}$ – викиди ПГ при роботі навантажувача на оперативному складі та складі котельної, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{под}$ – викиди ПГ при подрібненні соломи перед подачею у котел, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$;

$e_{кот.}$ – викиди ПГ при автоматизованій подачі палива до котельної установки г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$.

Майже всі вищеперераховані операції виконуються з використанням дизельного палива. При подрібненні соломи перед котлом та при подачі палива до котельної установки використовується електроенергія.

З врахуванням вищенаведеного, залежність (3.47) матиме наступний вигляд:

$$\varepsilon = К_{в.д.} \cdot Q_н^р \cdot (b_{тюк} + b_{зб} + b_{тр1} + b_{зав} + b_{тр2}) + К_{в.ел.} \cdot (b_{под} + b_{кот}), \quad (3.48)$$

де $b_{тюк}; b_{зб}; b_{тр1}; b_{зав}; b_{тр2}$ – витрати дизельного пального обладнанням, що здійснює тюкування, збір, перевезення та завантаження соломи, л/т;

$Q_н^р$ – нижча теплота згорання дизельного пального, МДж/л;

$b_{под}$, $b_{кот}$ – споживання електричної енергії подрібнювачем соломи та котельною установкою, кВт·год/т.

Солома у вигляді гранул.

Життєвий цикл виробництва теплової енергії в даному випадку включатиме додатковий етап гранулювання, а залежність, що характеризує питомі викиди парникових газів до етапу енергетичного перетворення, матиме наступний вигляд:

$$\varepsilon = К_{в.д.} \cdot Q_н^р \cdot \left(b_{тюк} + b_{зб} + b_{тр1} + b_{зав} + b_{тр2}\right) + К_{в.ел.} \cdot (b_{кот} + b_{гр}), \quad (3.49)$$

де $b_{гр}$ – питомі витрати електроенергії на гранулювання, кВт·год/$т_{гр}$.

Висновки до Розділу 3

Таким чином у третьому розділі роботи виконано адаптацію методик розрахунку показників енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів до особливостей життєвого циклу виробництва теплової енергії з наступних видів твердого біопалива: тріска з лісосічних відходів, гранули з лісосічних відходів, тюкована солома, гранули з соломи. В якості показників енергетичної ефективності обрано приведені питомі сукупні витрати первинної енергії та коефіцієнт перетворення енергії.

Виконано математичний опис річного споживання первинної енергії та викидів парникових газів упродовж сировинних циклів виробництва теплової енергії. Проаналізовано кожний з елементарних потоків або операцій, що мають місце під час підготовки біомаси до використання в енергетичних цілях та запропоновано рівняння розрахунку споживання первинної енергії викопного палива, де за допомогою коефіцієнтів, враховано особливості життєвих циклів кожного конкретного виду біопалива (кількість разів виконання операцій, об’єм зберігання палива на складі та ін.).

РОЗДІЛ 4
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

4.1. Оцінка ефективності використання лісосічних відходів для виробництва теплової енергії за показником коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії у якості критерію

В даному розділі виконуватиметься порівняння енергетичної ефективності використання лісосічних відходів для отримання теплової енергії при прямому спалюванні, використовуючи показники, описані у розділі 3.1, а саме: сукупні приведені витрати енергії та коефіцієнт перетворення енергії. Буде запропоновано розрахункову модель та залежності, які описують економію споживання первинної енергії викопного палива при роботі установки на біомасі. Буде визначено вплив найбільш вагомих параметрів життєвого циклу на його енергетичну ефективність, а саме, форми ущільнення біомаси, потужності енергетичної установки, відстані транспортування біомаси, ККД енергетичної установи. Буде проведено аналіз чутливості енергетичної ефективності при збільшенні витрати палива на основні операції життєвого циклу використання лісосічних відходів в якості палива.

Оцінка енергетичної ефективності використання лісосічних відходів полягає у визначенні сукупних приведених витрат первинної енергії (CED), пов’язаних з роботою котла, працюючого на деревній трісці (витрати енергії в процесі сировинного, технологічного та циклу перетворення), та їх порівнянні з тепловою енергією «на виході» з енергетичної установки (CEP).

З врахуванням співвідношень, що описані у розділі 3.1, та рекомендацій Міжнародного енергетичного агентства розрахунково-методична модель визначення енергетичної ефективності з врахуванням критеріїв сталого розвитку має вигляд:

$$\begin{cases} CED_{NR} = E_{\text{сир}} + E_{\text{пер}}; \\ E_{\text{сир}} = \text{В} \cdot \sum_{i=0}^{n} \text{E}_\text{i}\,; \\ E_{\text{пер}} = E_{\text{екс.}} + E_{\text{ел.}} + \text{к}_\text{н} \cdot E_\text{к}; \\ \text{CEP} = \sum W_\text{i} \cdot \tau_\text{i}\,; \\ ced_{NR} = \frac{CED_{NR}}{CEP}; \\ EYC_{NR} = \frac{CEP}{CED_{NR}}; \\ ced_{NR} < 0{,}2, EYC_{NR} > 5. \end{cases} \quad (4.1)$$

4.1.1. Оцінка енергетичної ефективності використання лісосічних відходів у вигляді тріски у котельній установці потужністю 500 кВт

Оцінка енергетичної ефективності буде виконуватись з використанням моделі (4.1), залежностей, що описують життєвий цикл використання лісосічних відходів у вигляді тріски (3.15) та гранул (3.18) для виробництва теплової енергії, та залежності, що описує витрати енергії в підсистемі перетворення (3.40).

Паливом для котельної установки є деревна тріска вологістю 45% з теплотворною здатністю 9 МДж/кг. Вважається, що впровадження котла на біомасі призводить до заміщення використання природного газу. Застосування деревної тріски для виробництва енергії в обсязі 703,6 т/рік еквівалентно скороченню споживання природного газу в об'ємі 171 тис. м^3/рік (таблиця 4.1). При спалюванні тріски утворюється зола у обсязі 21,1 т/рік.

Витрата палива в котельній установці розраховується за наступною залежністю:

$$\text{В} = \frac{3{,}6 \cdot N \cdot \tau \cdot \alpha}{Q_\text{н}^\text{р} \cdot \eta_\text{ку}}; \text{т/рік} \quad (4.1)$$

де N – теплова потужність котла, кВт; τ – річне завантаження установки, год./рік; α – коефіцієнт використання встановленої потужності, %; $Q_\text{н}^\text{р}$ – нижча теплотворна здатність деревної тріски, МДж/кг; $\eta_\text{ку}$ – коефіцієнт корисної дії котла, %.

Кількість золи, що утворюється при спалюванні річного об'єму деревної тріски:

$$A = B \cdot A_p, \text{ т/рік} \quad (4.2)$$

де A_p – зольність деревної тріски з лісосічних відходів (приймається 3%), %.

Виробництво теплової енергії котельною установкою (СЕР) розраховується за залежністю нижче.

$$\text{СЕР} = \sum W_i \cdot \tau_i, \text{ ГДж/рік}, \quad (4.3)$$

де W_i – потужність установки в певний період її роботи (τ_i).

В розрахунковому варіанті залежність (4.3) має вигляд:

$$\text{СЕР} = Q_1 \cdot (1 - q) = B \cdot Q_н^р \cdot \eta_{ку} \cdot (1 - q), \text{ ГДж/рік;} \quad (4.4)$$

де q – втрати теплової енергії (приймаються на рівні 5%).

Таблиця 4.1

Технічні характеристики котла на деревній трісці

Показники	Значення
Встановлена потужність	500 кВт
Навантаження	4272 год./рік
Номінальне навантаження	70%
ККД котла	85%
Витрата палива (деревна тріска)	703,6 т/рік
Виробництво теплової енергії	5383 ГДж/рік
Втрати теплової енергії	5%
Теплова енергія отримана споживачем	5114 ГДж/рік
Економія споживання природного газу	171 тис. $м^3$/рік

Проведемо опис підсистеми перетворення палива в енергоносій. Підсистема перетворення палива в енергоносій (рис. 2.5) включає в себе наступні одиничні процеси: виробництво котельної установки, безпосередньо перетворення палива в енергоносій та демонтаж енергетичної установки після завершення терміну її експлуатації (20 років). Оскільки об'єктом дослідження в даній роботі є стадії життєвого циклу виробництва теплової енергії, то

тривалість життєвого циклу визначається за терміном служби основного енергетичного обладнання – 20 років.

У таблиці 4.2 представлено основні складові витрат первинної енергії під час операцій з виготовлення, ремонтування, експлуатації та демонтажу котла, що використовує деревну тріску з лісосічних відходів у якості палива. Енергозатрати на виготовлення та демонтаж котельної установки приводяться до терміну експлуатації обладнання у 20 років.

Таблиця 4.2

Опис підсистеми перетворення палива в енергоносій у котельній установці

Стадія життєвого циклу	Показник, необхідний для розрахунку	Значення показнику
Затрати первинної енергії на виготовлення котла	Маса котла	5900 кг
	Енергоємність сталі	50 МДж/кг
	Енергоємність будівельно-монтажних робіт	20% енергоємності матеріалу
Споживання електроенергії на власні потреби	Котел з автоматичною подачею палива	2 кВт·год/ГДж
Ремонтування		3,5% від енергозатрат на виготовлення
Обслуговування котла	Кількість обслуговуючого персоналу	3 людини, 8 годин робоча зміна
	Енергетичний еквівалент праці людини	2,4 МДж/люд·год
Демонтаж		12,5% від затрат на виготовлення

На основі розрахунково-методичної моделі (4.1), залежностей (3.15) та (3.40) було проведено дослідження енергетичної ефективності виробництва теплової енергії у котлі потужністю 500 кВт з використанням лісосічних відходів у вигляді тріски у якості палива. В таблиці 4.3 та 4.4 наведені значення всіх складових витрат первинної енергії протягом життєвого циклу використання лісосічних відходів. Значення всіх показників, отримані в даному розрахунку (див. таблицю 4.3), відповідають рекомендованим діапазонам.

Таким чином, можна зробити висновок про доцільність реалізації проекту по впровадженню котла на деревній трісці з енергетичної точки зору.

Таблиця 4.3

Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски з лісосічних відходів

Витрати первинної енергії	ГДж/рік				
1. Витрата палива (деревна тріска)	6333				
2. Збір деревних відходів форвардером	153,93				
3. Перевезення відходів до місця подрібнення лісовозом	50,31				
4. Подрібнення деревних відходів на проміжному складі	69,83				
5. Вантаження/розвантаження тріски на складі котельної	37,8				
6. Споживання електроенергії котлом	116,3				
7. Спорудження котельної установки (виготовлення обладнання, будівельно-монтажні роботи)	17,7				
8. Демонтаж, утилізація обладнання котельної установки	2,2				
9. Складування деревної тріски	2,4				
10. Витрати енергії на обслуговування котла персоналом	8,9				
11. Витрати енергії на ремонтування котла	0,6				
12. Транспортування тріски до споживача та золи до місця утилізації	Відстань транспортування, км				
	0	10	50	100	150
	0	28,5	142,3	284,6	426,9
CED, ГДж/рік	6793	6821	6935	7077	7219
ced	1,33	1,33	1,36	1,38	1,41
EYC=1/ced	0,75	0,75	0,74	0,72	0,71
CED_{NR}, ГДж/рік	460	488	602	745	887
ced_{NR}	0,09	0,10	0,12	0,15	0,17
$EYC_{NR}=1/ced_{NR}$	11,12	10,47	8,49	6,87	5,77

З даних в таблиці 4.4 та на рисунку 4.1 видно, що найбільші витрати первинної енергії викопного палива відбуваються на стадії заготівлі сировини для виробництва біопалива. Збір лісосічних відходів, що розкидані нерівномірно по площі лісосіки, являється дуже енергомістким процесом. Також вагомими складовими є транспортування вже готового палива у вигляді тріски та виробництво енергії. Витрати енергії на виготовлення, демонтаж, обслуговування та ремонт котельної установки становлять лише 3% від усіх затрат первинної енергії викопного палива.

Таблиця 4.4

Споживання первинної енергії при роботі котла потужністю 500 кВт

Етап сировинного, технологічного та циклу перетворення	ГДж/рік
Заготівля біомасової сировини ($E_{ЗАГ}$)	204,3
Подрібнення ($E_{ПОД}$)	69,8
Транспортування біопалива та золи на відстань 50 км ($E_{ТР}$)	142,3
Складування та зберігання біопалива ($E_{СК}$)	40,2
Виробництво теплової енергії ($E_{ВИР}$)	116,3
Виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котла ($E_{КОТ}$)	29,4
CED_{NR} ($E_{ЗАГ}$+$E_{ПОД}$+$E_{ТР}$+$E_{СК}$+$E_{ВИР}$+$E_{КОТ}$)	602,2
Споживання біопалива котельною установкою ($F_{Н}$)	6333
CED (CED_{NR}+$F_{Н}$)	6935
Виробництво теплової енергії (CEP)	5114
EYC_{NR} = CEP/CED_{NR}	**8,49**
EYC = CEP/CED	**0,74**

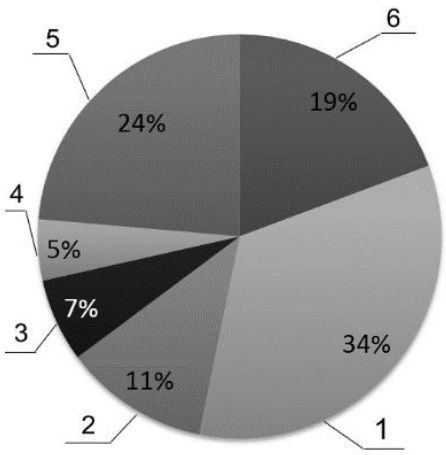

Рис. 4.1. Розподілення витрат первинної енергії викопного палива (CED_{NR}) за стадіями життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски: 1 – заготівля сировини; 2 – подрібнення відходів; 3 – зберігання біопалива; 4 – виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котельної установки; 5 – транспортування тріски та золи; 6 – виробництво теплової енергії.

Якщо розглядати витрати первинної енергії всього палива протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії, то видно (рис. 4.2), що основну частину становить біомаса – 94% всіх витрат первинної енергії.

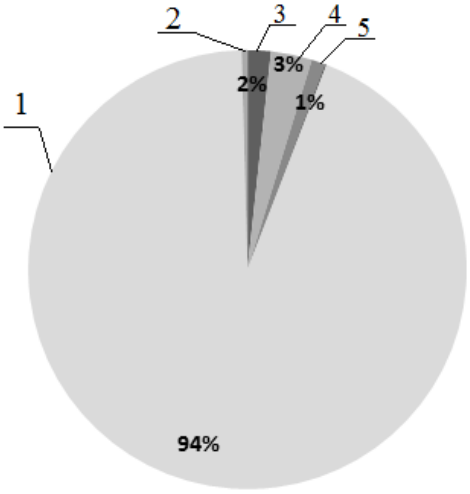

Рис. 4.2. Розподілення витрат первинної енергії палива (CED) за стадіями життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски:
1 – біопаливо; 2 – виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котельної установки; 3 – виробництво теплової енергії; 4 – заготівля палива; 5 – подрібнення.

4.1.2. Залежність енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з деревної тріски від потужності енергетичної установки та відстані транспортування біопалива

Використовуючи розроблену в попередньому підрозділі розрахункову модель (4.1), було проведено аналіз енергетичної ефективності виробництва теплової енергії для різної потужності котельної установки на біомасі. Результати розрахунку наведено в таблиці 4.5 та на рисунку 4.3.

Як видно з графіка на рис. 4.3 потужність енергетичної установки не має великого впливу на її енергетичну ефективність: зменшення потужності установки на деревній трісці з 10 МВт до 100 кВт знижує енергетичну ефективність на 12%, проте зі збільшенням відстані транспортування біопалива вплив даної величини зменшується. Рекомендовані значення коефіцієнту перетворення енергії досягаються при перевезенні деревної тріски на відстань близько 200 км.

Таблиця 4.5

Залежність коефіцієнту перетворення енергії від відстані транспортування біомаси та потужності енергетичної установки

$EYC_{NR} = CEP/CED_{NR}$	Відстань транспортування, км							
	0	50	100	150	200	250	300	500
Котел 100 кВт	10,39	8,14	6,69	5,68	4,93	4,36	3,91	2,76
Котел 500 кВт	11,12	8,49	6,87	5,77	4,97	4,37	3,89	2,72
Котел 2 МВт	11,27	8,67	7,04	5,93	5,12	4,51	4,03	2,82
Котел 10 МВт	11,43	8,77	7,11	5,98	5,16	4,54	4,05	2,83

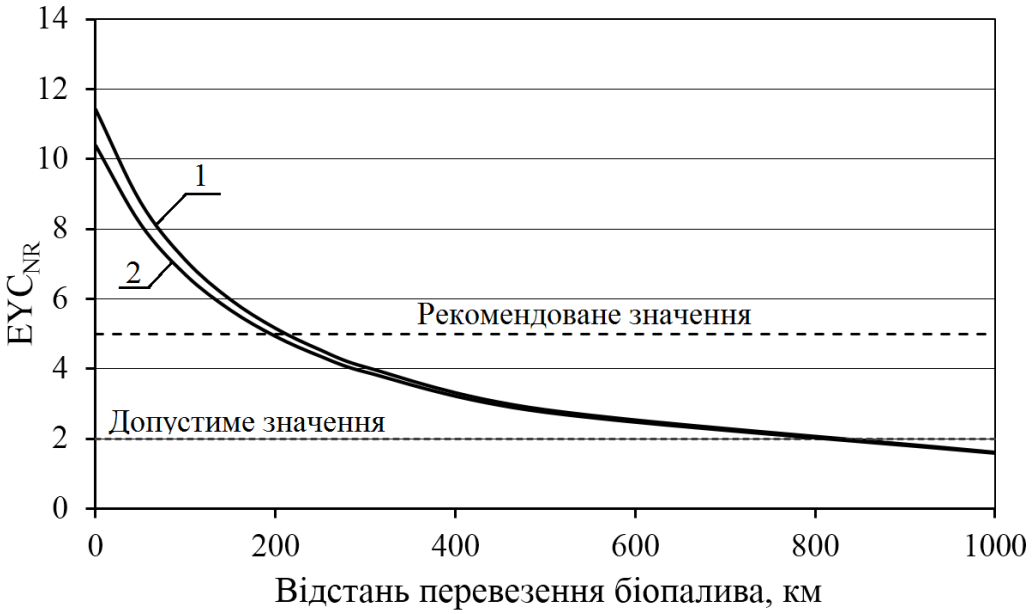

Рис. 4.3. Залежність коефіцієнту перетворення енергії від відстані транспортування тріски та потужності енергетичної установки: 1 – котел потужністю 10 МВт; 2 – котел потужністю 500 кВт.

4.1.3. Вплив параметрів життєвого циклу на енергетичну ефективність виробництва теплової енергії з лісосічних відходів

Як було зазначено у пункті 4.1.1, найбільше споживання первинної енергії під час сировинного циклу використання лісосічних відходів у вигляді тріски відбувається на етапах заготівлі, подрібнення та транспортування відходів. Проведемо аналіз чутливості енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з використанням розрахункової моделі (4.1) та залежності (3.15), варіюючи витрату дизельного пального, що споживається форвардером ($b_{зб.}$), автомобільним транспортом ($b_{тр.}$) та мобільним подрібнювачем ($b_{под.}$).

Результати такого аналізу представлені на рис. 4.4. Збільшення витрати палива на основні операції сировинного циклу вдвічі призводить до зниження енергетичної ефективності виробництва теплової енергії на 20%. Зменшення витрат пального призводить до збільшення коефіцієнту перетворення енергії максимум на 30%. Найбільший вплив на ріст енергетичної ефективності має споживання палива на етапі заготівлі лісосічних відходів, тому саме на даному

етапі має приділятись найбільша увага вибору техніки та технологій для збору відходів нерівномірно розосереджених по лісосіці.

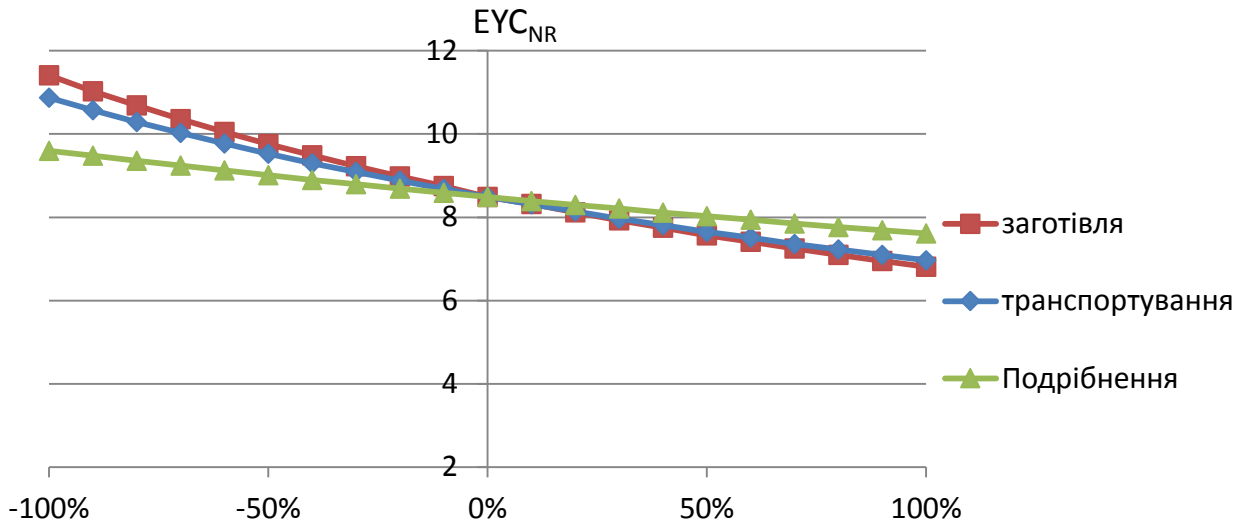

Рис. 4.4. Вплив зміни параметрів життєвого циклу на коефіцієнт перетворення невідновлюваної енергії (деревна тріска)

Важливим параметром життєвого циклу виробництва теплової енергії також являється ефективність перетворення енергії в котельній установці, що виражається в показнику ККД. Залежність коефіцієнту перетворення енергії від ККД котла на деревній трісці та відстані транспортування біомаси приведено на рисунку 4.5.

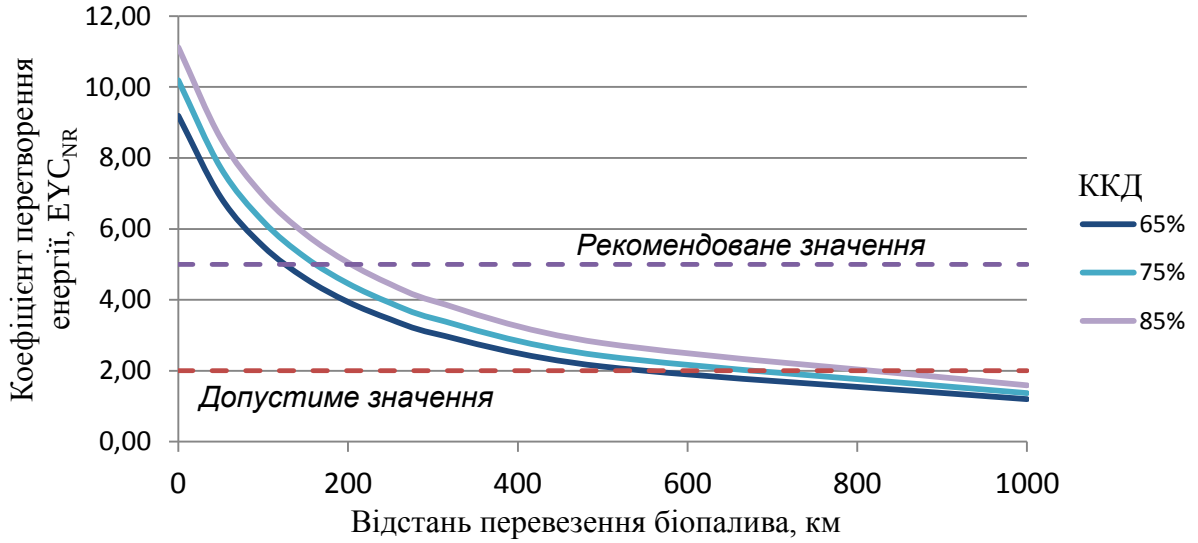

Рис. 4.5. Залежність коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії від ККД енергетичної установки (деревна тріска)

Використання тріски з лісосічних відходів у енергетичному обладнанні, що характеризується низьким ККД (на рівні 65%), призводить до збільшення споживання первинної енергії палива загалом (нижче значення коефіцієнту перетворення енергії) та до скорочення майже вдвічі відстані, яка відповідає рекомендованому значенню коефіцієнту перетворення енергії (EYC_{NR}=5).

4.1.4. Вплив форми ущільнення лісосічних відходів на енергетичну ефективність життєвого циклу їх використання

На основі розрахунково-методичної моделі (4.1), залежностей (3.18) та (3.40) було проведено дослідження енергетичної ефективності виробництва теплової енергії у котлі потужністю 500 кВт з використанням лісосічних відходів у вигляді ***гранул*** у якості палива (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Технічні характеристики котла на деревних гранулах

Показники	Значення
Встановлена потужність	500 кВт
Період роботи	4272 год/рік
Номінальне завантаження	70%
ККД котла	87%
Витрата палива (деревні гранули)	366,1 т/рік
Виробництво теплової енергії	5383 ГДж/рік
Втрати теплової енергії	5%
Теплова енергія, відпущена споживачу (енергія «на виході»)	5114 ГДж/рік

В таблиці 4.7 наведені значення всіх складових витрат первинної енергії протягом життєвого циклу використання лісосічних відходів у вигляді гранул та показники енергетичної ефективності виробництва теплової енергії.

Таблиця 4.7

Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу виробництва тепла з гранул, отриманих з лісосічних відходів

Етап життєвого циклу	Витрати первинної енергії, ГДж/рік				
1. Споживання палива (гранули з деревини)	6187 (366,1 т гранул/рік)				
2. Збір залишків деревини на лісосіці форвардером	144,3				
3. Перевезення сировини до місця подрібнення та виробництва гранул	47,1				
4. Подрібнення залишків деревини	65,4				
5. Гранулювання (еко-гранули)	364,7				
6. Зберігання гранул	1,6				
7. Виробництво теплової енергії (електроенергія на власні потреби енергетичної установки, включаючи подачу гранул в котел)	116,3				
8. Виготовлення котельної установки	17,7				
9. Утилізація котельної установки	2,2				
10. Затрати праці (обслуговування котла+гранулювання), ГДж/рік	8,9				
11. Ремонтування котельної установки	0,6				
12. Транспортуванні гранул до місця використання та золи до місця утилізації	0 км	10 км	50 км	100 км	150 км
	0	14,6	72,8	145,6	218,4
CED, ГДж/рік	8142	8156	8215	8288	8360
ced	1,59	1,60	1,61	1,62	1,63
EYC=1/ced	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61
CED_{NR}, ГДж/рік	769	783	842	914	987
ced_{NR}:	0,15	0,15	0,16	0,18	0,19
$EYC_{NR}=1/ced_{NR}$	6,65	6,53	6,08	5,68	5,59

Як видно з отриманих значень, проект по впровадженню котельної установки на деревних гранулах характеризується високими значеннями коефіцієнту перетворення енергії та відповідає рекомендованим значенням критеріїв сталого розвитку в розглянутому радіусі транспортування гранул до установки – 150 км. Приведені питомі сукупні витрати невідновлюваної енергії і коефіцієнт виходу енергії відповідають рекомндованим діапазонам: $ced_{NR}<0,2$, $EYC_{NR}>5$.

Варто зазначити, що у порівнянні з випадком спалювання деревної тріски (див. табл. 4.3) енергетичні показники є дещо нижчими. Зниження показників пояснюється порівняно великими витратами енергії на гранулювання біомаси – 43% всіх витрат первинної енергії (рис. 4.6).

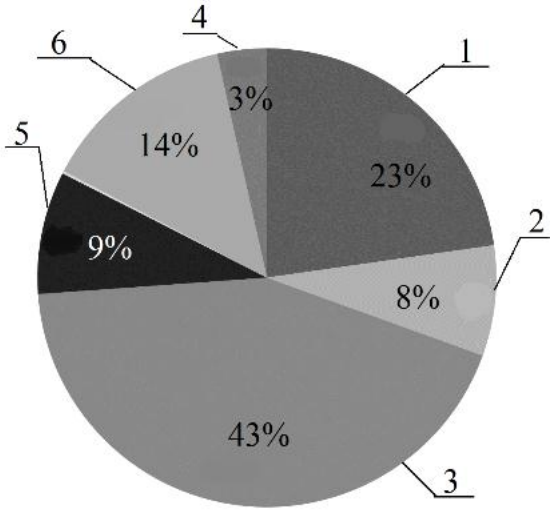

Рис. 4.6. Розподілення витрат первинної енергії за стадіями життєвого циклу використання деревних гранул для виробництва теплової енергії:
1 – заготівля сировини; 2 – подрібнення відходів; 3 – гранулювання, 4 – виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котельної установки; 5 – транспортування гранул та золи; 6 – виробництво теплової енергії

Проте, як видно з залежності представленої на рис. 4.7, при необхідності транспортування біомаси на відстань більше ніж 230 км, гранули є вигіднішими з енергетичної точки зору (підвищене споживання енергії, пов’язане з гранулюванням, нівелюється більшою ефективністю технологічного процесу

спалювання гранул, більшим ККД енергоустановки та меншими витратами на транспортування гранул). Точка перетину значень енергетичної ефективності для гранул та тріски знаходиться вище, ніж лінія рекомендованих значень, які відповідають сталому розвитку у майбутньому, проте знаходиться в діапазоні допустимих значень.

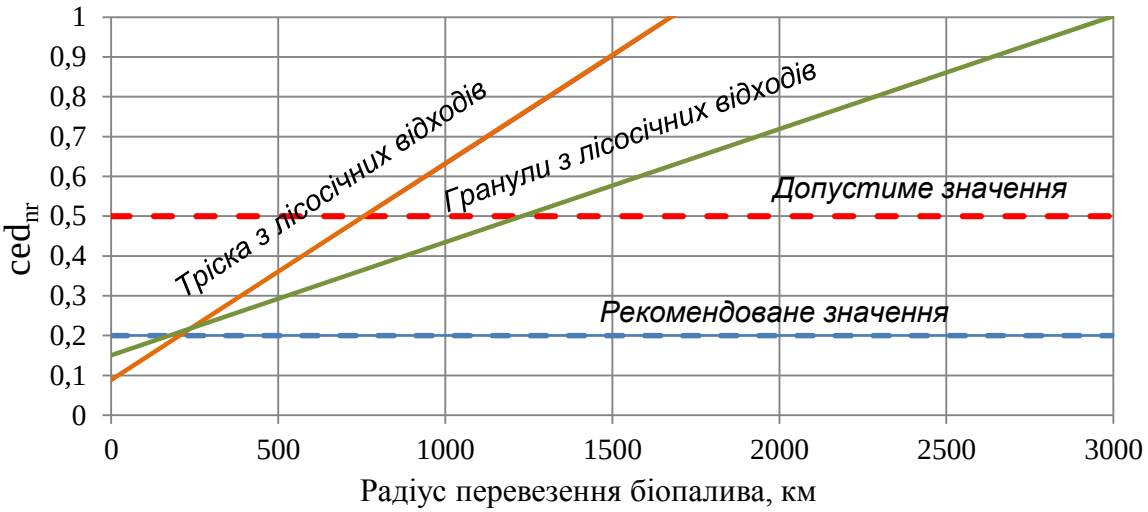

Рис. 4.7. Залежність сукупних приведених витрат первинної енергії ced_{nr} від відстані перевезення біопалива

4.2. Оцінка ефективності використання соломи для виробництва теплової енергії за показником коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії у якості критерію

В даному розділі виконуватиметься порівняння ефективності використання соломи зернових культур для отримання теплової енергії при прямому спалюванні, використовуючи показники, описані у розділі 3.1, а саме: сукупні приведені витрати енергії та коефіцієнт перетворення енергії. Буде визначено вплив найбільш вагомих параметрів життєвого циклу на його енергетичну ефективність, а саме, форми ущільнення біомаси, потужності енергетичної установки, відстані транспортування біомаси, ККД енергетичної установки. Буде проведено аналіз чутливості енергетичної ефективності при збільшенні витрати палива на основні операції життєвого циклу використання соломи в якості палива.

Оцінка енергетичної ефективності буде виконуватись з використанням розрахунково-методичної моделі (4.1), залежностей, що описують життєвий цикл використання тюкованої соломи (3.20) та соломи у вигляді гранул (3.23) для виробництва теплової енергії та залежності, що описує витрати енергії в підсистемі перетворення (3.40).

4.2.1. Оцінка енергетичної ефективності використання тюкованої соломи у котельній установці потужністю 500 кВт

Паливом для котельної установки є тюкована солома вологістю 15% з теплотворною здатністю 14 МДж/кг. Вважається, що впровадження котла на біомасі призводить до заміщення використання природного газу. Застосування соломи для виробництва енергії в обсязі 458 т/рік еквівалентно скороченню споживання природного газу в об’ємі 179 тис. $м^3$/рік (таблиця 4.8). При спалюванні тюкованої соломи утворюється зола у розмірі 20,6 т/рік.

Витрата палива в котельній установці розраховується за залежністю (4.1). Кількість золи, що утворюється при спалюванні річного об'єму соломи за формулою (4.2), де A_p – зольність соломи зернових культур (приймається на рівні 4,5%). Виробництво теплової енергії котельною установкою розраховується за залежністю (4.4). Сукупні витрати первинної енергії у підсистемі перетворення ($E_{пер.}$) визначаються за формулою (3.40), де маса котла на тюкованій соломі становить 13400 кг.

Таблиця 4.8

Технічні характеристики котла на тюкованій соломі

Показники	Значення
Встановлена потужність	500 кВт
Навантаження	4272 год./рік
Номінальне навантаження	70%
ККД котла	84%
Витрата палива (тюкована солома)	457,7 т/рік
Виробництво теплової енергії	5383 ГДж/рік
Втрати теплової енергії	5%
Теплова енергія на виході з енергетичної установки	5114 ГДж/рік
Економія споживання природного газу	179 тис. $м^3$/рік

В таблиці 4.9 та 4.10 наведені значення всіх складових витрат первинної енергії протягом життєвого циклу використання соломи, а також приведені значення показників енергетичної ефективності: коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії та питомих сукупних витрат невідновлюваної енергії.

Значення всіх показників, отримані в даному розрахунку (див. табл. 4.9), відповідають рекомендованим діапазонам. Таким чином, можна зробити висновок про доцільність реалізації проекту по впровадженню котла на тюкованій соломі з енергетичної точки зору.

Таблиця 4.9

Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з тюкованої соломи

Етап життєвого циклу	Витрати первинної енергії, ГДж/рік				
1. Витрата палива (тюкована солома)	6408				
2. Тюкування соломи на полі	31,00				
3. Збір тюків з поля та завантаження на транспортний засіб	22,7				
4. Вантаження/розвантаження тюків на оперативному складі та складі котельної	20,8				
5. Транспортування соломи на склад котельної	37,35				
6. Споживання електроенергії котельною установкою (власні потреби + подрібнювач соломи)	190,4				
7. Спорудження котельної установки (виготовлення обладнання, будівельно-монтажні роботи)	40,20				
8. Демонтаж, утилізація обладнання котельної установки	5,03				
9. Складування тюкованої соломи (спорудження оперативного складу та складу при котельній)	10,7				
10. Витрати енергії на обслуговування котла персоналом	8,9				
11. Витрати енергії на ремонтування котла	1,41				
12. Перевезення сировини на оперативний склад та золи на місце утилізації	Відстань транспортування, км				
	0	10	50	100	150
	0,00	22,57	112,86	225,71	338,57
CED, ГДж/рік	6776	6799	6889	7002	7115
ced	1,33	1,33	1,35	1,37	1,39
EYC=1/ced	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72
CED_{NR}, ГДж/рік	368	391	481	594	707
ced_{NR}	0,07	0,08	0,09	0,12	0,14
$EYC_{NR}=1/ced_{NR}$	13,88	13,08	10,63	8,61	7,23

З даних таблиці 4.10 та рисунку 4.8 видно, що найбільші витрати первинної енергії викопного палива відбуваються на стадії транспортування тюкованої соломи, її подрібнення перед подачею у котельну установку та під час виробництва теплової енергії. Операції поводження з соломою у вигляді її тюкування та завантажувально-розвантажувальних робіт становлять 9 % від усіх затрат первинної енергії викопного палива. Витрати енергії на виготовлення, демонтаж, обслуговування та ремонт котельної установки становлять 12 % від усіх затрат первинної енергії викопного палива.

Таблиця 4.10

Споживання первинної енергії при роботі котла потужністю 500 кВт

Етап сировинного, технологічного та циклу перетворення	ГДж/рік
Заготівля соломи ($E_{ЗАГ}$)	31,0
Завантаження/розвантаження ($E_{ВАН}$)	43,4
Транспортування біомаси та золи на відстань 50 км ($E_{ТР}$)	150,2
Складування та зберігання палива ($E_{СК}$)	10,7
Подрібнення соломи ($E_{ПОД}$)	74,2
Виробництво теплової енергії ($E_{ВИР}$)	116,3
Виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котла ($E_{КОТ}$)	55,54
CED_{NR} ($E_{ЗАГ}$+$E_{ВАН}$+$E_{ТР}$+$E_{СК}$+$E_{ВИР}$+ $E_{ПОД}$ +$E_{КОТ}$)	481,24
Споживання палива котельною установкою ($F_{Н}$)	6408
CED (CED_{NR}+$F_{Н}$)	6889
Виробництво теплової енергії (CEP)	5114
EYC_{NR} = CEP/CED_{NR}	**10,63**
EYC = CEP/CED	**0,74**

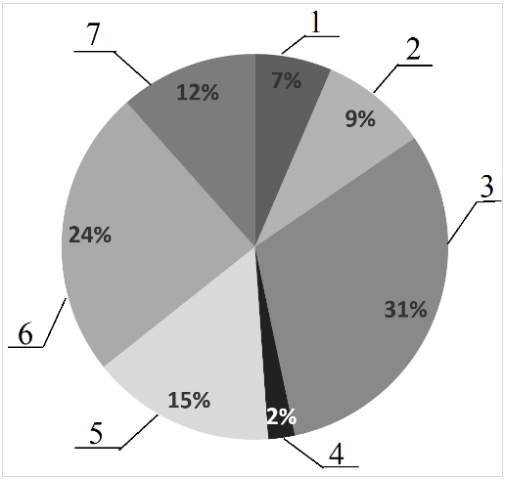

Рис. 4.8. Розподілення витрат первинної енергії викопного палива (CED_{NR}) за стадіями життєвого циклу виробництва теплової енергії з тюкованої соломи: 1 – заготівля сировини; 2 – завантаження/розвантаження; 3 – транспортування біомаси та золи; 4 – складування та зберігання палива; 5 – подрібнення соломи; 6 – виробництво теплової енергії; 7 – виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котельної установки.

4.2.2. Залежність енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з тюкованої соломи від потужності енергетичної установки та відстані транспортування біопалива

Використовуючи розроблену розрахунково-методичну модель (4.1), було проведено аналіз енергетичної ефективності виробництва теплової енергії для різної потужності котельної установки, що використовує тюковану солому в якості палива, та різної відстані транспортування біомаси. Результати розрахунку наведено в таблиці 4.11 та на рисунку 4.9. Також, для порівняння енергетичної ефективності на графік нанесено значення коефіцієнту перетворення невідновлюваної енергії для використання тріски з лісосічних відходів у котлі потужністю 10 МВт.

Таблиця 4.11

Залежність коефіцієнту перетворення енергії від відстані транспортування тюків соломи та потужності енергетичної установки

$EYC_{NR} = CEP/CED_{NR}$	Відстань транспортування, км							
	0	50	100	150	200	250	300	500
Котел 100 кВт (малі тюки)	10,80	8,49	6,99	5,94	5,17	4,57	4,10	2,90
Котел 500 кВт	13,88	10,63	8,61	7,23	6,24	5,48	4,89	3,42
Котел 2 МВт	14,61	11,10	8,95	7,50	6,45	5,66	5,04	3,51
Котел 10 МВт	14,69	11,15	8,99	7,53	6,48	5,68	5,06	3,52

Збільшення потужності енергоустановки не має великого впливу на показники ефективності: масштабування енергетичної установки з 500 кВт до 10 МВт призводить до збільшення коефіцієнту перетворення енергії лише на 5%. Проте, використання малих тюків соломи призводить до зниження енергетичної ефективності виробництва теплової енергії за рахунок меншої завантаженості транспортного засобу при перевезенні тюків та більших питомих витрат на їх тюкування та вантаження/розвантаження. Зі збільшенням

відстані транспортування тюків соломи енергетична ефективність виробництва теплової енергії знижується та досягає значень, що не відповідають сталому розвитку біоенергетики по показниками обраними в якості критеріїв.

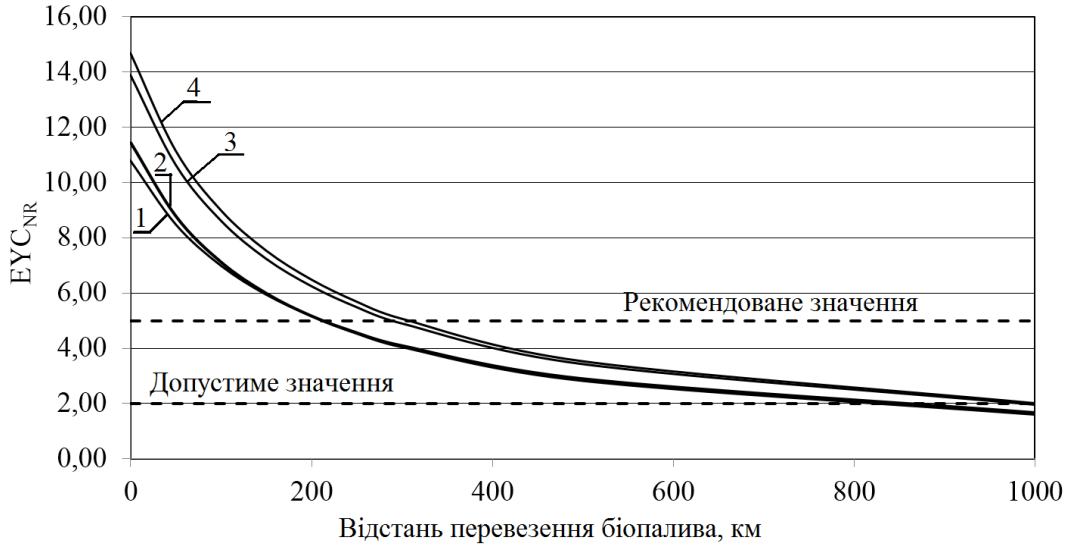

Рис. 4.9. Залежність коефіцієнту перетворення енергії від відстані транспортування тюків соломи та потужності енергетичної установки: 1 – котел потужністю 100 кВт (малі тюки); 2 – котел на деревній трісці потужністю 10 МВт; 3 – котел на великих тюках соломи потужністю 500 кВт, 4 – на великих тюках потужністю 10 МВт.

4.2.3. Вплив параметрів життєвого циклу на енергетичну ефективність виробництва теплової енергії з тюкованої соломи

Як було зазначено у пункті 4.2.1, найбільше споживання первинної енергії під час сировинного циклу використання тюкованої соломи відбувається на етапах транспортування тюків, подрібнення їх перед подачею у котел та під час виробництва теплової енергії. Проведемо аналіз чутливості енергетичної ефективності виробництва теплової енергії з використанням розрахункової моделі (4.1) та формули (3.20), варіюючи витрату дизельного пального, що споживається подрібнювачем та автомобільним транспортом, та електроенергії на власні потреби енергетичної установки. Результати такого аналізу представлені на рис. 4.10.

Збільшення витрати палива на основні операції сировинного циклу вдвічі призводить до зниження енергетичної ефективності виробництва теплової енергії на 25%. Подвійне збільшення витрат електроенергії на власні потреби енергетичної установки призводить до 20% зменшення енергетичної ефективності. Зменшення витрат пального призводить до збільшення коефіцієнту перетворення енергії максимум на 50% (у разі відсутності транспортування). Найбільший вплив на ріст енергетичної ефективності має витрата палива під час операцій з транспортування тюкованої соломи, тому саме на даному етапі має приділятись найбільша увага до вибору техніки та розробки оптимальних маршрутів перевезення біомаси (враховуючи стан дороги, наявність проміжних польових доріг та ін).

Важливим параметром життєвого циклу виробництва теплової енергії також являється ефективність перетворення енергії в котельній установці, що виражається в показнику ККД. Залежність коефіцієнту перетворення енергії від ККД котла на тюкованій соломі та відстані транспортування біомаси приведено на рисунку 4.11.

Використання тюкованої соломи в енергетичному обладнанні, що характеризується низьким ККД, призводить до збільшення споживання

первинної енергії загалом (нижче значення коефіцієнту перетворення енергії) та до скорочення в півтора рази відстані, на яку доцільно транспортувати біомасу з врахуванням рекомендованих значень коефіцієнту перетворення енергії, що відповідають сталому розвитку.

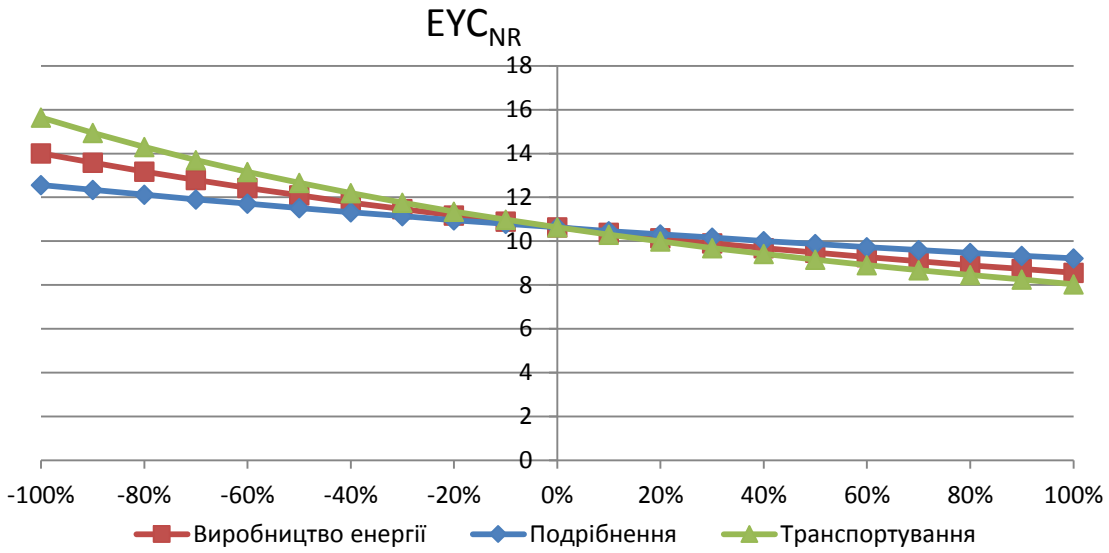

Рис. 4.10. Вплив зміни параметрів життєвого циклу на коефіцієнт перетворення невідновлюваної енергії (тюкована солома)

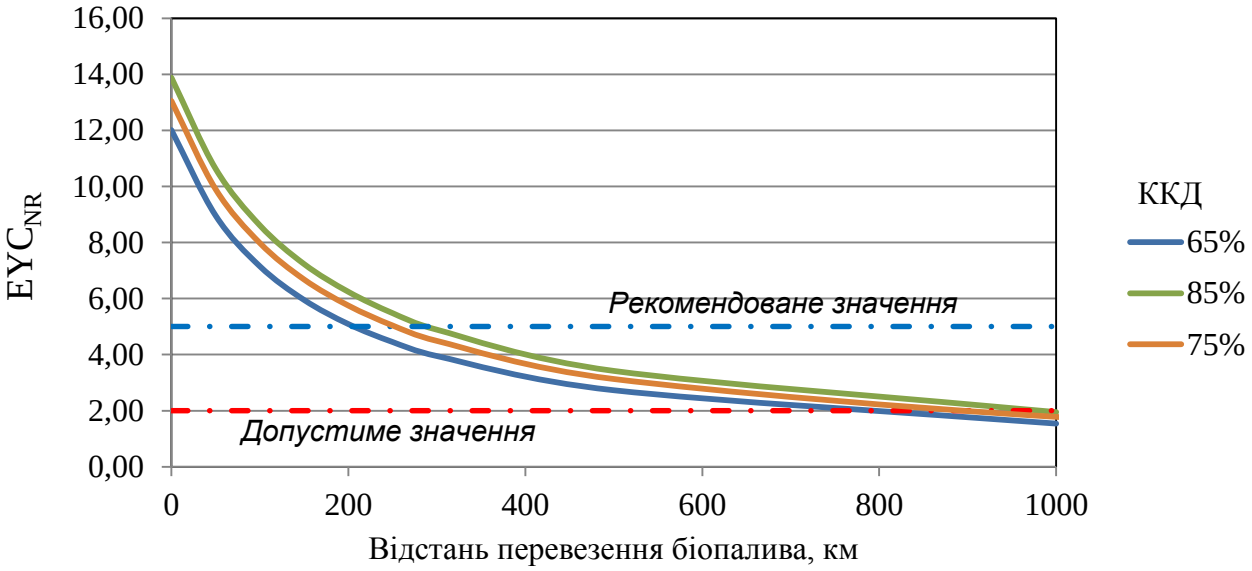

Рис. 4.11. Залежність коефіцієнту перетворення енергії від ККД енергетичної установки (тюкована солома)

4.2.4 Вплив форми ущільнення соломи на енергетичну ефективність життєвого циклу її використання

Розрахунок енергетичної ефективності виробництва та використання соломи у вигляді гранул буде проведено на прикладі котла потужністю 500 кВт (табл. 4.12), з використанням розрахунково-методичної моделі (4.1) та формули (3.23), яка характеризує витрати первинної невідновлюваної енергії упродовж життєвого циклу використання гранул.

Таблиця 4.12

Технічні характеристики котла на гранулах з соломи

Показники	Значення
Встановлена потужність	500 кВт
Період роботи	4272 год/рік
Номінальне завантаження	70%
ККД котла	85%
Витрата палива (гранули $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 15{,}4$ МДж/кг)	411,2 т/рік
Виробництво теплової енергії	5383 ГДж/рік
Втрати теплової енергії	5%
Теплова енергія, відпущена споживачу (енергія «на виході»)	5114 ГДж/рік

В таблиці 4.13 наведені значення всіх складових витрат первинної енергії протягом життєвого циклу використання соломи у вигляді гранул та показники енергетичної ефективності виробництва теплової енергії. Як видно з отриманих значень, проект по впровадженню котельної установки на гранулах з соломи характеризується високими значеннями коефіцієнту перетворення енергії та відповідає рекомендованим значенням критеріїв сталого розвитку в розглянутому радіусі транспортування гранул до установки – 150 км. Приведені питомі сукупні витрати невідновлюваної енергії і коефіцієнт виходу енергії відповідають рекомндованим діапазонам: ced_{NR}<0,2, EYC_{NR}>5.

Таблиця 4.13

Витрати первинної енергії протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з солом'яних гранул

Етап життєвого циклу	Витрати первинної енергії, ГДж/рік				
1. Споживання палива (гранули з соломи)	6333 (411,2 т гранул/рік)				
2. Тюкування соломи	27,7				
3. Збір тюків та завантаження на транспортний засіб	21,6				
4. Транспортування тюків	20,1				
5. Розвантаження тюків	14,7				
6. Гранулювання соломи	555,1				
7. Зберігання тюків та гранул	9,5				
8. Виробництво теплової енергії (електроенергія на власні потреби енергетичної установки, включаючи подачу гранул в котел)	116,3				
9. Виготовлення котельної установки	17,7				
10. Утилізація котельної установки	2,2				
11. Затрати праці (обслуговування котла+гранулювання), ГДж/рік	5,9				
12. Ремонтування котельної установки	0,62				
13. Транспортуванні гранул до місця використання та золи до місця утилізації	0 км	10 км	50 км	100 км	150 км
	0,0	18,85	94,23	188,46	282,7
CED, ГДж/рік	7126	7145	7220	7315	7409
ced	1,39	1,4	1,41	1,43	1,45
EYC=1/ced	0,72	0,72	0,71	0,70	0,69
CED_{NR}, ГДж/рік	794	812	888	982	1076
ced_{NR}:	0,16	0,16	0,17	0,19	0,21
$EYC_{NR}=1/ced_{NR}$	6,44	6,29	5,76	5,21	4,75

Варто зазначити, що у порівнянні з випадком спалювання тюків соломи (див. табл. 4.9) енергетичні показники є набагато нижчими. Зниження показників пояснюється великими витратами первинної енергії на гранулювання біомаси – 63% всіх витрат первинної енергії (рис. 4.12).

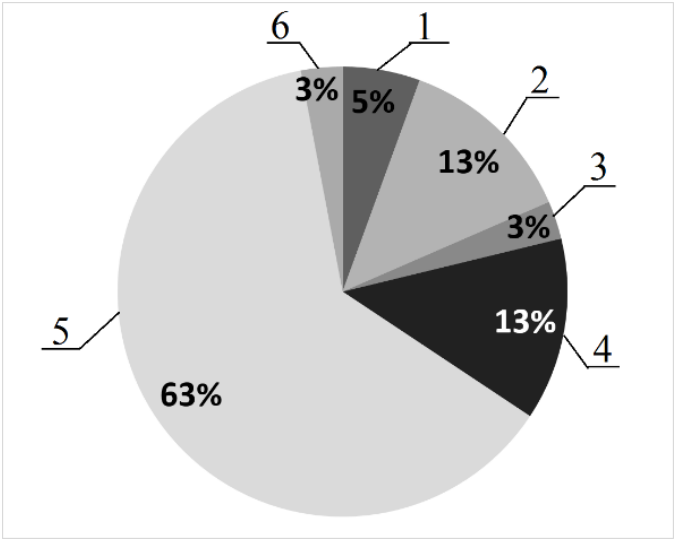

Рис. 4.12. Розподілення витрат первинної енергії за стадіями життєвого циклу використання гранул з соломи для виробництва теплової енергії:
1 – заготівля сировини; 2 – транспортування соломи та гранул; 3 – зберігання/операції з навантаження; 4 – виробництво теплової енергії; 5 – гранулювання; 6 – виготовлення, демонтаж, обслуговування, ремонтування котельної установки.

Як видно з графіка, представленої на рис. 4.13, гранули з соломи завжди мають гірші значення питомих приведених сукупних витрат первинної енергії у межах їх допустимих значень в порівнянні з тюками. Тому з врахуванням запропонованих критеріїв сталого розвитку необхідно шукати шляхи зменшення споживання первинної енергії під час виконання найбільш енергоємних операцій з гранулювання та виробництва теплової енергії. Зниження витрат первинної енергії під час гранулювання на 60% (сукупні витрати первинної енергії характеризуються пунктирною лінією на графіку 4.13) переносить точку перетину ліній енергетичної ефективності гранул та

тюків в зону допустимих значень ($0,2<ced_{nr}<0,5$). Проте, використання тюків соломи завжди є ефективнішими з врахуванням рекомендованих значень показників ефективності, що відповідають критеріям сталого розвитку.

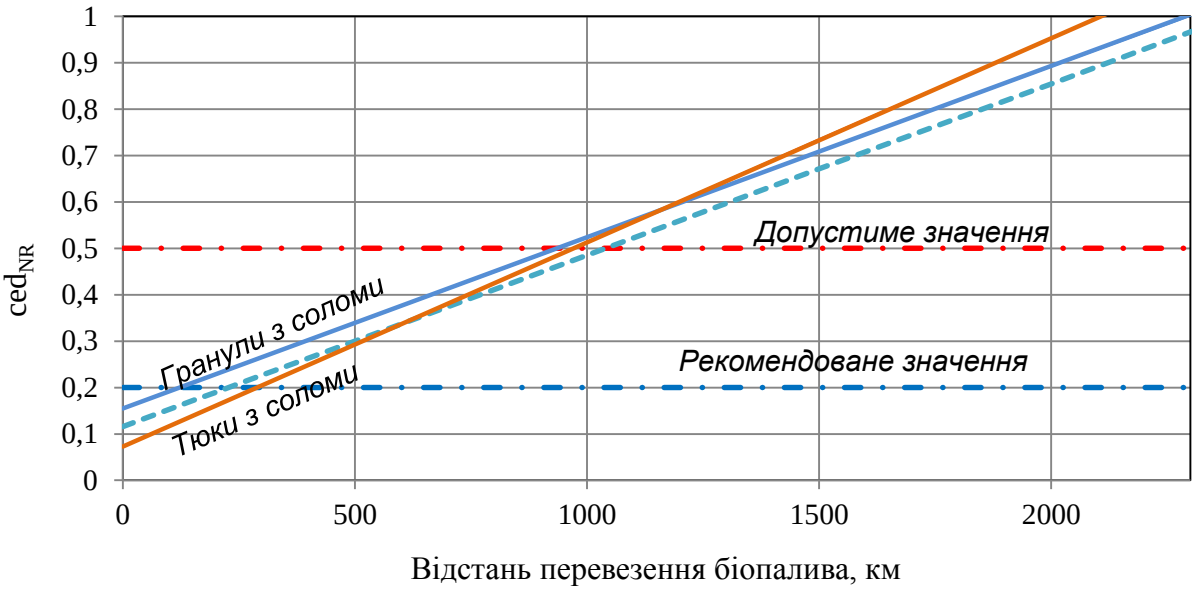

Рис. 4.13. Залежність ced_{nr} від відстані транспортування палива у вигляді тюків соломи та гранул (з врахуванням можливого зменшення витрат первинної енергії під час гранулювання соломи)

Порівняння приведених питомих сукупних витрат невідновлюваної енергії ced_{NR} та приведених питомих сукупних витрат енергії (ced) при виробництві теплової енергії з різних видів біопалива, які розглядаються у роботі, та викопних палив зображено на рис. 4.14 (відстань транспортування біопалива 100 км). Видно, що використання деревної тріски та тюкованої соломи забезпечує зниження споживання первинної енергії викопного палива у 10 та більше разів. Використання гранул зменшує споживання первинної енергії викопного палива у понад 5 разів.

Порівнюючи енергетичну ефективність виробництва теплової енергії за технологією прямого спалювання для різних видів біомаси видно, що всі види біомаси знаходяться у діапазоні сталого енергетичного використання згідно допустимих та рекомендованих значень. При виробництві та використанні

гранул з деревини споживається менше первинної енергії викопного палива в порівнянні з гранулами із соломи, проте за рахунок виконання операцій з сушки споживається більше первинної енергії загалом – що відображено у значенні питомих сукупних витрат енергії.

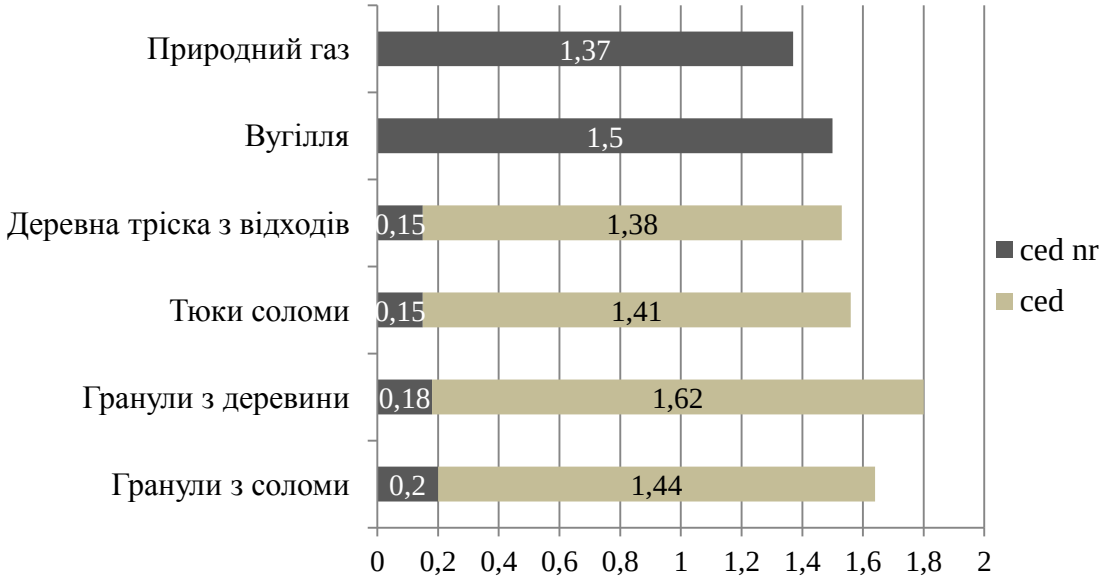

Рис. 4.14. Приведені сукупні питомі витрати первинної невідновлюваної енергії ced_{NR}

4.3. Оцінка ефективності використання деревної тріски та соломи для виробництва теплової енергії за показником скорочення питомих викидів ПГ у якості критерію

Розрахунково-методичну модель визначення скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з врахуванням методології описаної в розділі 3.2, критеріїв сталого розвитку та життєвого циклу використання біопалива можна зобразити сукупністю наступних співвідношень:

$$\begin{cases} \varepsilon = К_{в.д.} \cdot \Sigma E_{диз.} + К_{в.ел.} \cdot \Sigma E_{ел.}; \\ EC_h = \frac{\varepsilon \cdot B}{Q_1}; \\ \Delta\varepsilon = \frac{EC_{Fh} - EC_h}{EC_{Fh}}; \\ \Delta\varepsilon > 35\%. \end{cases} \quad (4.5)$$

де ε – загальні викиди ПГ від виробництва палива до його енергетичного перетворення, г$CO_{2\text{-екв.}}$/$т_{біом}$; Q_1 – річне виробництво теплової енергії котельною установкою, МДж/рік; EC_h – загальні викиди парникових газів при виробництві теплової енергії як кінцевого продукту, г$CO_{2ек}$/$МДж_{вир.}$; EC_{Fh} – загальні викиди ПГ при використанні викопних палив для виробництва теплової енергії, г$CO_{2ек}$/$МДж_{вир}$; Δε – скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії із біомаси, %.

4.3.1. Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з лісосічних відходів

З використанням розробленої розрахунково-методичної моделі (4.5) та формули для розрахунку загальних викиди ПГ від виробництва тріски до її енергетичного перетворення (3.45) виконано розрахунок скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з лісосічних відходів у вигляді тріски в котлі потужністю 500 кВт (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Баланс викидів парникових газів при спалюванні деревної тріски в котлі потужністю 500 кВт

Стадія життєвого циклу	Викиди ПГ, т $CO_{2\text{-екв}}$/рік			
Збір залишків деревини на лісосіках	7,66			
Перевезення залишків до місця подрібнення	3,73			
Подрібнення	4,11			
Розвантаження на складі	2,24			
Завантаження у котельну установку	13,21			
Транспортування деревної тріски до споживача та золи до місця утилізації	0 км	50 км	100 км	150 км
	0	9,8	19,5	29,3
Викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання лісосічних відходів, EC_h, $\frac{гCO_{2-екв}}{МДж}$	6,77	8,89	11,03	13,16
Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії із лісосічних відходів у вигляді тріски,%	91,54	88,88	86,21	83,55

Аналіз отриманих результатів показує, що скорочення викидів парникових газів при використанні лісосічних відходів у вигляді тріски є досить високим – 83,5-91,5% в залежності від відстані транспортування біомаси (в розглянутому прикладі – 0-150 км). Директива Європарламенту 2009/28/ЕС щодо сприяння використання ВДЕ вимагає, щоб зниження викидів парникових газів при використанні біопалив становило не менше 35%. Таким чином, по даному параметру проект по виробництву теплової енергії із застосуванням деревної тріски в котлі 500 кВт задовольняє встановленим критеріям сталого розвитку.

Проведемо аналогічні розрахунки викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з лісосічних відходів у вигляді гранул (табл. 4.15). Життєвий цикл лісосічних відходів в даному випадку включатиме додатковий етап гранулювання, а залежність, що характеризує питомі викиди парникових газів розраховуватиметься за формулою (3.46).

Скорочення викидів парникових газів при використанні лісосічних відходів у вигляді гранул є дещо нижчим в порівнянні з використанням деревної тріски, що пояснюється додатковими викидами на етапі гранулювання. Проте, їх значення цілком задовольняє вимогам сталості, що розглядаються в даній роботі.

На рисунку 4.15 наведено порівняння питомих викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з лісосічних відходів у вигляді тріски та гранул. Видно, що на етапі перевезення гранульованої біомаси відбувається значне (в два рази) зменшення викидів парникових газів у порівнянні з перевезенням тріски. Проте додатковий етап гранулювання, під час якого споживається електрична енергія, призводить до збільшення питомих викидів парникових газів протягом життєвого циклу використання лісосічних відходів для виробництва енергії.

Таблиця 4.15

Баланс викидів парникових газів при спалюванні деревних гранул в котлі потужністю 500 кВт

Стадія життєвого циклу	Викиди ПГ, т $CO_{2\text{-екв}}$/рік			
Збір залишків деревини на лісосіках	3,53			
Перевезення залишків до місця подрібнення	3,49			
Подрібнення	3,85			
Розвантаження на складі	1,76			
Гранулювання	41,44			
Завантаження у котельну установку	13,21			
Транспортування гранул до споживача та золи до місця утилізації	0 км	50 км	100 км	150 км
	0,00	5,0	10,0	15,0
Викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання лісосічних відходів, EC_h, $\frac{гCO_{2-екв}}{МДж}$	14,37	15,43	16,49	17,56
Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії із лісосічних відходів у вигляді гранул,%	82,04	80,71	79,38	78,04

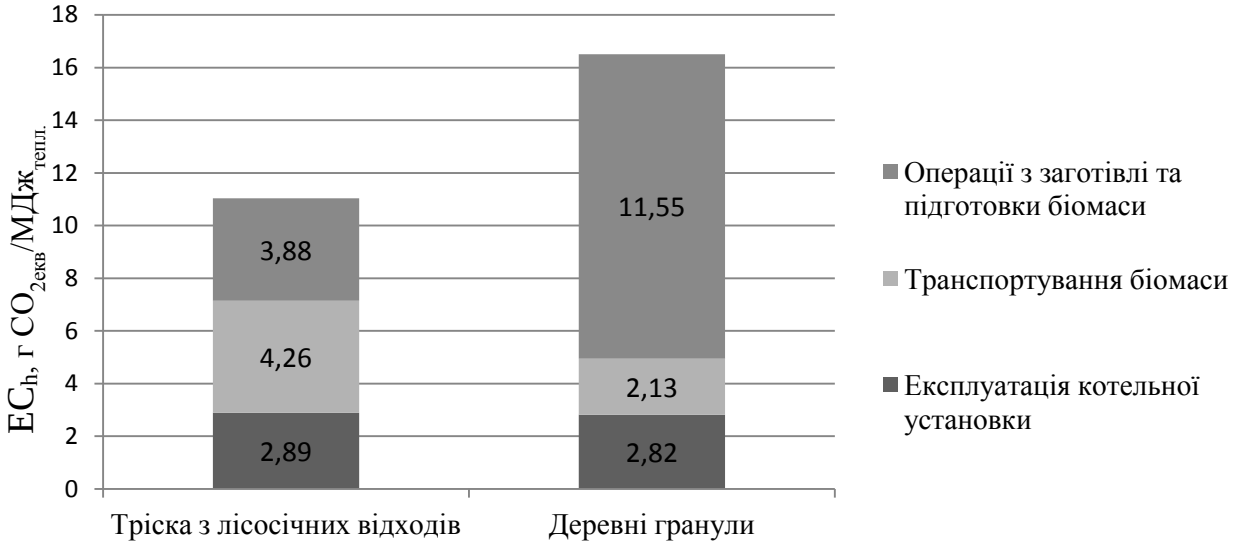

Рис. 4.15. Питомі викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання лісосічних відходів для виробництва теплової енергії

4.3.2. Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з соломи

Розрахунок викидів парникових газів та їх скорочення при виробництві теплової енергії із тюкованої соломи виконується з використанням моделі (4.5) та формули для розрахунку загальних викиди ПГ від виробництва тріски до її енергетичного перетворення (3.48). Результати розрахунку при виробництві теплової енергії з тюкованої соломи в котлі потужністю 500 кВт наведені в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16

Баланс викидів парникових газів при спалюванні тюкованої соломи в котлі потужністю 500 кВт

Стадія життєвого циклу	Викиди ПГ, т $CO_{2\text{-екв}}$/рік			
Тюкування соломи	1,72			
Збір та завантаження на транспортний засіб	1,35			
Вантаження/розвантаження	1,24			
Перевезення соломи до споживача	2,21			
Подрібнення	8,42			
Завантаження у котельну установку	13,21			
Транспортування тюків соломи на оперативний склад та золи до місця утилізації	0 км	50 км	100 км	150 км
	0,00	7,77	15,55	23,32
Викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання тюків соломи, EC_h, $\frac{гCO_{2-екв}}{МДж}$	6,22	7,94	9,66	11,38
Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з тюкованої соломи,%	92,22	90,07	87,92	85,78

Аналіз отриманих результатів показує, що скорочення викидів парникових газів при використанні тюкованої соломи є досить високим – 85,8-92,2% в залежності від відстані транспортування біомаси (в розглянутому прикладі – 0-150 км). Таким чином, по даному параметру проект по виробництву теплової енергії із застосуванням тюкованої соломи в котлі 500 кВт задовольняє встановленим критеріям сталого розвитку.

Проведемо аналогічні розрахунки викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з соломи у вигляді гранул (таблиця 4.17). Життєвий цикл виробництва теплової енергії в даному випадку включатиме додатковий етап гранулювання, а залежність, що характеризує питомі викиди парникових газів матиме вигляд (3.49).

Скорочення викидів парникових газів при використанні соломи у вигляді гранул є дещо нижчим в порівнянні з використанням тюкованої соломи, що пояснюється додатковими викидами на етапі гранулювання. Проте, їх значення цілком задовольняє вимогам сталості, що розглядаються в даній роботі.

На рисунку 4.16 наведено порівняння питомих викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з соломи у вигляді великих тюків та гранул. Видно, що на етапі перевезення гранульованої біомаси відбуваються дещо нижчі викиди парникових газів у порівнянні з перевезенням тюків. Проте додатковий етап гранулювання, під час якого споживається електрична енергія, призводить до значного підвищення питомих викидів парникових газів протягом життєвого циклу використання соломи для виробництва енергії.

Таблиця 4.17

Баланс викидів парникових газів при спалюванні гранул з соломи в котлі потужністю 500 кВт

Стадія життєвого циклу	Викиди ПГ, т $CO_{2\text{-екв}}$/рік			
Тюкування соломи	1,63			
Збір тюків та завантаження на транспортний засіб	1,28			
Вантаження/розвантаження тюків	0,87			
Перевезення тюків до місця гранулювання	1,12			
Гранулювання	63,07			
Завантаження у котельну установку	13,21			
Транспортування гранул до споживача та золи до місця утилізації	0 км	50 км	100 км	150 км
	0,00	6,45	12,91	19,36
Викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання гранул з соломи, EC_h, $\frac{гCO_{2-екв}}{МДж}$	17,75	19,16	20,57	21,98
Скорочення викидів парникових газів при виробництві теплової енергії з соломи у вигляді гранул,%	77,82	76,05	74,29	72,53

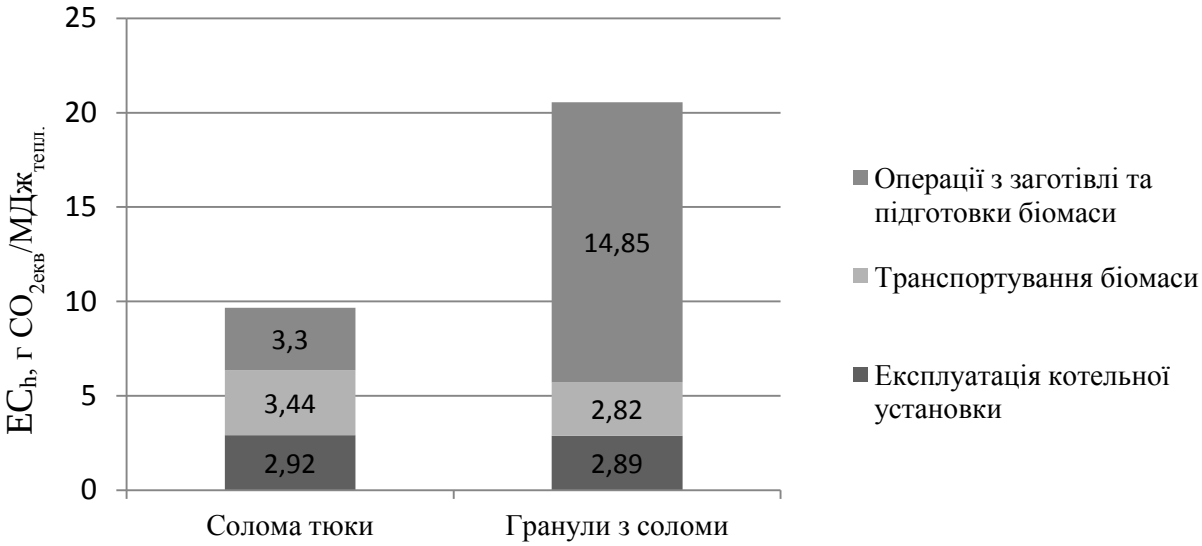

Рис. 4.16. Питомі викиди парникових газів протягом життєвого циклу використання соломи для виробництва теплової енергії

Висновки до Розділу 4

Таким чином у розділі 4 виконано порівняння енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів при використанні різних видів біопалива для виробництва теплової енергії. В якості показників енергетичної ефективності використано сукупні приведені витрати енергії та коефіцієнт перетворення енергії. Запропоновано розрахункову модель та залежності, які описують економію споживання первинної енергії викопного палива та потенціал скорочення викидів парникових газів при роботі установки на біомасі. Отримано такі основні результати:

1. Коефіцієнт перетворення енергії (невідновлюваної), що відповідає життєвому циклу використання деревної тріски в якості палива для виробництва теплової енергії, знаходиться в діапазоні 5,8-11,2, а при виробництві та використанні гранул із лісосічних відходів EYC_{NR} зменшується до 5,6-6,7. Зменшення потужності установки з 10 МВт до 100 кВт на деревній тріски знижує енергетичну ефективність на 12%, на деревних гранулах - на 3 %, а зі збільшенням відстані транспортування вплив даної величини зменшується.

2. Коефіцієнт перетворення енергії (невідновлюваної) для установок, що використовують тюковану солому в якості палива для виробництва теплової енергії, знаходиться в діапазоні 7,2-13,9. Зменшення потужності енергоустановки не має великого впливу на показники її ефективності, крім випадку використання малих тюків соломи в установках малої потужності.

3. Використання деревної тріски та тюкованої соломи при відстані транспортування сировини до 100 км забезпечує зниження споживання первинної енергії викопного палива у 10 та більше разів. Використання гранул зменшує споживання первинної енергії викопного палива у понад 5 разів.

4. Питомі викиди парникових газів при спалюванні біомаси для виробництва теплової енергії знаходяться в діапазоні 10-20 г $CO_{2\text{-екв.}}$/МДж, що у 6-17 раз менше в порівнянні з використанням викопних видів палива. Скорочення викидів парникових газів при використанні деревини та соломи в

якості палива становить 72-92 %, при транспортуванні біомаси на відстані, рекомендовані для забезпечення сталого розвитку.

5. Гранулювання лісосічних відходів доцільне у межах допустимих значень показників енергетичної ефективності та у випадку необхідності їх транспортування на відстань більше 200 км у порівнянні з тріскою. Використання гранульованої соломи при її перевезенні автомобільним транспортом завжди має нижчі показники енергетичної ефективності та скорочення викидів ПГ у порівнянні з тюками.

РОЗДІЛ 5
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТІВ З ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА. АНАЛІЗ СОЦІАЛЬНОГО ВПЛИВУ.

5.1. Методика розрахунку показників економічної ефективності

Методика розрахунку показників економічної ефективності впровадження біоенергетичних технологій (проектів), що приводиться в даній роботі, базується на методичних рекомендаціях по оцінці ефективності інвестиційних проектів та їх відбору для фінансування [59]. Також враховано більш пізні розробки по удосконаленню, адоптації та уточненню показників, діючих в Україні [60]. Вказані методичні розробки передбачають розрахунок наступних показників економічної ефективності:

1. NPV (Net present value) - чиста приведена вартість проекту. Характеризує загальний фінансовий підсумок проекту, іншими словами, це різниця між віддачою капіталу та вкладеними коштами протягом всього періоду реалізації проекту.

2. IRR (Internal return rate) – внутрішня норма прибутковості (перевірочний дисконт).

3. PB (Payback period), DPB (Discounted payback period) – простий та дисконтований строк окупності.

При виконанні техніко-економічного аналізу за даною методикою оперують такими основними економічними термінами та визначення.

Грошовий потік (Cash flow) – визначає фінансовий підсумок діяльності підприємства за певний період часу, визначається як різниця між сумою фінансових надходжень та сумою фінансових витрат за вибраний термін (1 місяць, 1 рік, декілька років). В нашому випадку грошовий потік розраховується на кінець кожного року експлуатації.

Дисконтування. Ставка дисконтування. Коефіцієнт дисконтування. При оцінці того чи іншого проекту, інвестори повинні підсумовувати та

порівнювати майбутні витрати, надходження капіталу, фінансові підсумки різних років. При підсумовуванні та зіставленні вказаних потоків капіталу, ці потоки прийнято приводити до порівнянного вигляду (*дисконтувати*) на дату початку реалізації проекту (тобто на теперішній час, на сьогоднішню дату).

Для дисконтування грошової суми, що відноситься до якого-небудь року в майбутньому, використовують наступну залежність:

$$(PV)_t = \frac{1}{(1+r)^t} \cdot C_t, \tag{5.1}$$

де $(PV)_t$ - сьогоднішня цінність грошової суми, що відноситься до року t в майбутньому;

C_t - грошова сума, що відноситься до року t, який нас цікавить;

t – порядковий номер року в майбутньому, починаючи з дати початку реалізації проекту;

r – *ставка дисконтування* (в частках одиниці).

Таким чином, щоб привести основні фінансові показники до єдиного порівнянного масштабу цін, необхідно помножити відповідні фінансові показники року t на коефіцієнт дисконтування, що визначається за формулою:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+r)^t} \tag{5.2}$$

Для фінансових інвестицій за *ставку дисконтування* приймають ставку доходу від альтернативних вкладень в самі надійні цінні папери, або процент за банківський депозит. Ставка дисконтування по ризикованим проектам повинна бути вище, ніж по абсолютно надійним.

Нижче розглянуто порядок розрахунку показників економічної ефективності: NPV, IRR, PB, DPB.

NPV – це сума дисконтованих підсумків за всі роки проекту, враховуючи від дати початку інвестицій. Розраховується за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(CF)_t}{(1+r)^t}, \tag{5.3}$$

де $(CF)_t$ - фінансовий підсумок в році t з урахуванням початкових інвестицій (якщо вони приходяться на цей рік) – тобто це грошовий потік Cash flow.

Якщо в формулі (5.3) виділити початкові інвестиції (інвестиції, що фінансуються з уставного фонду та позикових коштів), то вона приймає вид:

$$NPV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(\bar{C}\bar{F})_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(C_0)_t}{(1+r)^t}, \qquad (5.4)$$

де $(C_0)_t$ - початкові інвестиції в році t, рахуючи від дати початку інвестицій;

$\sum_{t=1}^{t=n} \frac{(C_0)_t}{(1+r)^t}$ - вкладений капітал (початкові інвестиції в проект);

$(\bar{C}\bar{F})_t$ - фінансовий підсумок в році t, що підрахований без початкових інвестицій (якщо вони приходяться на цей рік);

$\sum_{t=1}^{t=n} \frac{(\bar{C}\bar{F})_t}{(1+r)^t}$ - віддача на вкладений капітал (на початкові інвестиції).

Для разових інвестицій формула (5.4) приймає простіший вигляд:

$$NPV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(\bar{C}\bar{F})_t}{(1+r)^t} - C_o, \qquad (5.5)$$

де C_0 – разові інвестиції в фінансові активи (вкладений капітал);

$\sum_{t=1}^{t=n} \frac{(\bar{C}\bar{F})_t}{(1+r)^t}$ – сума фінансових підсумків по роках, рахуючи з дати покупки фінансових активів (віддача на капітал).

NPV характеризує загальний економічний ефект від інвестиційного проекту, але без прив’язки до тривалості отримання цього ефекту.

Правило NPV: *приймаються інвестиційні проекти, що мають значення NPV зі знаком „плюс”*. Це правило означає, що в прийнятному проекті віддача на капітал повинна перевищувати вкладений капітал (див. формули (5.4) та (5.5)).

Показник IRR являє собою перевірочний дисконт, при котрому віддача від інвестиційного проекту дорівнює початковим інвестиціям в проект.

Правило NPV також можна сформулювати, використовуючи дисконт. Для цього в формулах (5.4) чи (5.5) простим підбором знаходять таке значення дисконту r, при якому віддача на капітал дорівнює вкладеному капіталу, а NPV=0. Цю однозначну величину r прийнято називати “Internal return rate” (IRR). При цьому правило NPV замінюється на **правило IRR**: *приймаються ті інвестиційні проекти, в яких значення дисконту r (що дорівнює обґрунтованому рівню r щорічних нарахувань на вкладений капітал, якщо припустити його альтернативне використання) не досягає значення IRR.*

Дисконтований строк окупності (DPB) – це період, за який віддача на капітал досягає значення суми початкових інвестицій.

Під віддачою на капітал у випадку реальних інвестицій (тобто інвестицій в матеріальні (речові) активи) розуміється сума дисконтованих фінансових підсумків по роках, підрахованих без початкових інвестицій:

$$\sum_{t=1}^{t=n} \frac{(\bar{C}\bar{F})_t}{(1+r)^t} \tag{5.6}$$

Дисконтований строк окупності знаходиться за залежністю:

$$DPB = \frac{-\ln\left(1+\frac{C_0}{CF}\cdot r\right)}{\ln(1+r)}, \tag{5.7}$$

де C_0 – початкові інвестиції;

CF – грошовий потік (фінансовий підсумок) за рік;

Якщо не враховувати дисконтування фінансових підсумків, то отримаємо показник „простий” строк окупності.

Простий строк окупності (PB) – період, за який віддача на капітал без врахування дисконтування (тобто при r=0) досягає значення суми початкових інвестицій.

Простий строк окупності знаходиться за виразом:

$$PB = \frac{C_0}{(CF)} \tag{5.8}$$

Для ознайомлення з особливостями процесу дисконтування можна розглянути простий приклад. Інвестор вклав свої кошти в розмірі C_0 в банк з метою отримання доходу в розмірі r річних від суми C_0. Повернення вкладу та процентів гарантується через t років. За цих умов через t років інвестор буде мати суму:

$$C_t = C_o \cdot (1+r)^t,$$

але за t років відбувається змінення цінності грошових одиниць практично будь-яких валют, тому справжня цінність майбутньої суми буде складати:

$$\bar{C}_t = C_o \cdot \frac{(1+r)^t}{(1+i)^t},$$

де i – середньорічна зміна цін, тобто ставка інфляції

Суму нарахованих процентів можна виразити як:

$$C_r = C_t - C_o,$$

а інфляційна сума:

$$C_i = C_t - \bar{C}_t = C_t - C_o \frac{(1+r)^t}{(1+i)^t}.$$

Із зіставлення виразів для нарахованих процентів та інфляційної суми (двох останніх виразів) випливає наступне: при r = i сума нарахованих процентів покриває лише втрати від інфляції. Величина справжньої винагороди інвестору за вкладений капітал в такому випадку дорівнює нулю. І лише в тому випадку, коли процентна ставка на капітал перевищує рівень інфляції, інвестор дійсно отримує певну винагороду. Таким чином, суму нарахованих процентів можна розглядати такою, що складається з двох частин: 1) – компенсація втрат від інфляції, 2) – справжня винагорода інвестора за вкладений капітал. Таким чином i – ставка інфляції, r – ставка дисконтування.

5.2. Основні положення методики техніко-економічного обґрунтування

Програма техніко-економічного обґрунтування доцільності впровадження біоенергетичної технології (проекту) має описану нижче структуру.

1. Основні дані про замовника та виконавця.

В даному розділі стисло представлено опис самого проекту і основні дані про замовника (власника) проекту та організації, що проводить ТЕО: адреси, контактні телефони та ін.

2. Технічні дані проекту.

2.1 Технологія

Насамперед, важливою інформацією є електрична потужність та теплова потужність біоенергетичного обладнання. Найчастіше це вже відомі величини, що визначаються в залежності від обладнання, яке власник підприємства планує встановити (в залежності від власних потреб в електричній чи тепловій потужності, наявних можливостей в використанні палива, можливостей продажу надлишкової електричної чи теплової енергії в загальну мережу). Також відомим в такому випадку є й коефіцієнт використання палива, якщо має місце комбіноване виробництво електричної і теплової енергії, чи коефіцієнт корисної дії енергогенеруючого обладнання (ККД котла, ККД двигуна та ін.). Важливим показником також є кількість годин роботи установки в рік, та середня за рік завантаженість установки (в долях одиниці). Знаючи ці величини, можна розрахувати значення величини енергії палива, що буде споживатись установкою за рік.

2.2. Вид палива

В залежності від виду палива (природний газ, біогаз, тверда біомаса та ін.), тобто в залежності від теплотворної здатності палива, знаючи загальну енергію палива, що необхідна для роботи установки на протязі року, можна розрахувати річну витрату палива (т/рік, нм^3/рік). Також, якщо вже точно

відомо, яке обладнання буде встановлено, можна просто ввести витрату палива з паспортних даних енергогенеруючого обладнання (кг/с, $м^3$/с).

2.3. Використання виробленої електричної та теплової енергії.

Вироблена установкою електрична чи теплова енергія може бути:

- Повністю спожита самим підприємством на місті виробництва. Після впровадження проекту підприємство заощаджує на придбанні електроенергії чи теплоти (по тарифам відпуску енергії для споживачів), при цьому не сплачуючи коштів за користування мережею, і відпадає необхідність вирішення проблем доступу до мережі.
- Частково використана на місці виробництва і частково передана в мережу для потреб інших підприємств цього власника. Цей випадок подібний до вищеописаного, за виключенням того, що при передачі енергії в мережу власник сплачує вартість користування мережею і повинен отримати доступ до користування мережею.
- Повністю продана до мережі. Цей варіант може бути найменш вигідним при низьких тарифах на покупку енергії у виробника. Також існує необхідність отримання доступу до мережі.

Також при розрахунках об’ємів спожитої чи проданої енергії слід враховувати втрати електричної чи теплової енергії в мережах та витрату енергії власне на роботу самої установки (наприклад, електроенергія на привід додаткових вентиляторів, транспортерів палива, на підсушку чи підігрів палива та ін.)

2.4. Заміна чи зменшення споживання традиційних видів палив (вугілля, природний газ) та зменшення емісій парникових газів.

Це саме ті пункти, що виділяють енергозберігаючі проекти серед інших енергетичних проектів. Та чи інша технологія дозволяє більш раціонально використовувати наявні енергетичні ресурси (тобто знизити витрати палива на виробництво тих самих об’ємів електроенергії чи тепла), або виробляти додатково електроенергію чи тепло при споживанні тих самих об’ємів палива. Також енергозберігаючі технології дають можливість за рахунок зниження

витрати традиційних видів палива чи за рахунок часткового чи повного заміщення їх на CO_2-нейтральні види палива та джерела енергії знижувати емісії парникових газів.

3. Економічні показники, ціни, тарифи.

3.1 Економічні показники

Економічні показники впливають, насамперед, на розрахунок фінансових потоків (експлуатаційні витрати, прибуток від реалізації виробленої продукції, податки, амортизаційні відрахування, тощо) і залежать від того, в якій країні впроваджується проект, від регіону, економічної та політичної ситуації, рівня інфляції, законодавчої бази, умов формування тарифів.

Основні економічні показники:

Ставка дисконтування використовується для приведення вартісних показників до єдиного масштабу цін на початок реалізації проекту. Використовується для аналізу ефективності проекту в порівнянні з вкладенням коштів в цінні папери чи в депозитні банківські рахунки. Найчастіше приймається рівній відсотку по банківським депозитам. В даному дослідженні приймається на рівні 20%.

Ставка амортизації. Норми і порядок амортизаційних відрахувань визначені у відповідності з діючим законодавством, директивними матеріалами і державним класифікатором України [60]. Так для енергетичного обладнання, що відноситься до 3 групи, амортизаційні відрахування нараховуються в розмірі 6 % від основних фондів на кінець кварталу кожного року.

Ставка податку на прибуток. Враховується при розрахунку чистого прибутку від діяльності підприємства. В даному дослідженні податок на прибуток становить 18%.

Дуже часто при реалізації проектів постає необхідність залучення кредитних коштів. Тому умови надання кредитів мають значний вплив на економічні показники проекту, що впроваджується. Можна виділити такі основні умови кредитування: доля позичених коштів (відсоток від загальних інвестиційних затрат, що береться власником в кредит), термін кредиту (строк,

на який береться кредит), умови повернення кредиту (рівними долями щороку, чи з отриманого річного прибутку, можливість виплати в початковий період лише процентів по кредиту), процентна ставка кредиту – процент, що сплачується щорічно від позичених коштів, плата за надання кредиту (процент від кредиту, що сплачується кредитору за можливість надання кредиту).

3.2. Ціни та тарифи

Ціни та тарифи формують такі показники, як щорічні експлуатаційні витрати та річний доход від реалізації продукції.

Основні ціни та тарифи:

Ціна на паливо, що використовується при розрахунках експлуатаційних затрат на виробництво теплової енергії, або при розрахунках економії при заміщенні палива чи зменшенні його споживання.

Тариф на електроенергію, що купується підприємством в загальній електромережі.

Тариф на теплову енергію, що відпускається підприємством до загальної теплової мережі.

Вартість природного газу, що заміщується при використанні біопалива.

3.3 Інвестиційні затрати

Інвестиційні затрати можна розділити на наступні види:

- Основне устаткування (котел, турбіна, двигун, генератор та ін.).
- Допоміжне обладнання (газоходи, трубопроводи, система автоматики, система подачі палива, транспортери та ін.).
- Витрати на транспортування та митні платежі в разі використання іноземного устаткування.
- Будівельно-монтажні роботи.
- Інженерні та проектні роботи.
- Пусконалагоджувальні роботи.
- Інші витрати.
- Непередбачені витрати.

Вартість основного та додаткового обладнання визначається наступним чином: якщо обладнання серійне – на основі діючих прейскурантів і каталогів, якщо обладнання несерійне і нестандартне – шляхом аналізу існуючих питомих витрат на одиницю потужності та з урахуванням конкретних конструктивних розробок і специфіки виготовлення. Витрати на транспортування та митні платежі залежать від виду устаткування і для кожного окремого випадку становлять різні величини. Витрати на будівельно-монтажні роботи найчастіше знаходяться як процент від основного та допоміжного обладнання і для кожних окремих проектів можуть становити різні величини (іноді до 30-40% від затрат на основне обладнання). Затрати на інженерні та проектні роботи як правило складають приблизно 50-100 тис. гривень. Непередбачені витрати приймаються як відсоток від суми всіх інших затрат (приблизно 3-5%).

3.4. Річні експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати складаються з наступних статей:

- Витрати на паливо для роботи установки часто складають основну частину експлуатаційних витрат (іноді понад 90%).
- Витрати на покупку додаткової електричної енергії.
- Витрати на покупку додаткової теплової енергії.
- Витрати на заробітну плату працівникам.
- Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт.
- Інші витрати.

Витрати на покупку додаткової електроенергії чи тепла виникають в разі необхідності використання додаткової електроенергії для роботи установки (наприклад, при експлуатації котла постає необхідність покупки додаткової електроенергії на привід вентиляторів, транспортерів сировини, системи автоматики; теплової енергії - на підсушку палива). Витрати на заробітну плату залежать від чисельності обслуговуючого персоналу, кількість якого визначається виходячи з діючих норм і специфіки обслуговування обладнання, що буде використовуватись.

Заробітна плата приймається згідно з встановленими нормами для різних галузей народного господарства. Нарахування на заробітну плату прийняті у відповідності до законодавства України (так, відрахування в фонд заробітної плати становлять 37% від її фактичної величини).

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт приймаються виходячи з фактичних даних, представлених виробником обладнання або ж приймаються в розмірі якогось відсотка, що задається (найчастіше 1-3%) від вартості основного обладнання.

Інші витрати, що включають послуги сторонніх організацій, банківські послуги, поштово-канцелярські витрати, тощо приймаються в розмірі якогось проценту від суми всіх експлуатаційних витрат.

3.5. Річний доход від експлуатації

Статтями річного доходу при експлуатації енергетичних установок можуть бути:

- Доход від економії на покупці електроенергії.
- Доход від економії на покупці теплової енергії.
- Доход від продажу надлишкової електричної енергії.
- Доход від продажу надлишкової теплової енергії.
- Доход від зменшення споживання (чи повної заміни) палива.

4. Розрахунок показників економічної ефективності впровадження проекту.

Інвестиційні затрати відносяться найчастіше до періоду впровадження проекту (період спорудження установки), тобто до нульового року експлуатації. Якщо має місце поетапне введення устаткування в експлуатацію, то інвестиційні затрати можуть розподілятися по відповідних роках експлуатації. Також до інвестиційних затрат відносяться затрати на плановий капітальний ремонт.

Експлуатаційні затрати. Методика розрахунку щорічних експлуатаційних затрат приведена вище.

Амортизаційні відрахування розраховуються на кінець кожного кварталу як 6 % від основних фондів (вартість основного обладнання).

Загальний доход від експлуатації установки: порядок розрахунку наведено вище.

Балансовий прибуток знаходиться шляхом віднімання від річного доходу амортизаційних відрахувань та експлуатаційних витрат.

Податок на прибуток знаходиться перемноженням величини балансового прибутку на процент податку на прибуток. Може статися, що при великих величинах цін на основне устаткування та невеликому прибутку, амортизаційні відрахування в перші роки експлуатації установки будуть великими, і, таким чином, значення балансового прибутку будуть від'ємними. В такому випадку податок на прибуток буде дорівнювати нулю.

Чистий прибуток – різниця між балансовим прибутком та податком на прибуток.

Грошовий потік – результат всіх фінансових потоків за рік. Знаходиться шляхом віднімання від щорічного доходу інвестиційних затрат (якщо вони мають місце), експлуатаційних затрат, коштів на виплати процентів по кредиту (якщо вони мають місце) та податку на прибуток.

Гроші на рахунку (кумулятивний грошовий потік). Сума, якою володіє власник розраховується наступним чином: до величини кумулятивного грошового потоку, що має місце на попередній рік, додається величина грошового потоку на звітній розрахунковий рік.

Простий строк окупності. Значення року, в якому значення величини грошей на рахунку (кумулятивного грошового потоку) змінює знак з від'ємного на додатній і буде визначати простий строк окупності проекту.

Коефіцієнт дисконтування. Знаходиться для кожного року за залежністю (5.2).

Дисконтований грошовий потік знаходиться шляхом перемноження величини грошового потоку на коефіцієнт дисконтування.

Дисконтований кумулятивний грошовий потік (гроші на рахунку з урахуванням дисконтування), знаходиться як і простий кумулятивний грошовий потік, але з дисконтованого грошового потоку.

Дисконтований строк окупності. Значення року, в якому величина дисконтованого кумулятивного грошового потоку змінює знак з від'ємного на додатній, і буде визначати дисконтований строк окупності проекту.

NPV – характеризує загальний фінансовий підсумок проекту.

IRR – перевірочний дисконт.

5.3. Техніко економічні показники виробництва теплової енергії з твердої біомаси

5.3.1. Фінансові показники проекту впровадження котельної на деревній тріщі

В даному розділі розглядаються техніко-економічні показники будівництва нової котельної на деревній тріщі потужністю 1 МВт у бюджетному секторі та у промисловості при використанні обладнання українського виробництва.

Котел впроваджується в установі, яка фінансується з державного/місцевого бюджетів, наприклад, школа, лікарня, або на промисловому підприємстві. Такі організації мають закупати паливо (деревну тріску) у виробника (підприємство лісового господарства) або постачальника (організації, що купують сировину у підприємства лісового господарства та забезпечують її подрібнення та транспортування до місця використання) і забезпечити операції по складуванню та зберіганню біомаси на території котельні (це означає необхідність будівництва сховища та закупівлю трактора з фронтальним завантажувачем). У випадку, що розглядається в роботі, споживач купує паливо у виробника та орендованим транспортом доставляє його на склад котельної. У зв’язку з цим, на вартість палива впливає відстань його перевезення.

Вважається, що фінансування будівництва котельної відбувається без залучення кредитних коштів. Економія коштів в порівнянні з базовим варіантом (використання існуючого обладнання та споживання природного газу) виробництва теплової енергії полягає у заміщенні дорогого природного газу у секторі промисловості (вартість природного газу становить 7466 грн./м^3 з ПДВ [61]) та продажу теплової енергії бюджетним споживачам за вартістю, вищою за її собівартість (середньозважений тариф на продаж теплової енергії становить 1097,24 грн./Гкал [62]). Тариф на закупівлю електричної енергії, що споживається для власних потреб котельної установки (робота насосу,

допоміжного обладнання котельної та системи подачі палива) становить 138,50 коп./кВт·год [63].

Інвестиційні та експлуатаційні витрати проекту по впровадженню котла на деревній трісці представлено в таблиці 5.1. Основними складовими інвестиційних витрат є вартість котла (розглядається котел виробництва компанії Kriger (Україна)) та трактора з завантажувачем. Експлуатаційні витрати включають вартість деревної тріски, заробітну плату персоналу, вартість електроенергії, необхідної для роботи насосу і котла, технічне обслуговування установки. Термін життя проекту експлуатації котла на деревній трісці становить 20 років.

Таблиця 5.1

Інвестиційні та експлуатаційні витрати для котла на деревній трісці

Капітальні витрати проекту (встановлена потужність 1 МВт), тис. грн	
Проекті роботи	50,0
Котельна установка включаючи склад тріски	1500,0
Трактор з фронтальним навантажувачем	500,0
Монтаж, обв’язка, пуско-налагоджувальні роботи (20% вартості котла)	300,0
Будівельні роботи (30% вартості котла)	450,0
Всього капітальні затрати	2800,0
Експлуатаційні витрати, тис. грн./рік	
Придбання тріски	1125,8
Заробітна плата персоналу	105,0
Електроенергія на роботу котла	32,8
Технічне обслуговування	25,0
Витрати дизельного пального трактором	20,0
Всього експлуатаційні витрати	1308,6

Однією з найголовніших складових експлуатаційних витрат є вартість сировини, тобто деревної тріски. Закупочна вартість сировини залежить від постачальника та його витрат на виробництво. Кінцева вартість залежить від вартості та відстані транспортування деревної тріски. На сьогоднішній день,

середня закупочна вартість деревної тріски становить 800 грн./т (з ПДВ без витрат на транспортування).

Доходна частина проекту розраховується виходячи з припущення, що після впровадження котла на біомасі підприємство заощаджує гроші на придбанні природного газу чи заробляє кошти за рахунок продажу теплової енергії споживачу.

Результати розрахунку техніко-економічних показників показують, що проект по впровадженню котла для спалювання деревної тріски має досить добрі економічні показники (таблиця 5.2). Простий та дисконтований термін окупності знаходиться в межах 5 років, що є привабливим для потенційного інвестора.

Таблиця 5.2

Техніко-економічні показники впровадження котельних на біомасі

	Тріска з лісосічних відходів	Гранули з деревини	Тюки соломи	Гранули з соломи
Капітальні витрати, тис. євро	112,0	77,0	270,0	188,0
Вартість біопалива, грн./т	800	1800	800	1200
Бюджетний сектор				
Внутрішня норма рентабельності, IRR,%	40,7	45,8	19,6	22,9
Простий термін окупності, років	2,34	2,09	4,16	3,7
Дисконтований термін окупності, років	2,68	2,24	6,54	5,22
Сектор промисловості				
Внутрішня норма рентабельності, IRR,%	36,6	44,6	19,4	22,7
Простий термін окупності, років	2,57	2,14	4,19	3,73
Дисконтований термін окупності, років	2,89	2,32	6,65	5,31

Параметрами, що мають найбільший вплив на показники окупності проектів з виробництва теплової енергії із біомаси є вартість природного газу, який заміщується біомасою (в секторі промисловості), тариф на теплову енергію та вартість біопалива.

Зміна вартості біопалива має більший вплив на економічні показники проектів з виробництва теплової енергії у бюджетному секторі у порівнянні з проектами у секторі промисловості. В бюджетному секторі заміщення природного газу відбувається за рахунок виконання стимулюючих механізмів, згідно яких тариф на продаж теплової енергії із біомаси встановлюється на рівні середньозваженого тарифу для виробництва теплової енергії з газу, який на момент прийняття Постанови Кабінету Міністрів України № 453 «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів» становив 1097,24 грн/Гкал. У випадку нижчої вартості продажу теплової енергії бюджетним споживачам (тариф встановлений НКРЕКП для продажу ТОВ "Крігер енергія" теплової енергії Житомирській обласній психіатричній лікарні № 1 становить 870,4 грн./Гкал), проекти з виробництва теплової енергії є дуже чутливими до зміни вартості палива. Проте, при очікуваному зростанні тарифу на теплову енергію до 1600 грн./Гкал (табл. 5.3) навіть подвійне зростання вартості деревної тріски не матиме вагомого впливу на показники окупності проектів (рис. 5.1).

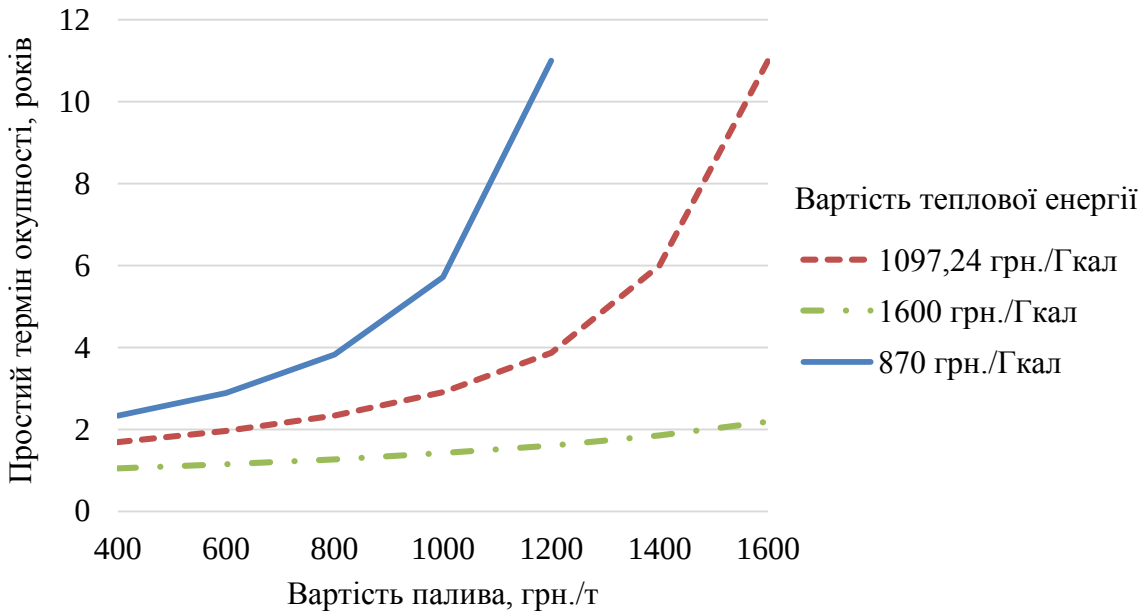

Рис. 5.1. Залежність терміну окупності котельної від вартості деревної тріски та тарифу на теплову енергію в бюджетному секторі

Таблиця 5.3

Прогноз зміни тарифу на теплову енергію з газу для бюджетних споживачів та населення

	Бюджет 2014 рік	Бюджет 2016 рік	Населення до 01.04.2016	Населення з 01.04.2016	Населення з 01.04.2017
Вартість природного газу для виробництва теплової енергії , грн./тис. $м^3$ з ПДВ	6709,0	8224,9	2994,3	6353,2	8224,9
Тарифи на теплову енергію, грн./Гкал з ПДВ	1097,24	1600,0	657,24	1202,17	1575,9

5.3.2. Фінансові показники проекту впровадження котельної на деревних гранулах

В даному розділі розглядаються техніко-економічні показники будівництва нової котельної на деревних гранулах потужністю 1 МВт у бюджетному секторі та промисловості при використанні обладнання українського виробництва.

В розрахунках прийняті наступні припущення та показники (аналогічні для котельної на деревній тріщі):

- Вважається, що фінансування будівництва котельної відбувається без залучення кредитних коштів.
- Котел виробництва компанії СЕТ (Україна).
- Економія коштів в порівнянні з базовим варіантом (використання існуючого обладнання та споживання природного газу) виробництва теплової енергії полягає у заміщенні дорогого природного газу у секторі промисловості (вартість природного газу становить 7466 грн./м^3 з ПДВ) та продажу теплової енергії бюджетним споживачам за вартістю, вищою за її собівартість (середньозважений тариф на продаж теплової енергії становить 1097,24 грн./Гкал [62]).
- Тариф на закупівлю електричної енергії, що споживається для власних потреб котельної установки (робота насосу, допоміжного обладнання котельної та системи подачі палива) становить 138,50 коп./кВт·год [63].
- Податок на прибуток, що сплачує підприємство становить 18%.
- Амортизаційні відрахування приймаються на рівні 6%.
- Ставка дисконтування 20%.
- Термін життя проекту становить 20 років.
- Вартість гранул 1800 грн./т.

Інвестиційні та експлуатаційні витрати проекту по впровадженню котла на деревних гранулах представлено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Інвестиційні та експлуатаційні витрати при впровадженні котла на деревних гранулах

Капітальні витрати проекту (встановлена потужність 1 МВт), тис. грн	
Проектні роботи	50,0
Котельна установка та бункер для гранул	1250,0
Монтаж, обв'язка, пуско-налагоджувальні роботи (20% вартості котла)	250,0
Будівельні роботи (30% вартості котла)	375,0
Всього капітальні затрати	1925,0
Експлуатаційні витрати, тис. грн./рік	
Придбання гранул	1318,0
Заробітна плата персоналу	70,0
Електроенергія на роботу котла	30,0
Технічне обслуговування	25,0
Всього експлуатаційні витрати	1443,0

Результати розрахунку техніко-економічних показників показують, що проект по впровадженню котла для спалювання деревних гранул має досить добрі економічні показники (таблиця 5.2). Простий та дисконтований термін окупності знаходиться в межах 5 років, що є привабливим для потенційного інвестора. Також варто зазначити, що незважаючи на вищу вартість гранул у порівнянні з деревною тріскою даний проект має кращі техніко-економічні показники. Ріст вартості гранул до 2800 грн./т при прийнятій вартості теплової енергії та природного газу не зменшує інвестиційної привабливості проекту з впровадження котла на деревних гранулах. А при рості вартості теплової енергії до 1600 грн./т проект стає не чутливим до зміни вартості гранул загалом (рис. 5.2).

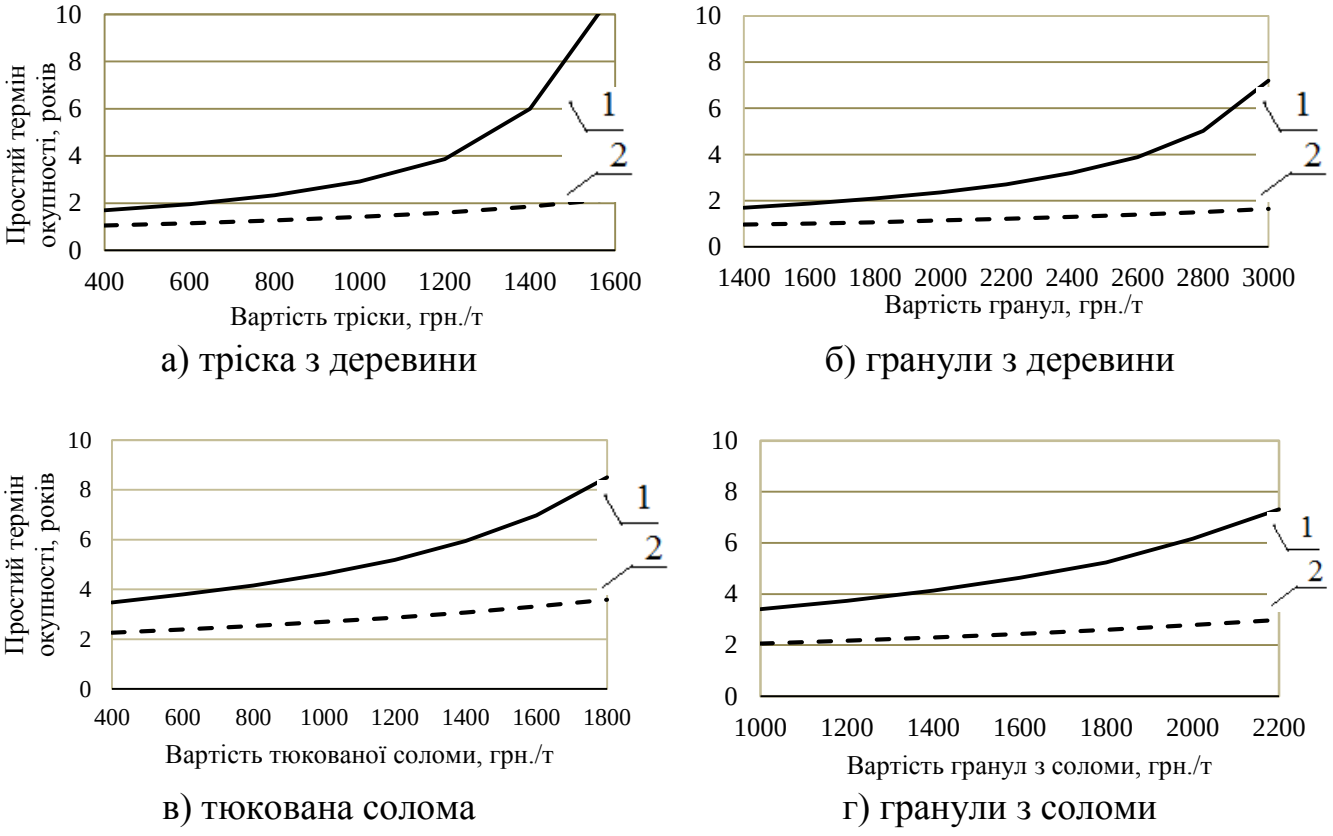

Рис. 5.2. Залежність терміну окупності котельних від виду та ціни палива, а також тарифу на теплову енергію: 1 – 1097 грн./Гкал, 2 – 1600 грн./Гкал

5.3.3. Фінансові показники проекту впровадження котельної на тюкованій соломі

В даному розділі розглядаються техніко-економічні показники будівництва нової котельної на тюкованій соломі потужністю 1 МВт у бюджетному секторі та промисловості при використанні обладнання виробництва Європейського Союзу (на ринку котельного обладнання відсутні українські виробники, що випускають котли для спалювання тюків соломи безперервної дії).

В розрахунках прийняті наступні припущення та показники (аналогічні для котельної на деревині):

- Вважається, що фінансування будівництва котельної відбувається без залучення кредитних коштів.
- Котел виробництва компанії TTS (Чехія).
- Економія коштів в порівнянні з базовим варіантом (використання існуючого обладнання та споживання природного газу) виробництва теплової енергії полягає у заміщенні дорогого природного газу у секторі промисловості (вартість природного газу становить 7466 грн./м^3 з ПДВ) та продажу теплової енергії бюджетним споживачам за вартістю, вищою за її собівартість (середньозважений тариф на продаж теплової енергії становить 1097,24 грн./Гкал [62]).
- Тариф на закупівлю електричної енергії, що споживається для власних потреб котельної установки (робота насосу, допоміжного обладнання котельної та системи подачі палива) становить 138,50 коп./кВт·год [63].
- Податок на прибуток, що сплачує підприємство становить 18%.
- Амортизаційні відрахування приймаються на рівні 6%.
- Ставка дисконтування 20%.
- Термін життя проекту становить 20 років.
- Вартість соломи в тюках 800 грн./т.

Інвестиційні та експлуатаційні витрати проекту по впровадженню котла на тюкованій соломі представлено в таблиці 5.5. Основними складовими є вартість котла, сховища для соломи і трактора для навантажувача соломи.

Експлуатаційні витрати включають вартість соломи, заробітну плату персоналу, вартість електроенергії, необхідної для роботи насосу і котла, технічне обслуговування установки, витрати на дизельний автонавантажувач соломи Найбільшою складовою є витрати на солому.

Таблиця 5.5

Інвестиційні та експлуатаційні витрати при впровадженні котла на тюкованій соломі

Капітальні витрати проекту (встановлена потужність 1 МВт), тис. грн	
Проектні роботи	50,0
Котельна установка та склад для зберігання тюків соломи	4130,0
Трактор з фронтальним навантажувачем	500,0
Монтаж, обв’язка, пуско-налагоджувальні роботи (20% вартості котла)	830,0
Будівельні роботи (30% вартості котла)	1240,0
Всього капітальні затрати	6750,0
Експлуатаційні витрати, тис. грн./рік	
Придбання гранул з соломи	741,0
Заробітна плата персоналу	105,0
Електроенергія на роботу котла	30,0
Технічне обслуговування	25,0
Витрата дизельного пального трактором	15,0
Всього експлуатаційні витрати	916,0

Результати розрахунку показують, що проект по впровадженню котла на тюках соломи має добрі економічні показники (таблиця 5.2). Простий термін окупності знаходиться в межах 5 років, проте дисконтований термін окупності перевищує 5 років, що пов’язано з великими капітальними затратами на початковому етапі проекту. Вартість тюкованої соломи на складі споживача у 1200 грн./т є критичною для досягнення терміну окупності проекту у 5 років (рис. 5.2 в). Ріст вартості теплової енергії зменшує чутливість проекту до зміни вартості палива.

5.3.4. Фінансові показники проекту впровадження котельної на гранулах із соломи

В даному розділі розглядаються техніко-економічні показники будівництва нової котельної на гранулах з соломи потужністю 1 МВт у бюджетному секторі та промисловості при використанні обладнання виробництва Європейського Союзу (на ринку котельного обладнання відсутні українські виробники, що довели надійність роботи своїх котлів на гранулах із соломи).

В розрахунках прийняті наступні припущення та показники (аналогічні для котельної на деревній тріщі):

- Вважається, що фінансування будівництва котельної відбувається без залучення кредитних коштів.
- Котел виробництва компанії Granpal Mega (Польща).
- Економія коштів в порівнянні з базовим варіантом (використання існуючого обладнання та споживання природного газу) виробництва теплової енергії полягає у заміщенні дорогого природного газу у секторі промисловості (вартість природного газу становить 7466 грн./м^3 з ПДВ) та продажу теплової енергії бюджетним споживачам за вартістю, вищою за її собівартість (середньозважений тариф на продаж теплової енергії становить 1097,24 грн./Гкал [62]).
- Тариф на закупівлю електричної енергії, що споживається для власних потреб котельної установки (робота насосу, допоміжного обладнання котельної та системи подачі палива) становить 138,50 коп./кВт·год [63].
- Податок на прибуток, що сплачує підприємство становить 18%.
- Амортизаційні відрахування приймаються на рівні 6%.
- Ставка дисконтування 20%.
- Термін життя проекту становить 20 років.
- Вартість гранул 1200 грн./т.

Інвестиційні та експлуатаційні витрати проекту по впровадженню котла на гранулах з соломи представлено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Інвестиційні та експлуатаційні витрати при впровадженні котла на гранулах з соломи

Капітальні витрати проекту (встановлена потужність 1 МВт), тис. грн	
Проектні роботи	50,0
Котельна установка та бункер для гранул	3100,0
Монтаж, обв'язка, пуско-налагоджувальні роботи (20% вартості котла)	620,0
Будівельні роботи (30% вартості котла)	930,0
Всього капітальні затрати	4700,0
Експлуатаційні витрати, тис. грн./рік	
Придбання гранул	987,0
Заробітна плата персоналу	70,0
Електроенергія на роботу котла	30,0
Технічне обслуговування	25,0
Всього експлуатаційні витрати	1112,0

Результати розрахунку техніко-економічних показників показують, що проект по впровадженню котла для спалювання гранул з соломи має досить добрі економічні показники (таблиця 5.2). Простий термін окупності знаходиться в межах 5 років, проте дисконтований термін окупності перевищує 5 років, що пов'язано з підвищеними капітальними затратами на початковому етапі проекту. Також варто зазначити, що незважаючи на вищу вартість гранул у порівнянні з тюкованою соломою даний проект має дещо кращі техніко-економічні показники. Ріст вартості гранул до 1800 грн./т при прийнятій вартості теплової енергії та природного газу не зменшує інвестиційної привабливості проекту з впровадження котла на гранулах з соломи. А при рості вартості теплової енергії до 1600 грн./т проект стає не чутливим до зміни вартості гранул загалом (рис. 5.2 г).

Вартість біопалива в першу чергу залежить від відстані його перевезенні автомобільним транспортом. Ріст вартості різних видів біопалива, що розглядаються в роботі представлено в таблиці 5.7. Припускається, що транспортування біопалива відбувається орендованим транспортом з завантаженням, що є максимально допустимим у відповідності до вимог чинного законодавства України. В такому випадку завантаженість транспортного засобу з тріскою та гранулами буде становити 22 тони, з тюками з соломи – 12,6 т (вага тюка 525 кг). Вартість оренди транспортного засобу 15 грн./км [64]. Враховується, що оплата перевезення буде здійснюватися також і за пусту ходку вантажівки у зворотному напрямку. У розрахунках техніко-економічних показників, результати яких представлені в таблиці 5.2 вартість біопалива відповідає відстані його транспортування у 100 м.

Таблиця 5.7

Вплив відстані транспортування на вартість біопалива

Відстань транспортування, км	0	100	200	300	400	500
Деревна тріска, грн./т	650	800	925	1060	1195	1300
Гранули з деревини, грн./т	1700	1800	1970	2100	2235	2370
Тюкована солома, грн./т	600	800	1080	1315	1552	1790
Гранули з соломи, грн./т	1100	1200	1400	1550	1700	1850

5.4. Аналіз соціального впливу впровадження проектів з виробництва теплової енергії із твердої біомаси

5.4.1. Методика оцінки соціального впливу

Питанням соціально-економічний впливу від використання ВДЕ приділяється велика увага в Європі і світі. В документі Європейської Комісії «Дорожня карта відновлюваної енергетики. Оцінка впливу» зазначено, що в процесі досягнення поставленої мети – 20% енергії з ВДЕ до 2020 року – в ЄС може бути створено 650 тис. нових робочих місць, в основному в сільських регіонах. З них, за різними оцінками, 400-500 тис. припадає на біоенергетику [65, 66]. Для досягнення поставленої мети по виробництву рідких біопалив – 10% загального обсягу моторних палив до 2020 року – в Європейському Союзі має бути створено не менше 150 тис. нових робочих місць. Це призведе до росту ВВП на 25 млрд. євро, або 0,17% [66].

Серед інших ВДЕ, біоенергетика є найбільш трудомістким сектором і має найбільший потенціал для створення нових робочих місць. Згідно результатам виконання Завдання 29 Міжнародного Енергетичного Агентства «Соціально-економічні аспекти біоенергетичних систем», до 2020 року в секторі ВДЕ буде створено близько 900 тис. нових робочих місць, з яких майже 840 тис. – в біоенергетиці [67].

Дослідження європейських фахівців показують, що електростанції на біомаси потребують приблизно у 4 рази більше персоналу, ніж електростанції на викопних паливах. Найбільша кількість робочих місць створюється при впровадженні біоенергетичних технологій, пов’язаних з вирощуванням сільськогосподарських та енергетичних культур [68].

Загальна кількість створених робочих місць за такими видами діяльності, як вирощування енергетичних культур та отримання лісових залишків як палива, виробництво біогазу шляхом анаеробного зброджування біомаси, виробництво теплової енергії з біомаси і виробництво рідких біопалив в Європейському Союзі у порівнянні з базовим 1995 роком оцінюється у 450 тис.

на 2005 рік, 645 тис. на 2010 рік і 830 тис. до 2020 року. Основна частка робочих місць приходиться на вирощування енергетичних культур та отримання лісової біомаси як палива. Найменша частка доки приходиться на рідкі біопалива, хоча останніми роками спостерігається досить стійка тенденція росту обсягів їх виробництва та споживання в Європі.

За даними [69] загалом в секторі біоенергетики в світі працюють більше 1 млн. чоловік, в тому числі в Бразилії 500 тис., США 312 тис., Китаї 266 тис., Німеччині 95 тис., Іспанії 10 тис.

В зарубіжній практиці існують різні методики оцінки впливу біоенергетичних технологій на створення нових робочих місць. Розрізняють прямий та непрямий вплив на зайнятість, тому і нові робочі місця розділяють на основні та додаткові. Деякі фахівці виділяють також третій тип – «вторинні» робочі місця, що оцінюються через так званий ефект «примноження» від створення основних та додаткових робочих місць [70]. Якщо не вказане інше, то, зазвичай, мова іде про основні нові робочих місць.

Різні типи робочих місць наряду з обсягами продаж та трудовими доходами є показниками прямого, непрямого та вторинного економічного ефекту в різних галузях економіки. Згідно економічної теорії, прямий ефект вимірюється вартістю товарів та послуг, напряму пов’язаних з даною галуззю. Непрямий ефект визначається, виходячи зі змін в суміжних галузях, що викликані розвитком даної галузі. Вторинний ефект відображає підвищення рівня споживання населенням товарів та послуг, що пов’язане з ростом доходів в даному та суміжних галузях економіки.

Основні робочі місця в секторі біоенергетики – це роботи з виробництва та транспортування біомаси, спорудження, експлуатації та технічного обслуговування енергетичного обладнання. Додаткові, робочі місця – це роботи, опосередковано пов’язані з перерахованими вище видами діяльності в секторі біоенергетики. Поява вторинних робочих місць пов’язана з підвищенням покупної спроможності споживачів завдяки більшому доходу, що генерується в рамках основних та додаткових нових робочих місць [71].

В таблиці 5.8 наведено дані по створенню всіх видів робочих місць в різних секторах біоенергетики. З таблиці видно, що найбільша кількість робочих місць припадає на вирощування енергетичних культур.

Створені робочі місця вважаються дійсно «новими» при виконанні однієї з трьох умов: 1 – людина перед цим була безробітною, 2 – людина на попередньому місці роботи мала меншу заробітну плату, 3 – людина на попередньому місці роботи мала великі шанси втратити роботі в найближчому майбутньому.

Створені робочі місця по своїй суті можуть бути дуже різними – від висококваліфікованої наукової та інженерної діяльності до фізичної, такої як вирощування та збору біомаси в сільській місцевості. Найбільший позитивний соціальний ефект можна очікувати в регіонах з низьким розвитком економіки та високим ступенем безробіття. І, навпаки, в високорозвинених регіонах соціальний вплив впровадження біоенергетичних технологій є відносно невеликим.

Таблиця 5.8

Створення нових робочих місць, розрахунок на ПДж річного споживання палива

Вид біомаси/ технологія	Встановлена потужність установки, $МВт_т$	Кількість нових робочих місць				Коефіцієнт примноження	Країна
		основних	додаткових	вторинних	всього		
Біомаса плантацій зі швидким обігом/ газифікатор	2	51	11	36	98	1,25	Великобританія
Міскантус/ котел	0,13	321	0	214	534	1,21	Бельгія
Лісова біомаса/ міні-ТЕЦ	40	52	33	30	115	1,30	Франція
	8,9	12	7	8	27	немає даних	Хорватія
Трітікалє/ котел	2	134	60	28	222	1,33	Німеччина
Артишок/ котел	1	269	19	93	380	1,50	Греція
Біомаса плантацій зі швидким обігом/ газифікатор	5	36	21	23	80	1,29	Ірландія
Побутові відходи/ міні-ТЕЦ	17	41	11	13	65	1,46	Італія
Відходи/міні-ТЕЦ	5	13	2	27	42	1,18	Нідерланди
Відходи рубки/ котел	10	52	2	21	76	1,26	Швеція
Відходи деревини/ котел	6,8	16	4	5	25	974	Словенія
	15	40	9	14	65	немає даних	Хорватія
	10	52	2	27	81	немає даних	Боснія і Герцеговина

В секторі теплової енергії з біомаси оцінки по створенню робочих місць відрізняються для різних країн. Так, у Франції за даними Агентства енергетики та екології Франції (ADEME), залучення до енергобалансу кожної 1000 т н.е. деревини дають 5 нових постійних робочих місць. У Швеції, за даними Шведської біоенергетичної асоціації, цей показник становить 3,5 р.м./тис. т н.е. Міністерство екології Німеччини оцінює, що сектор теплової енергії з біомаси в цілому дає країні 30 тис. робочих місць [72].

Результати дослідження австрійських фахівців [74] показують, що загалом по Євросоюзу, виконання цілей по виробництву теплової енергії з біомаси, поставлених у «Плані дій по біомасі», має призвести до створення 580 тис. робочих місць за 10 років (2006-2016 рр.). З них 280 тис. р.м. будуть пов’язані зі спорудженням і встановленням біоенергетичного обладнання, виходячи з показника 70 тис. р.м./млн. т н.е. викопних палив, заміщених біомасою. Решта 300 тис. р.м. приходиться на виробництво, зберігання та поставку біомаси/біопалив а також на управління та обслуговування біоенергетичного устаткування.

5.4.2. Оцінка потенціалу створення нових робочих місць в секторі біоенергетики в Україні

Впровадження біоенергетичних технологій має позитивний соціально-економічний вплив на регіони, де воно реалізується. По-перше, при використанні біомаси як палива гроші за імпортовані енергоносії залишаються на місці і працюють на розвиток місцевої економіки. По-друге, впровадження технологій виробництва енергії з біомаси сприяє створенню нових робочих місць, необхідних для виробництва і попередньої обробки біомаси, виробництва і транспортування біопалив а також для обслуговування самого біоенергетичного обладнання. Це є особливо важливим для сільської місцевості з точки зору підвищення рівня зайнятості населення.

На сьогодні в Україні працюють більше 2 тис. сучасних котлів на деревині, більше 100 котлів на соломі й близько 70 котлів на лушпинні соняшника. Є кілька ТЕЦ на твердій біомасі: 1 – на деревині в системі ЦТ, 3 – на лушпинні соняшника на підприємствах масложирової галузі. Крім того, населення використовує кілька десятків тисяч пічок та побутових котлів на дровах та деревних гранулах. Загальна встановлена потужність зазначеного біоенергетичного обладнання становить близько 3670 $МВт_т$ та 14 $МВт_е$ (табл. 5.9).

Для додаткового заміщення 5,27 млрд. $м^3$/рік природного газу біомасою до 2020 р. (згідно цілей, встановлених в Національному плані дій з відновлюваної енергетики) необхідно впровадження 12485 $МВт_т$ + 756 $МВт_е$ в побутовому секторі, ЖКГ та бюджетній сфері, у промислових та комерційних споживачів (табл. 5.10). Найбільший ріст потужності біоенергетичного обладнання, обсягів використання біомаси й, відповідно, заміщення газу, прогнозується в ЖКГ та бюджетній сфері – на 3,18 млрд. $м^3$/рік (з 0,14 млрд. $м^3$/рік у 2013 р.). Загальне заміщення природного газу біомасою у цьому секторі у 2020 р. оцінюється у 3,32 млрд. $м^3$/рік. На

другому місці по очікуваним обсягам заміщення природного газу знаходиться населення (2,23 млрд. м^3 у 2020 р.), найменший обсяг заміщення у 2020 р. прогнозується у промисловості та комерційних споживачів (1,66 млрд. м^3 у 2020 р.).

Таблиця 5.9

Виробництво енергії з біомаси в Україні, 2013 р.

Сектор / Тип обладнання	Кількість, од.	Встановлена потужність, МВт$_т$ (+ МВт$_е$)	Заміщення ПГ, млрд. м^3/рік	Виробництво теплової енергії, тис. Гкал/рік	Зниження викидів CO_2, млн. т/рік
Населення:					
Традиційні пічки на дровах	50000	500	0,20	1718	0,40
Побутові котли на дровах та деревних гранулах 10-50 кВт$_т$	50000	1500	0,61	5155	1,19
Всього, населення	*100000*	*2000*	*0,81*	*6873*	*1,59*
ЖКГ та бюджетна сфера:					
Котли на деревині 0,5-10 МВт$_т$	690	345	0,14	1186	0,27
ТЕЦ на деревині	1	10 (+6)	0,004	69	0,01
Всього, ЖКГ та бюджетна сфера	*691*	*355 (+6)*	*0,144*	*1255*	*0,28*
Промислові та комерційні споживачі:					
Котли на деревині 0,1-5 МВт$_т$	2000	1000	0,76	6874	1,50
Котли на соломі 0,1-1 МВт$_т$	110	55	0,04	378	0,08
Котли на лушпинні соняшника	65	195	0,15	1340	0,29
ТЕЦ на лушпинні соняшника	3	64 (+8)	0,02	437	0,05
Всього, промислові / комерційні споживачі	*2178*	*1314 (+8)*	*0,98*	*9029*	*1,92*
ВСЬОГО	**102869**	**3669 (+ 14)**	**1,93**	**17157**	**3,79**

Таблиця 5.10

Впровадження додаткового біоенергетичного обладнання для виробництва енергії в Україні до 2020 р. (у порівнянні з 2013 р.)

Сектор / Тип обладнання	Кількість, од.	Встановлена потужність, $МВт_т$ (+ $МВт_е$)	Заміщення ПГ, млрд. $м^3$/рік	Виробництво теплоти, тис. Гкал/рік	Зниження викидів CO_2, млн. т/рік
Населення:					
Побутові котли на дровах та деревних гранулах 10-50 $кВт_т$	30000	900	0,36	3093	0,71
Перехід населення з індивідуальних до систем помірно ЦТ: Котли на соломі/стеблах 1-10 $МВт_т$	1300	2600	1,05	8936	2,06
Всього, населення	*31300*	*3500*	*1,41*	*12029*	*2,78*
ЖКГ та бюджетна сфера:					
Котли на деревині 0,5-10 $МВт_т$	560	280	0,11	962	0,22
Котли на соломі/стеблах 1-10 $МВт_т$	1500	3750	1,52	12888	2,97
ТЕЦ на деревині	9	270 (+54)	0,11	1856	0,21
ТЕЦ на соломі/стеблах	50	1770 (+300)	0,72	12166	1,40
ТЕЦ на біомасі енергокультур	50	1770 (+300)	0,72	12166	1,40
Всього, ЖКГ та бюджетна сфера	*2169*	*7840 (+654)*	*3,18*	*40038*	*6,22*
Промислові / комерційні споживачі:					
Котли на соломі/стеблах 0,1-1 $МВт_т$	1190	595	0,45	4090	0,89
Котли на лушпинні соняшника	5	40	0,03	275	0,06
ТЕЦ на деревині	10	300 (+60)	0,11	2062	0,22
ТЕЦ на лушпинні соняшника	7	210 (+42)	0,08	1443	0,16
Всього, промислові / комерційні споживачі	*1212*	*1145 (+102)*	*0,68*	*7870*	*1,33*
ВСЬОГО	**34681**	**12485 (+ 756)**	**5,27**	**59937**	**10,33**

У відповідності до даних в таблиці 5.9 щодо потужності впровадження додаткового біонергетичного обладнання у відповідних секторах економіки було виконано оцінку потенціалу створення нових робочих місць до 2020 року (рис. 5.3). Приймалось, що впровадження додаткового 1 МВт встановленої теплової потужності призводить до створення 2-х основних робочих місць та 0,5 додаткових. Впровадження 1 МВт встановленої електричної потужності призводить до створення 3-х нових основних робочих місць та 0,75 додаткових.

Загалом біоенергетика дозволить створити більше 25 тис. робочих місць у секторі промисловості, житлово-комунального господарства та для задоволення потреб населення у біопаливі до 2020 року.

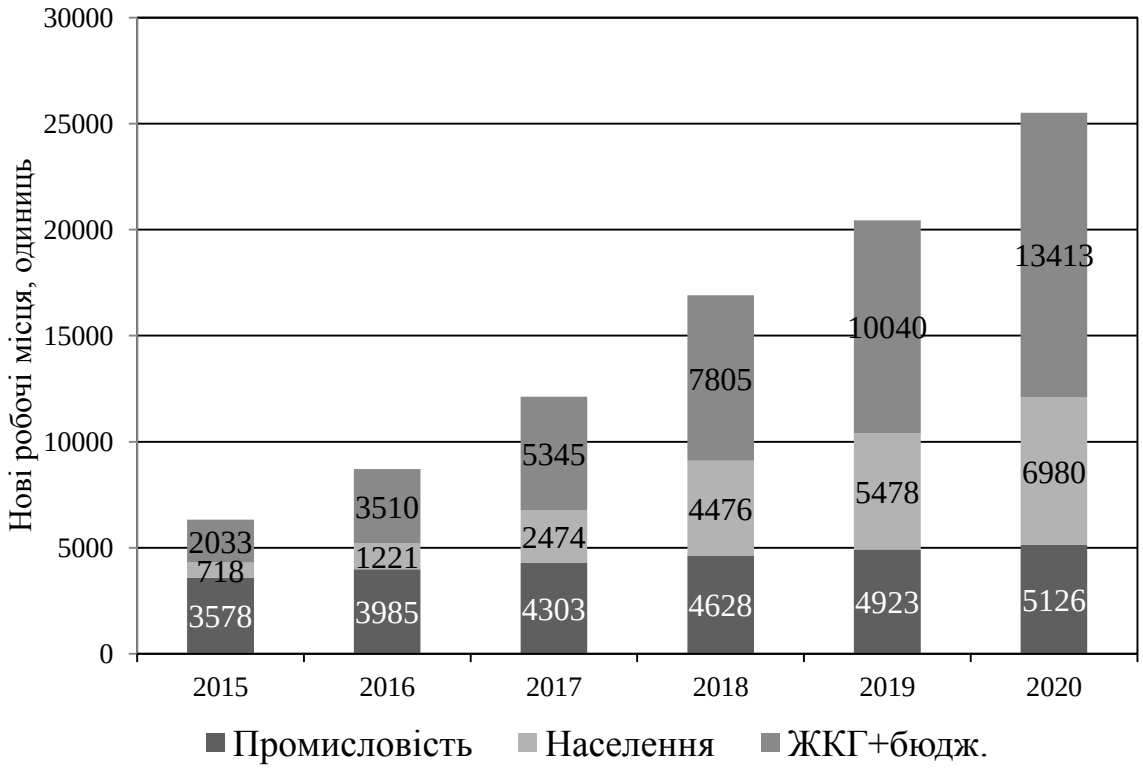

Рис. 5.3. Динаміка створення нових робочих місць за рахунок розвитку біоенергетики в Україні

Висновки до розділу 5

Таким чином, у п’ятому розділі дисертаційної роботи виконано розрахунок техніко-економічних показників впровадження проектів з виробництва теплової енергії у бюджетному секторі та промисловості у випадку будівництва нової котельної на біопаливі без залучення кредитних коштів. Результатами оцінки економічної ефективності вказують є наступні показники:

1. Простий термін окупності при використанні тріски, гранул з деревини, тюків соломи та гранул з соломи для виробництва теплової енергії становить від 2,0 до 4,2 років.

2. Дисконтований термін окупності становить від 2,2 до 6,7 років.

3. Внутрішня норма рентабельності для проектів з виробництва теплової енергії із біомаси знаходиться на рівні від 19 до 46%.

4. Використання гранул у новозбудованій котельній є більш економічно доцільним у порівнянні з тріскою чи соломою у тюках.

5. Більш чутливими до зміни вартості палива є проекти з виробництва теплової енергії із тріски та тюкованої соломи в порівнянні з гранульованою біомасою.

6. При фіксованих тарифах на природний газ, що заміщується в секторі промисловості та вартості, за якою реалізується теплова енергія, існують граничні значення вартості біопалива, при якій термін окупності становить вище 5 років: тріска – 1350 грн./т, гранули з деревини – 2800 грн./т, тюкі соломи – 1200 грн./т, гранули з соломи – 1700 грн./т.

У розділі також виконано оцінку створення нових робочих місць при впровадженні біоенергетичного обладнання в Україні у відповідності до Національного плану дій з відновлюваної енергетики до 2020 року. Загалом біоенергетика дозволить створити більше 25 тис. робочих місць у секторі промисловості, житлово-комунального господарства та для задоволення потреб населення у біопаливі.

ЗАГАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Максимально допустима, або доцільна, відстань перевезення біомаси автомобільним транспортом є одним з важливих питань проектів по впровадженню біоенергетичного обладнання. Цю відстань можна визначити, проаналізувавши граничні значення показників, що використовуються в якості критеріїв сталого розвитку в даній роботі – енергетичних, екологічних та економічних.

Розрахунок максимальної відстані перевезення з точки зору енергетичної ефективності впровадження проектів з виробництва теплової енергії із твердого біопалива можна розділити на два варіанти. Перший базується на визначенні відстані ($S1_{ENmax}$), для якої витрати енергії «на вході» енергетичної системи, включаючи транспортування біомаси, еквівалентні обсягу теплової енергії, який може бути отриманий з цієї біомаси при спалюванні в котлі (енергія «на виході»), тобто $EYC_{NR}=1$. У другому варіанті розраховується відстань, при якій енергетичні показники проекту (ced_{NR} та EYC_{NR}) починають виходити за допустимі $EYC_{NR}>2$ ($S2_{ENmax}$) або рекомендовані $EYC_{NR}>5$ ($S3_{ENmax}$) межі їх значень.

Розрахунок максимальної відстані з точки зору показників екологічної ефективності також включає два пункти. Перший – визначення відстані ($S1_{ECLmax}$), при транспортуванні на яку загальні обсяги викидів парникових газів еквівалентні зниженню викидів CO_2, яке досягається при заміщенні біомасою викопних палив при виробництві теплової енергії. Другий – визначення відстані ($S2_{ECLmax}$), при транспортуванні на яку загальні обсяги викидів парникових газів складають не більше 75% обсягу зниження викидів CO_2, яке досягається при заміщенні біомасою викопних палив.

Розрахунок з точки зору економічного аналізу – це визначення максимальної відстані транспортування (S_{ECNmax}), при якій проект по впровадженню біоенергетичного обладнання має привабливі економічні показники, а саме, термін окупності не більше 5 років ($S1_{ECNmax}$). При цьому максимальна відстань перевезення залежить від початкової вартості

біопалива та вартості його перевезення автомобільним орендованим транспортом. Залежність вартості біопалива від відстані його перевезення представлена в таблиці 5.6. Значення S_{ECNmax}, що наведені у таблиці 5.6, були отримані шляхом аналізу графіків на рис. 5.2 (відстань, що відповідає вартості біопалива на перетині кривої, що відповідає сучасній вартості продажу теплової енергії бюджетним споживачам з віссю, що відповідає значенню терміну окупності 5 років).

Треба відмітити, що показники $S1_{ENmax}$ та $S1_{ECLmax}$ є суто теоретичними, або ілюстративними, оскільки відповідають випадку мінімально позитивних енергетичного балансу та балансу викидів CO_2. Показники $S2_{ENmax}$, $S3_{ENmax}$, $S2_{ECLmax}$ та S_{ECNmax} носять практичний характер, оскільки повністю прив'язані до конкретного проекту, забезпечують його високу енергетичну й економічну ефективність та відповідність вимозі Директиви Європарламенту 2009/28/ЕС [7] щодо зниження викидів парникових газів при використанні біопалив (не менше 35% у порівнянні із застосуванням традиційних палив).

У таблиці 5.7 наведено результати розрахунку максимально допустимої відстані перевезення різних видів біопалива, що розглядаються в роботі на прикладі впровадження біомасового котла в бюджетному секторі потужністю 500 кВт. Відстань транспортування біопалива, що відповідає терміну окупності проектів по впровадженню біоенергетичного обладнання не більше п'яти років (S_{ECNmax}) знаходиться в діапазоні між відстанями, що відповідають рекомендованим ($S3_{ENmin}$) та мінімально допустимим ($S2_{ENmax}$) значенням показнику енергетичної ефективності та задовольняє вимогам по скороченню викидів ПГ. Саме це значення відстані рекомендується при реалізації проектів з виробництва теплової енергії з твердого біопалива. У цьому випадку проект задовольнятиме наступним значенням критеріїв сталого розвитку: $EYC_{NR}>2$, $\Delta\varepsilon > 35\%$.

Таблиця 5.7

Максимально допустима відстань транспортування біопалива автомобілем

Умова	Позна-чення	Максимальна відстань, км			
		Тріска	Гранули з деревини	Тюки соломи	Гранули з соломи
EYC_{NR}=1	$S1_{ENmax}$	1650	3000	2050	2400
EYC_{NR}>2 (мінімально допустиме значення)	$S2_{ENmax}$	700	1250	1000	900
EYC_{NR}>5 (рекомендоване значення)	$S3_{ENmin}$	200	170	270	100
Мінімальний позитивний баланс ПГ	$S1_{ECLmax}$	1700	3050	2060	2250
Скорочення викидів ПГ 35%	$S2_{ECLmax}$	1050	1800	1200	1200
Простий термін окупності проекту	S_{ECNmax}	550	800	250	400

Загалом, будь-які проекти з виробництва теплової енергії з біопалива мають задовольняти принципам сталого розвитку. Принцип сталості – це мета, приклад. Сталий розвиток, в свою чергу, являється процесом, що забезпечує досягнення даної мети. Метою сталого розвитку є забезпечення основних потреб людства сьогодні та в майбутньому не перевищуючи при цьому меж витривалості нашої планети та екосистеми. По суті, сталий розвиток це процес перетворення, в якому використання енергоресурсів, мета інвестицій, напрямок технологічного розвитку та організаційне перетворення гармонують один з одним, що підвищує сучасний та майбутній потенціал, та дозволяє задовольнити людські потреби.

Узагальнюючи можна сказати, що проекти з виробництва теплової енергії з твердого біопалива в умовах України задовольняють трьом ключовим аспектам сталого розвитку:

1. Використання біомаси призводить до скорочення викидів парникових газів та економії викопного палива (екологічний аспект).

Проекти з використання деревної тріски та тюкованої соломи при відстані транспортування сировини до 100 км забезпечують зниження споживання первинної енергії викопного палива у 10 та більше разів. Використання гранул зменшує споживання первинної енергії викопного палива у понад 5 разів. Скорочення викидів парникових газів при використанні деревини та соломи в якості палива становить 72-92 %, при транспортуванні біомаси на відстані, рекомендовані для забезпечення сталого розвитку

2. Створюються нові робочі місця (соціальний).

Загалом біоенергетичний сектор дозволить створити більше 25 тис. робочих місць у секторі промисловості, житлово-комунального господарства та для задоволення потреб населення у біопаливі до 2020 року.

3. Біоенергетичні проекти характеризується прийнятною фінансовою спроможністю (економічний).

Аналіз результатів техніко-економічного обґрунтування технологій виробництва теплової енергії з біомаси показує, що за існуючих цін на викопні палива (в першу чергу, природний газ), теплову енергію і на біомасу впровадження котлів на біомасі для виробництва теплової енергії є економічно доцільним і може рекомендуватися для об'єктів теплоенергетики в промисловому і бюджетному секторах. Реалізація таких проектів у житлово-комунальному господарстві перебуває сьогодні на межі рентабельності. Термін окупності проектів з впровадження котлів на деревині та соломі становить 2-3 роки для промислового та бюджетного секторів і більше 7-10 років – для житлово-комунального господарства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі з використанням методології оцінки життєвого циклу та з врахуванням критеріїв сталого розвитку розроблено розрахунково-методичні моделі визначення енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів, а також виконано комплексний аналіз виробництва теплової енергії з наступних видів твердого біопалива: тріска з лісосічних відходів, тюкована солома, гранули з лісосічних відходів та соломи. Це дозволило удосконалити порівняння енергетичних установок, які працюють на різних видах біопалива та надати рекомендації щодо оптимальних показників життєвого циклу виробництва теплової енергії.

Під час виконання роботи одержані такі основні наукові та практичні результати:

1. Виробництво теплової енергії з твердого біопалива (тріска та гранули з лісосічних відходів, тюки та гранули з соломи) задовольняє вимогам сталого розвитку за енергетичними показниками та за потенціалом скорочення викидів парникових газів при досліджених технологіях та відстанях транспортування від 100 до 270 км в залежності від виду біопалива.

2. Коефіцієнт перетворення енергії (невідновлюваної), що відповідає життєвому циклу використання деревної тріски в якості палива для виробництва теплової енергії, знаходиться в діапазоні 5,8-11,2, а при виробництві та використанні гранул із лісосічних відходів EYC_{NR} зменшується до 5,6-6,7. Зменшення потужності установки з 10 МВт до 100 кВт на деревній трісці знижує енергетичну ефективність на 12%, на деревних гранулах - на 3%, а зі збільшенням відстані транспортування вплив даної величини зменшується.

3. Коефіцієнт перетворення енергії (невідновлюваної) для установок, що використовують тюковану солому в якості палива для виробництва теплової енергії, знаходиться в діапазоні 7,2-13,9. Зменшення потужності енергоустановки не має великого впливу на показники її

ефективності, крім випадку використання малих тюків соломи в установках малої потужності.

4. Використання деревної тріски та тюкованої соломи при відстані транспортування сировини до 100 км забезпечує зниження споживання первинної енергії викопного палива у 10 та більше разів. Використання гранул зменшує споживання первинної енергії викопного палива у понад 5 разів.

5. Питомі викиди парникових газів при спалюванні біомаси для виробництва теплової енергії знаходяться в діапазоні 10-20 г $CO_{2\text{-екв.}}$/МДж, що у 6-17 раз менше в порівнянні з використанням викопних видів палива. Скорочення викидів парникових газів при використанні деревини та соломи в якості палива становить 72-92%, при транспортуванні біомаси на відстані, рекомендовані для забезпечення сталого розвитку.

6. Гранулювання лісосічних відходів доцільне у межах допустимих значень показників енергетичної ефективності та у випадку необхідності їх транспортування на відстань більше 200 км у порівнянні з тріскою. Використання гранульованої соломи при її перевезенні автомобільним транспортом завжди має нижчі показники енергетичної ефективності та скорочення викидів ПГ у порівнянні з тюками. Проте, використання тюкованої соломи обмежується прийнятними техніко-економічними показниками.

7. При прийнятті практичних логістичних рішень рекомендується використання максимальної відстані транспортування, що відповідає прийнятній окупності проектів з виробництва теплової енергії – дані відстані задовольняють діапазону допустимих значень показників енергетичної ефективності ($EYC_{NR}>2$) та скорочення викидів парникових газів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Енергетичний баланс України за 2013 рік. Експрес - випуск Державної служби статистики України від 28.11.2014 No 510/0/08.4вн-14.

2. Metz, B., et al. (2007). Climate change 2007: mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

3. European Bioenergy Outlook. A growing sector in figures. AEBIOM, 2014.

4. Commission staff working document. Impact assessment. Accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030.

5. WBA Global Bioenergy Statistics, 2014.

6. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Жовмір М.М., Матвєєв Ю.Б., Дроздова О.І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса // Промислова теплотехніка. – 2010, т. 32, № 6, с.58-65.

7. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

8. Report from the commission to the council and the European parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. Brussels, 25.2.2010. COM (2010)11 final.

9. Розпорядження кабінету міністрів України від 3 вересня 2014 р. № 791-р «Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС».

10. Whittaker, C., Mortimer, N., Murphy, R., & Matthews, R. (2011). Energy and greenhouse gas balance of the use of forest residues for bioenergy production in the UK. *Biomass and Bioenergy*, *35*(11), 4581-4594.

11. Mangoyana, R. Bioenergy from forest thinning: Carbon emissions, energy balances and cost analyses. (2011). *Renewable Energy*, 36, 2368-2373.

12. Cipriano, P., Fernando, A. L. Energy balance of the production and use of Miscanthus for the energy purposes in Portugal. (2012). Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition, 18-22 June 2012, Milan, Italy, 608-611.

13. Hennig, C., Gawor, M., Majer, S. Energy from biomass: a life cycle and economic analysis. (2012). Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition, 18-22 June 2012, Milan, Italy, 2075-2079.

14. Furubayashi, T., Toshihiko, N. Integrated design of biomass energy system considering various biomass resources and technologies. (2012). Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition, 18-22 June 2012, Milan, Italy, 2019-2023.

15. Sebastián, F., Royo, J., Gómez, M. Versus biomass-fired power plants: GHG (Greenhouse Gases) emissions savings comparison by means of LCA (Life Cycle Assessment) methodology. (2011). *Energy*, 36, 2029-2037.

16. Cherubini, F., Bird, N. D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., & Woess-Gallasch, S. (2009). Energy-and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling*, *53*(8), 434-447.

17. Elghali, L., Clift, R., Sinclair, P., Panoutsou, C., Bauen, A. Developing a sustainability framework for the assessment of bioenergy systems. (2007). *Energy Policy*, 35, 6075-6083.

18. International Organization for Standardization. (1997). *Environmental Management: Life Cycle Assessment: Principles and Framework* (Vol. 14040). ISO.

19. May, B., England, J. R., Raison, R. J., & Paul, K. I. (2013). Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: Carbon sequestration and greenhouse gas emissions. *Forest ecology and management*, 302, 295-307.

20. ДСТУ ISO 14040:2004 Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (18014040:1997, IDT).

21. ДСТУ ISO 14041:2004 Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Визначення цілі і сфери застосування інвентаризації (ISO 14041:1998, IDT).

22. ДСТУ ISO/TR 14049:2004 Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Приклади використання ISO 14041 для визначення цілі і сфери застосування та аналізування інвентаризації (ISO/TR 14049:2000, IDT).

23. Møller, F., Slentø, E., & Frederiksen, P. (2014). Integrated well-to-wheel assessment of biofuels combining energy and emission LCA and welfare economic Cost Benefit Analysis. *Biomass and Bioenergy*, 60, 41-49.

24. Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A. A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B. Guidelines for life-cycle assessment: a 'Code of practice'. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). (1993). SETAC Workshop, Sesimbra, Portugal, 31 March–3 April 1993.

25. Lindfors, L-G., Christiansen, K., Hoffmann, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O. J., et al. (1995). Nordic guidelines on Life-Cycle Assessment. Nord 1995:20. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

26. Heller, M., Keoleian, G., Volk, T. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. (2003). *Biomass Bioenergy*, 25, 147–65.

27. Blottnitz von, H., Curran, M. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. (2007). J Cleaner Prod, 15, 607–19.

28. Gasol, C. M., Gabarrell, X., Anton, A., Rigola, M., Carrasco, J., Ciria, P., et al. Life cycle assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping system in southern Europe. (2007). *Biomass Bioenergy*, 31(8), 543–55.

29. Calzoni, J., Caspersen, N., Dercas, N., Gaillard, G., Gosse, G., Hanegraaf, M., et al. Bioenergy for Europe: which ones fit best? A comparative analysis for

the community. (2000). Final report. IFEU e Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

30. Cherubini, F., Bird, N. D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., & Woess-Gallasch, S. (2009). Energy-and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling*, *53*(8), 434-447.

31. Curran, M. A. Studying the effect on system preference by varying co-product allocation in creating life cycle inventory. (2007). *Environmental Science and Technology,* 41(20), 7145-7151.

32. Spitzley, D. V., Keoleian, G. A. Life cycle environmental and economic assessment of willow biomass electricity: a comparison with other renewable and non-renewable sources. (2004). Report No. CSS04-05, Centre for Sustainable Systems, University of Michigan.

33. Benetto, E., Popocivi, E.C., Rousseaux, P., Blondin, J. Life cycle assessment of fossil CO_2 emissions reduction scenarios in coal-biomass based electricity production. (2004). *Energy Conversion Management*, 24, 3053–3074.

34. Nussbaumer, T., Oser, M. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. (2004). International Energy Agency IEA bioenergy Task 32 and Swiss Federal Office of energy. Version 1.0. Zurich: Verenum press.

35. Caserini, S., Livio, S., Giugliano, M., Grosso, M., Rigamonti, L. LCA of domestic and centralized biomass combustion: The case of Lombardy (Italy). (2010). *Biomass and bioenergy*, 34, 474 – 482.

36. Karampinis, E., Sissot, F., Grammelis, P. Investigation of wheat straw supply chain for co-firing power plants in Northern Greece. (2012). Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition, 18-22 June 2012, Milan, Italy. pp. 136-141.

37. Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E., & Mogensen, L. (2013). Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: the case of wheat straw in Denmark. Applied Energy, 104, 633-641.

38. Cherubini, F., & Strømman, A. H. (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource technology*, 102(2), 437-451.

39. Hoogwijk, M., Faaij, A., van den Broek, R., Berndes, G., Gielen, D., & Turkenburg, W. (2003). Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and bioenergy*, *25*(2), 119-133.

40. Sastre, C. M., Maletta, E., González-Arechavala, Y., Ciria, P., Santos, A. M., del Val, A., ... & Carrasco, J. (2014). Centralised electricity production from winter cereals biomass grown under central-northern Spain conditions: Global warming and energy yield assessments. *Applied Energy*, *114*, 737-748.

41. Pucker, J., Zwart, R., & Jungmeier, G. (2012). Greenhouse gas and energy analysis of substitute natural gas from biomass for space heat. *Biomass and bioenergy*, *38*, 95-101.

42. Diaz, M., Rezeau, A., Maraver, D., et al. Comparison of the environmental impact of biomass and fossil fuels medium-scale boilers for domestic applications employing life cycle assessment methodology. (2008). Proceedings of the 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2-6 June 2008, Valencia, Spain, pp. 2641-2646.

43. Francescato, V., Antonini, E., Bergomi L. B. Wood fuels handbook. Production, quality requirements, trading. (2008). Italian Agriforestry Energy Association. Litocenter Srl – Limena.

44. Дослідження енергоємності транспортної операції. Ільченко В.Ю., Деркач О.Д., Колбасін В.О. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. Екологія, рослинництво, землеробство. : науково-теоретичний, науково-практичний журнал. - 2008. - N2. - С. 63 – 69.

45. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf

46. Nussbaumer, T., Oser, M. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. (2004). Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy.

47. Kessler, F., Knechtle, N., & Frischknecht, R. (2000). Heizenergie aus Heizöl, Erdgas oder Holz. *BUWAL-Bericht, Schriftenreihe Umwelt*, (315), 161.

48. Kasser, U.; Pöll, M.; Graffe, K. Ökologische Bewertung mit Hilfe der grauen Energie. (2001). Schriftenreihe Umwelt Nr. 315, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

49. Sterkele, U. (2001). Alternativenergie im Kosten-und Ökovergleich. *Spektrum der Gebäudetechnik*, *5*, 42-45.

50. Hartmann, H., & Kaltschmitt, M. (2002). Biomasse als erneuerbarer Energieträger. *Landwirtschaftsverlag. Münster*.

51. Studer, R., & Wolfensberger, U. (1991). Energie-und C02 Bilanzen ueber den Alternativ-Treibstoff Biodiesel. *Landwirtschaft Schweiz*.

52. Wörgetter, M. et al. Ökobilanz Biodiesel, Bericht des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien 1999.

53. Jungmeier, G., & Hausberger, S. (2003). Treibhausgas-Emissionen von Transportsystemen. *Vergleich von biogenen und fossilen Treibstoffen, Joanneum Research Graz, BMLFUW, BMVIT, Land Steiermark, Graz*.

54. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. Brussels, 25.2.2010. COM (2010) final.

55. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/pdfiles/rusch1-1.pdf

56. Commission staff working document “State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU”. Brussels, 28.7.2014. SWD (2014) 259 final.

57. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23.04.2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

58. Frischknecht, R.; Hofstetter, P.; Knoepfel, I.; Dones, R.; Zollinger, E. Environmental Life-Cycle Inventories of Energy Systems. Swiss Federal Institute of Technology (ETH). (1994). Zürich, Paul Scherrer Institute (PSI) Villigen, Swiss Federal Office of Energy, Berne, Zürich and Villigen.

59. Газеев М.Х., Смирнов А.П., Хрычев А.Н. Показатели эффективности инвестиций в условиях рынка. М.: 1993. – 21 с.

60. Борщ Н., Федорченко Ф. Амортизация: налоговый и бухгалтерский учет, Харьков, «Фактор»: 2003. – 129 с.

61. https://104.ua/ua/gas-and-money/how-costs/id/tarifi-dlja-riznih-kategorij-spozhivachiv-7315

62. Середньозважений тариф на виробництво тепла з альтернативних видів палива http://saee.gov.ua/uk/news/471

63. Тарифи на електричну енергію (крім населення) http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi

64. Вантажоперевезення по Україні. Статистика цін. http://della.ua/

65. Botkin, D. B., Keller, E. A., & Rosenthal, D. B. (2012). *Environmental science*. Wiley.

66. Timmons, D., Damery, D., Allen, G., & Petraglia, L. (2007). Energy from forest biomass: Potential economic impacts in Massachusetts. *Prepared for Massachusetts Division of Energy Resources and Massachusetts Department of Conservation and Recreation*, 30.

67. Martin, J. R. (2008). Biomass Energy Economics. Western Forest Economists. In *43rd Annual meeting*.

68. Morris, G. The Value of the Benefits of U.S. Biomass Power. (1999). Subcontractor Report. NREL/SR-570-27541.

69. Economic Impacts of Bioenergy Production and Use. Draft Fact Sheet, 2005.

70. U.S. Economic Impact of Advanced Biofuels Production: Perspectives to 2010. (2009). Report by Bio Economic Research Associates.

71. Domac, J., Richards, K. Final Results from IEA Bioenergy Task 29: Socio-Economic Aspects of Bioenergy Systems. (2002). Proc. of 12th European Conference on Biomass for Energy and Climate Protection, Amsterdam, the Netherlands, 1200-1204.

72. Domac, J., Richards, K., & Risovic, S. (2005). Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass and Bioenergy*, *28*(2), 97-106.

73. Remedio, E. M., & Domac, J. U. (2003). Socio-economic analysis of bioenergy systems: A focus on employment. *FAO Forestry Department. Wood Energy Programme, ed. Rome: FAO*, *53*.

74. Kratzat, M., & Lehr, U. (2007). International Workshop "Renewable Energy: Employment Effects"-Models, Discussions and Results.

75. Rutovitz, J., & Atherton, A. (2009). Energy sector jobs to 2030: a global analysis. *Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney*, *117*.

ДОДАТОК А. АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор інституту технічної теплофізики
НАН України, академік НАНУ
_____А.А.Долінський
(підпис)
« »_____2013 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ПАТ «Київенерго»
_____О.В.Фоменко
(підпис)
« »_____2013 р.

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи

Дійсний акт складено про те, що результати отримані в рамках підготовки дисертаційної роботи здобувача степені кандидата технічних наук Дроздової Ольги Ігорівни **«Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в умовах України»** були використані при виконанні роботи для ПАТ «Київенерго» «Дослідження ринку біопалива рослинного походження в Україні та Київському регіоні».

Зокрема, результати були використані для обґрунтування величини радіусу транспортування, за якого заготівля біопалива рослинного походження буде доцільною з енергетичної та екологічної точок зору. В рамках роботи було проведено розрахунки оптимальної відстані транспортування ґрунтуючись на аналізі енергетичного балансу повного життєвого циклу використання біомаси (енергетичний аспект). Результати аналізу вказують на високу ефективність впровадження технологій спалювання біопалива в радіусі транспортування біомаси 150-200 км.

Також були проведені розрахунки оптимальної відстані транспортування, враховуючи екологічний аспект впровадження біоенергетичних технологій. Було визначено відстань, при транспортуванні на яку загальні обсяги викидів парникових газів еквівалентні зниженню викидів CO_2, яке досягається при заміщенні біомасою викопних палив, наприклад, природного газу.

Використовуючи результати, отримані під час аналізу енергетичного та екологічного аспектів використання біомаси для виробництва енергії, встановлено, що величиною радіусу транспортування біомаси, що враховуватиме всі основні обмеження її використання в енергетичних цілях, буде відстань у 200 км. Враховуючи поправку на нелінійність автомобільних доріг, доцільним радіусом територій збору/постачання біопалива було обрано відстань у 150 км. Для гранул, враховуючи їх високу енергетичну та насипну щільність, даний радіус оцінено на рівні 300-350 км.

Від ІТТФ НАНУ
Зав. відділом ТПБ_____Гелетуха Г.Г.
Ст. наук. співр._____Желєзна Т.А.
Пров. інженер_____Дроздова О.І.

Від ПАТ «Київенерго»
Керівник департаменту стратегічного планування_____Медяний Н.Л.