



# ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ З БІОМАСИ

Аналітична записка БАУ № 8

Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І.

25 квітня 2014 р.

Обговорення в БАУ: з 17.04.2014 до 25.04.2014  
Затвердження Правлінням БАУ та публікація на [www.uabio.org](http://www.uabio.org): 25.04.2014  
Публікація доступна на: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics)  
Для відгуків та коментарів: [geletukha@uabio.org](mailto:geletukha@uabio.org)

## ПОДЯКА

Автори висловлюють щиру подяку *Кучеруку Петру Петровичу* за надання матеріалів та консультацій по розділам, що стосуються біогазових технологій. Це суттєво покращило якість фінального варіанту Аналітичної записки.

## Зміст

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Обґрунтування актуальності енергетичного та екологічного аналізу біоенергетичних технологій</b> .....	4
<b>Енергетичний аналіз</b> .....	5
<i>Виробництво теплової енергії з біомаси</i> .....	9
<i>Виробництво електроенергії з біомаси</i> .....	9
<i>Виробництво біогазу</i> .....	11
<i>Виробництво біоетанолу і біодизелю</i> .....	13
<b>Екологічний аналіз</b> .....	16
<b>Вплив відстані транспортування на енергетичні та екологічні показники біоенергетичних технологій</b> .....	19
<b>Висновки</b> .....	22
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	23
<b>Умовні позначення</b> .....	24
<b><i>Попередні Аналітичні записки БАУ</i></b> .....	25

## Вступ

У черговій записці № 8 Біоенергетичної асоціації України розглянуто питання енергетичної ефективності технологій виробництва енергії з біомаси для різних технологій та різних видів біомаси. Оцінено рівень скорочення викидів діоксиду вуглецю при заміщенні традиційних палив біомасою.

## Обґрунтування актуальності енергетичного та екологічного аналізу біоенергетичних технологій

Членство України в Енергетичному співтоваристві (з 2011 р.) вимагає від неї обов'язкового виконання низки європейських директив. По мірі поступового підписання розділів Угоди про асоціацію з ЄС обсяг зобов'язань України, в тому числі в енергетичному секторі, буде й далі збільшуватися.

Одним з головних документів ЄС в секторі відновлюваних джерел енергії є Директива 2009/28/ЕС [1], яку Україна згідно своїх зобов'язань в рамках Енергетичного співтовариства мала імплементувати до 1 січня 2014 року [2]. Важливим положенням цієї Директиви є вимога щодо рівня зниження викидів парникових газів при впровадженні біоенергетичних технологій – не менше 35% у порівнянні з аналогічним використанням викопних палив. При цьому з 1 січня 2017 р. ця мінімальна вимога збільшується до 50%, а з 1 січня 2018 р. – до 60% для установок, уведених до експлуатації з 01.01.2017.

Іншим важливим аспектом можливості й доцільності впровадження технологій виробництва енергії з біомаси є їх енергетична ефективність, що визначається через співставлення обсягу отриманої енергії й енергії, витраченої на створення та забезпечення роботи певної біоенергетичної установки. Наразі якихось обов'язкових до виконання вимог щодо енергетичної ефективності біоенергетичних технологій в ЄС та загалом в світі немає, але деякі рекомендації були розроблені в рамках виконання Завдання 32 Міжнародного енергетичного агентства [3]. Ці рекомендації видаються доцільними для практичного застосування як в Європі, так і в Україні.

Важливість показника енергетичної ефективності полягає в тому, що він дає об'єктивну оцінку певній біоенергетичній технології. Ця оцінка не залежить від поточної політики держави відносно даної технології, що може бути спрямована на стимулювання або стримування розвитку через, наприклад, «зелені» тарифи, субсидії, податкові пільги та інші механізми.

В роботі [3] для оцінки енергоефективності технологій відновлюваної енергетики і порівняння їх між собою запропоновано *коефіцієнт виходу енергії* –  $EYS_{NR}$ . Цей коефіцієнт являє собою відношення величини сукупного виробництва енергії певною установкою (тобто енергії «на виході») до повних витрат первинної *невідновлюваної* енергії, необхідної для створення енергоустановки, забезпечення її роботи протягом всього часу існування й утилізації установки після завершення терміну її експлуатації (*невідновлювана енергія «на вході»*).

Особливістю показника  $EUC_{NR}$  є те, що «на вході» враховуються витрати тільки невідновлюваної енергії, а відновлюване джерело, наприклад, біомаса як енергоносії до загальної суми не входить. Очевидно, що при такому підході  $EUC_{NR}$  для енергоустановок на ВДЕ має бути  $>1$ , а для установок на викопних паливах завжди буде  $<1$ . За рекомендаціями роботи [3], для забезпечення високої енергетичної ефективності коефіцієнт виходу енергії  $EUC_{NR}$  для енергоустановок на ВДЕ має складати як мінімум  $> 2$ , а найбільш рекомендоване значення – **більше 5**.

Треба зазначити, що окрім коефіцієнту виходу енергії  $EUC_{NR}$  в літературі можна знайти й інші показники енергоефективності технологій. По суті всі вони також оперують поняттями енергія «на виході» та енергія «на вході» й відрізняються від  $EUC_{NR}$  тільки способами співставлення цих величин. Автори Аналітичної записки вважають показник  $EUC_{NR}$  найбільш зручним і використовують його в цій записці.

Визначення енергетичної ефективності процесів та розрахунок викидів парникових газів є складовою частиною так званої *оцінки життєвого циклу* технологій [4]. ОЖЦ – це комплексний аналіз впливів на навколишнє середовище від впровадження та використання певної технології. Треба зазначити, що повна оцінка життєвого циклу включає визначення доволі широкого спектру параметрів, але найбільш вагомими є енергетичний баланс і баланс парникових газів. Саме ці показники аналізуються в даній Аналітичній записці.

Цей підхід добре узгоджується з результатами дослідження [5], в якому було детально проаналізовано майже 100 робіт з ОЖЦ біоенергетичних технологій, виконаних протягом останніх 15 років для умов різних частин світу, в тому числі для Європи. В роботах досліджувалися технології виробництва теплової та електричної енергії й біопалив з різних видів біомаси. Більшість робіт присвячена технологіям отримання біоетанола і біодизеля (**Рис. 1**). В дослідженні [5] показано, що половина всіх розглянутих робіт включає лише оцінку енергетичного балансу та/або балансу парникових газів, інша половина містить повний аналіз життєвого циклу біоенергетичних технологій (**Рис. 2**).

### **Енергетичний аналіз**

В цьому розділі зібрано результати доступних досліджень, в тому числі виконаних авторами Аналітичної записки для умов України [6, 7], в яких було проведено енергетичний аналіз технологій виробництва енергії або біопалив з біомаси з використанням коефіцієнту виходу енергії –  $EUC_{NR}$  (**Таблиця 1**). Для інформації в таблиці також наведено величини  $EUC_{NR}$  для деяких установок з використанням викопних палив. Треба зазначити, що порівняння результатів різних авторів можна провести тільки на принциповому рівні, оскільки для зарубіжних даних часто відсутні деталі проведених розрахунків (потужність та ККД установок, відстань перевезення біомаси та ін.).

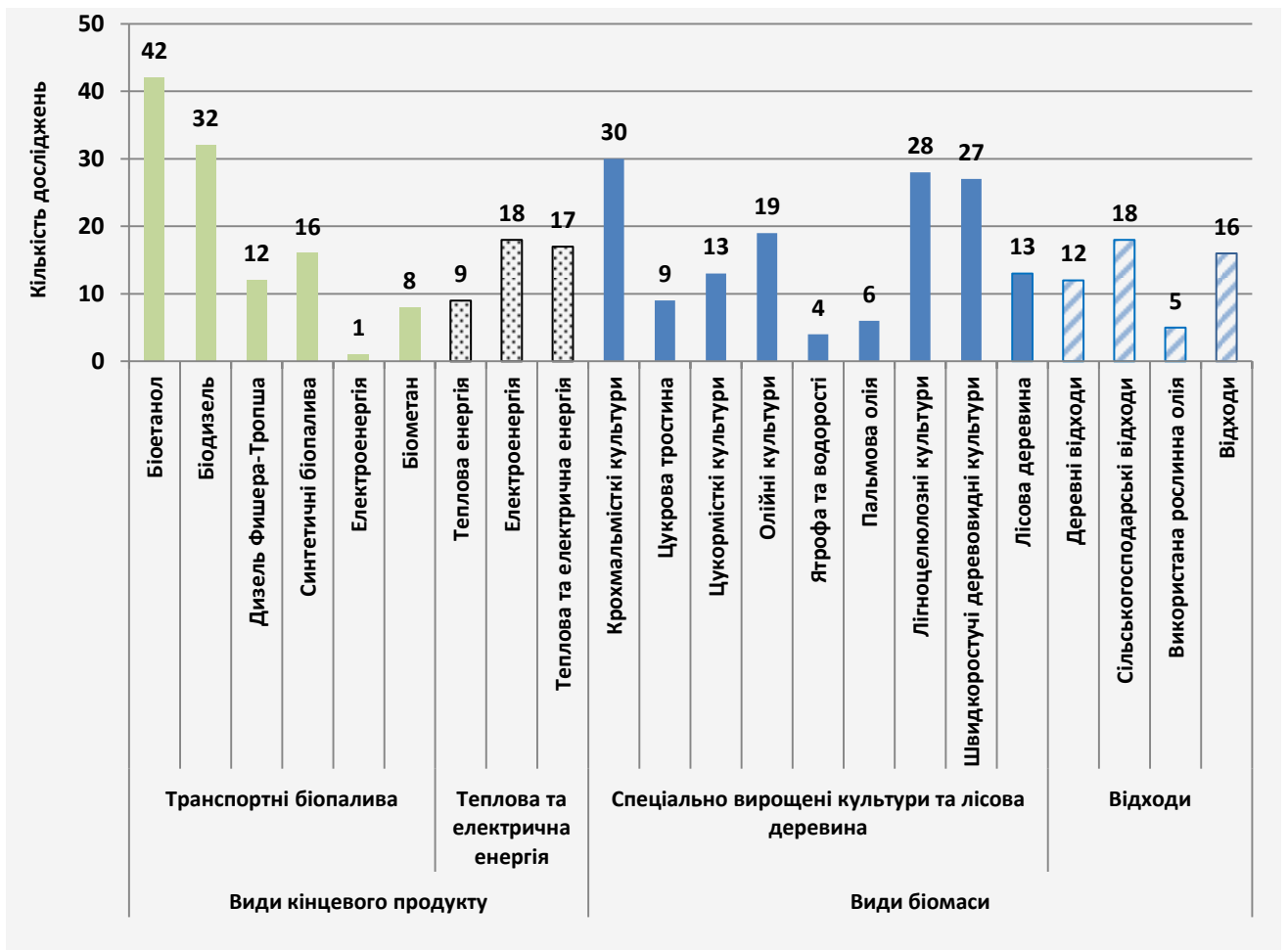


Рис. 1. Розподілення робіт з ОЖЦ за видами біомаси та кінцевого продукту [5]

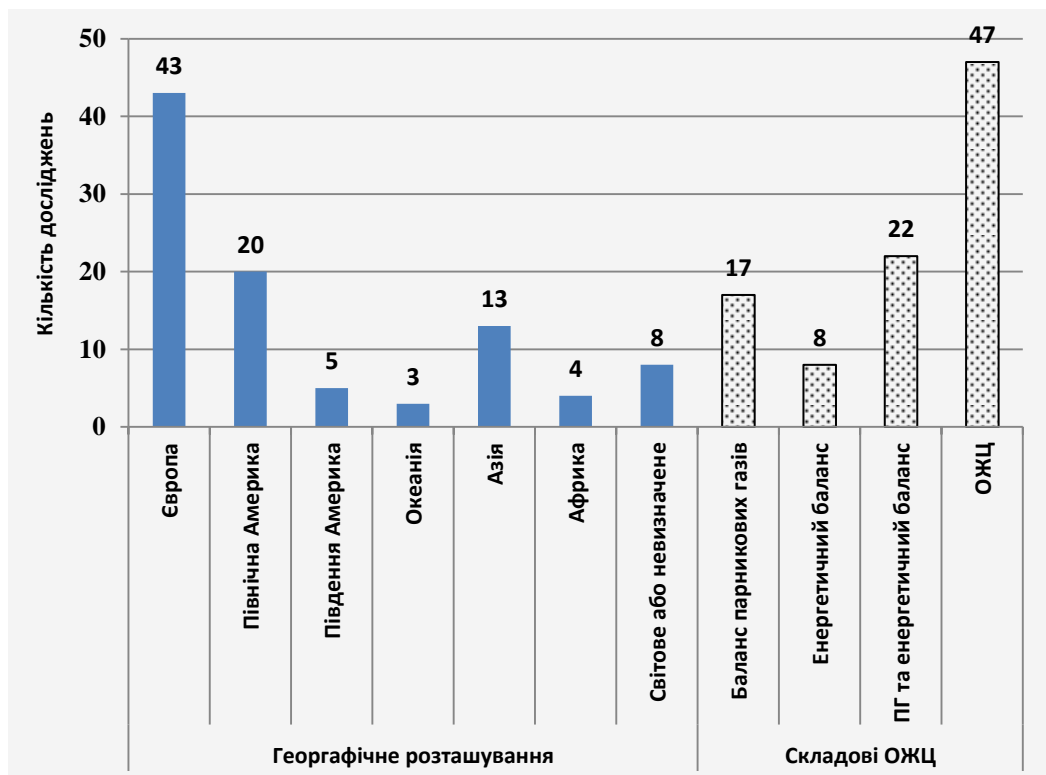


Рис. 2. Розподілення робіт з ОЖЦ за географічним розташуванням та змістом [5]

**Таблиця 1.** Коефіцієнт виходу енергії для різних енергоустановок<sup>1)</sup>

<b>Вид енергоустановки</b>	<b><math>E_{YC_{NR}}</math></b>
<b><i>Установки на деревній біомасі</i></b>	
Котел на дровах [3]	<b>4,2-12,1</b>
Котел на деревних відходах (150 кВт) [16]	<b>8,3</b>
Котел на деревній трісці [3]	<b>4,8-12,1</b>
<i>Котел на деревній трісці (500 кВт) (Україна)<sup>2)</sup></i>	<b>6,8</b>
<i>Котел на трісці з енергетичної верби (300 кВт) (Україна)<sup>2)</sup></i>	<b>6,1</b>
<i>Котел на деревних гранулах (100 кВт) (Україна)<sup>2)</sup></i>	<b>2,4</b>
Невелика система ЦТ на деревині [3]	<b>4,0</b>
Крупна система ЦТ на деревині [3]	<b>4,2</b>
Крупна система ЦТ на деревині з піковим котлом на мазуті [3]	<b>2,2</b>
Котел на деревних гранулах з додатковим сонячним колектором [3]	<b>3,3</b>
Система ЦТ на біомасі з додатковим сонячним колектором [3]	<b>4,0</b>
<i>ТЕЦ на деревній трісці (2 МВт<sub>e</sub>+10 МВт<sub>m</sub>) (Україна)<sup>2)</sup></i>	<b>7,1</b>
<i>ТЕС на деревній трісці (2 МВт<sub>e</sub>) (Україна)<sup>2)</sup></i>	<b>1,7</b>
ТЕС на відходах деревини (30 МВт <sub>e</sub> ) [16]	<b>4</b>
ТЕС (500 МВт <sub>e</sub> ): сумісне спалювання деревних відходів (5% мас.) та вугілля [16]	<b>2,2</b>
<b><i>Установки на соломі (Україна)<sup>2)</sup></i></b>	
<i>Котел на тюках соломи (500 кВт)</i>	<b>8,0</b>
<i>Котел на гранулах з соломи (100 кВт)</i>	<b>3,6</b>
Крупна система ЦТ на соломі з піковим котлом на мазуті (Європа) [3]	<b>1,8</b>
<i>ТЕЦ на тюках соломи (2 МВт<sub>e</sub> + 10 МВт<sub>m</sub>)</i>	<b>5,4</b>
<i>ТЕС на тюках соломи (2 МВт<sub>e</sub>)</i>	<b>1,3</b>
ТЕС на тюках соломи (25 МВт <sub>e</sub> ) (Іспанія) [19]	<b>2,1<sup>4)</sup></b>
<b><i>Біогазові установки</i></b>	
Біогаз з курячого посліду [15]	<b>1,8-1,9</b>
Біогаз з гною [20]	<b>2,6-3,0<sup>3)</sup></b>
Біогаз з енергетичних культур [20]	<b>2,4<sup>3)</sup></b>
Біогаз з силосу кукурудзи [14]	<b>1,8-2,2</b>
Біогаз з жирових осадів [20]	<b>6,2<sup>3)</sup></b>
<b><i>Установки з виробництва моторних біопалив</i></b>	
Біодизель <sup>6)</sup> (PME) та побічні продукти [3]	<b>2,4</b>
Біодизель (PME) та побічні продукти [18]	<b>2,6</b>
Біодизель (PME) [3]	<b>1,5-4,0</b>
Біодизель (PME) [18]	<b>1,9</b>
<i>Біодизель (PME) (Україна) [9]</i>	<b>1,36-1,7<sup>3)</sup></b>
Біодизель з сої (США) [18]	<b>3,21</b>
Біоетанол з цукрового буряку [3]	<b>2,1</b>
Біоетанол з цукрового буряку [8]	<b>1,0-1,59<sup>3)5)</sup></b>
Біоетанол з пшениці [8]	<b>2,23<sup>3)5)</sup></b>
Біоетанол з пшениці [17]	<b>1,93<sup>3)5)</sup></b>

Біоетанол (ЕТБЕ) з пшениці, цукрового буряку [17]	<b>0,9-1,05<sup>3)5)</sup></b>
Біоетанол з пшениці, ячменю, кукурудзи, цукрового буряку (Україна) [9]	<b>0,8-1,1<sup>3)</sup></b>
Біоетанол з кукурудзи (США) [10-12]	<b>0,59-1,25<sup>3)</sup></b>
<b>Інші установки на ВДЕ [3]</b>	
Сонячна система опалення	<b>4,0</b>
<b>Установки з використанням викопних палив [3]</b>	
Конденсаційний котел на легкому дистильованому паливі	<b>0,7-0,76</b>
Котел на легкому дистильованому паливі	<b>0,67-0,72</b>
Система опалення на легкому дистильованому паливі	<b>0,66</b>
Конденсаційний газовий котел	<b>0,74-0,81</b>
Газовий котел	<b>0,7-0,74</b>
Газовий котел з додатковим сонячним колектором	<b>0,85</b>
Крупна система ЦТ на природному газі та геотермальній енергії	<b>1,18</b>
Котел на мазуті з додатковим сонячним колектором	<b>0,75</b>
Тепловий насос з горизонтальним колектором в ґрунті	<b>1,04</b>
Тепловий насос з вертикальним колектором в ґрунті	<b>0,99</b>

1) Для умов Європи, якщо не зазначено інакше.

2) Результати авторів Аналітичної записки (відстань транспортування біомаси – 50 км).

3) Перерахунок авторів Аналітичної записки за даними відповідної роботи.

4) Для випадку врожайності зернових культур порядку 7 сух. т/га. При нижчій врожайності  $EUC_{NR} < 2$ .

5) Метод розподілення енерговитрат – за масою кінцевих продуктів.

6) Тут і далі в таблиці – біодизель з ріпаку, якщо не вказано інакше.

З наведених даних видно, що всі енергетичні установки на твердій біомасі (деревині, соломі), призначені для виробництва теплової енергії та комбінованого виробництва теплової і електричної енергії, мають коефіцієнт виходу енергії  $EUC_{NR} > 2$  (тобто більше мінімально необхідного значення), а деякі з них й  $> 5$ , що відповідає найбільш рекомендованому діапазону. Конкретне значення  $EUC_{NR}$  залежить від поєднання багатьох факторів (вид біомаси/біопалива, потужність й ККД енергоустановки, відстань й засіб транспортування біомаси та ін.). ТЕС на біомасі мають гірші показники –  $EUC_{NR} < 5$  або навіть  $< 2$  в залежності від виду біомаси та інших умов. Це означає, що виробництво тільки електроенергії з біомаси є менш енергоефективним, ніж виробництво теплової енергії або комбіноване виробництва теплової і електричної енергії.

Ситуація з виробництвом біодизеля та біоетанола неоднозначна. За одними даними коефіцієнт виходу енергії для них більше 2, за іншими – суттєво нижче. Видається, що результат суттєво залежить від вихідної сировини, застосованої технології та інших умов. Це питання буде розглянуто детальніше нижче.

Енергетична ефективність роботи біогазових установок суттєво залежить від виду сировини та інших умов. Це питання потребує додаткових досліджень і може бути предметом однієї з наступних аналітичних записок БАУ.



Всі енергоустановки з використанням викопних палив мають коефіцієнт виходу енергії  $<1$  (як і має бути), окрім випадку комбінованого застосування ВДЕ.

### ***Виробництво теплової енергії з біомаси***

Як було показано вище, всі котельні установки, призначені для виробництва теплової енергії з біомаси, мають високу енергетичну ефективність. Тому представляє інтерес порівняння прямого спалювання біомаси з іншими технологіями термохімічної конверсії. Таке дослідження виконано в роботі [13], де проведено співставлення енергетичної ефективності роботи котла на твердій біомаси (у вигляді тріски) та газифікації біомаси з наступним спалюванням отриманого генераторного газу в котлі.

Розглянуто три види біомаси – відходи лісозаготівлі, міскантус та тополя зі швидкоростучої плантації і три види технології газифікації – газифікація в потоці з кисневим дуттям, газифікація у циркулюючому киплячому шарі з кисневим дуттям та газифікація з паровим дуттям у двох реакторах циркулюючого киплячого шару. Додатково біоенергетичні технології порівняно з роботою газового котла. Для всіх досліджених технологій розраховано коефіцієнт виходу енергії  $EY_{CNR}$ .

Результати дослідження показали, що пряме спалювання, газифікація в потоці і газифікація у ЦКШ мають високі, близькі за значенням показники енергетичної ефективності –  $EY_{CNR} = 5,5-8$  (Рис. 3). Для газифікації у двох реакторах ЦКШ коефіцієнт виходу енергії навіть вищий – **9-11**. Якщо ж порівнювати між собою різні види біомаси, то видно, що для всіх технологій найвищий  $EY_{CNR}$  припадає на міскантус, а на другому місці знаходяться лісосічні відходи. Для газового котла (базової системи для порівняння)  $EY_{CNR} = 0,73$ , що повністю співпадає з оцінками, наведеними раніше у **Таблиці 1**.

### ***Виробництво електроенергії з біомаси***

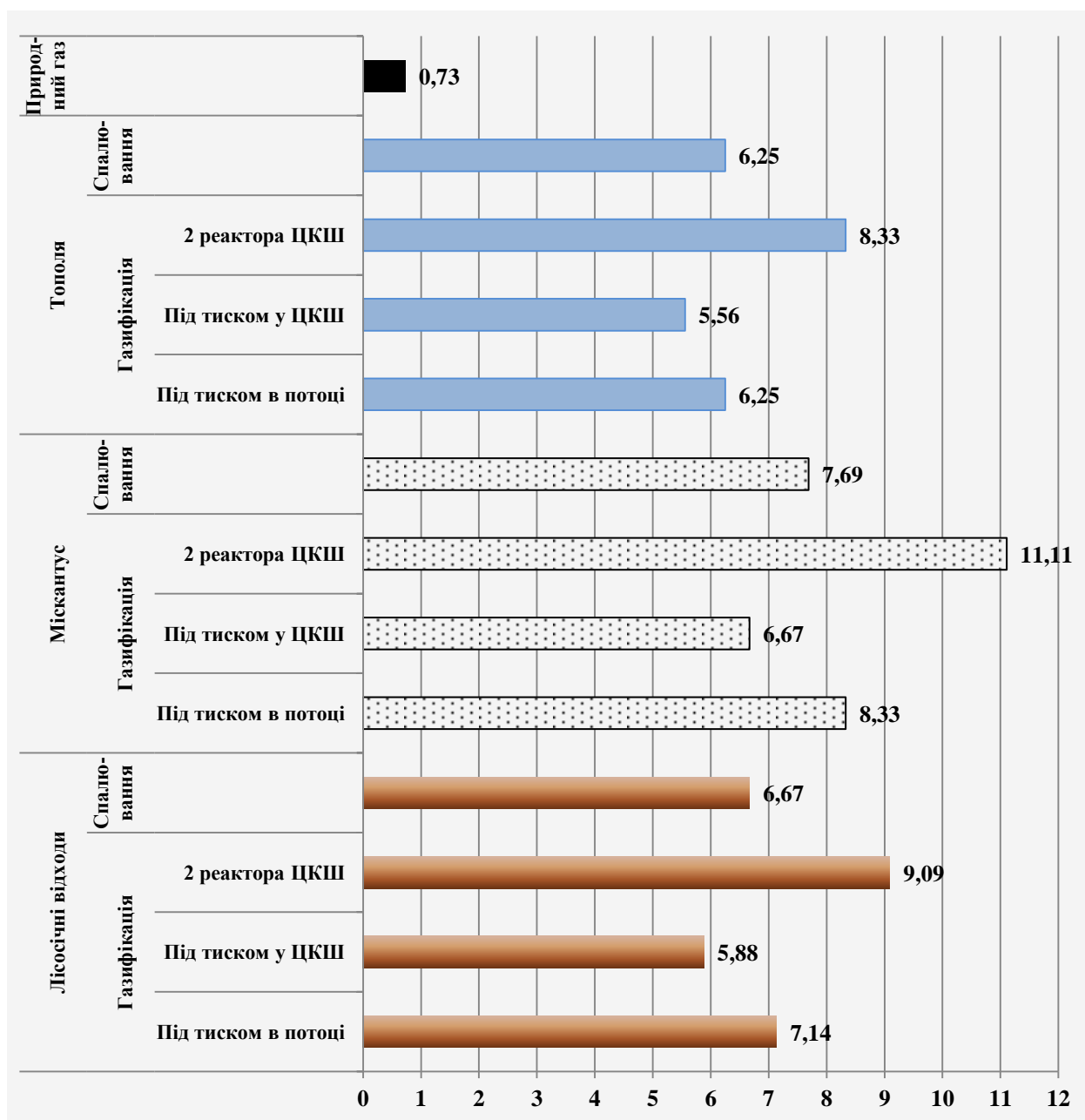
Питання енергетичної ефективності й впливу на баланс парникових газів при виробництві електроенергії з соломи детально досліджено в роботі [19] для умов Іспанії. Розглянуто приклад ТЕС потужністю 25 МВт<sub>е</sub>, паливом для якої є тюкована солома злакових культур (жита, тритикале<sup>1</sup>, вівса). В даному випадку вважається, що ці культури спеціально вирощуються для використання їх соломи як палива.

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. Так, для двох ділянок, досліджених в роботі [19], витрати дизельного пального на скошування рослин коливалися в діапазоні 12,2-18,4 л/га й 11,6-18,6 л/га, а на тюкування – в діапазоні 7,8-10,6 л/га й 9,2-14,9 л/га, відповідно.

---

<sup>1</sup> Тритикале – штучний гібрид жита й пшениці.

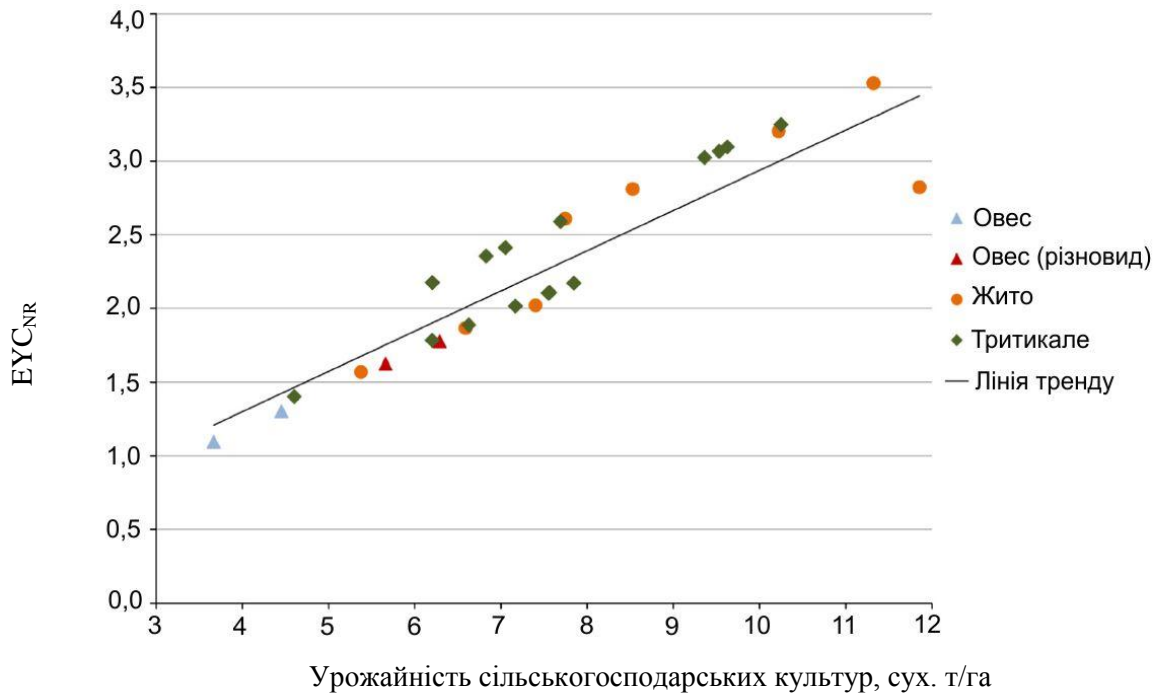
Витрати викопного палива на збір і підготовку біомаси є важливою складовою частиною енергії «на вході» в установку й, відповідно, впливають на розрахунок коефіцієнту виходу енергії  $EY_{CNR}$ . Для технологій виробництва електроенергії з біомаси це є особливо важливим, оскільки, як було показано **Таблиці 1**, їх енергоефективність є порівняно невеликою і необхідно знати фактори, від яких вона залежить найбільшим чином. За даними роботи [19] частка витрат дизельного пального на сільськогосподарські операції в загальному обсязі енергії «на вході» ТЕС становить 25-30%.



**Рис. 3.** Коефіцієнт виходу енергії  $EY_{CNR}$  для технологій прямого спалювання та газифікації біомаси [13]

Авторами дослідження [19] було отримано результат, що в розглянутому діапазоні врожайності сільськогосподарських культур коефіцієнт виходу енергії  $EY_{CNR}$  для ТЕС

25 МВт<sub>е</sub> може коливатися від **1,1** до **3,5**. (Рис. 4). 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 ( $EYC_{NR} > 2$ ), так і енергетично неефективною ( $EYC_{NR} < 2$ ). Межа відповідає врожайності сільськогосподарських культур порядку 7 сух. т/га.



**Рис. 4.** Залежність коефіцієнту виходу енергії для ТЕС 25 МВт<sub>е</sub> на соломі від врожайності використуваних сільськогосподарських культур [19]

### ***Виробництво біогазу***

Оцінку життєвого циклу технологій виробництва біогазу виконано в роботі [14] для умов Німеччини. Розглянуто отримання біогазу з силосу кукурудзи з подальшим виробництвом електричної енергії двигуном потужністю 255 кВт<sub>е</sub>. Для трьох районів Нижньої Саксонії проаналізовано вплив місцевих умов, в першу чергу якості ґрунту, кліматичних умов, застосованої технології вирощування і, відповідно, врожайності кукурудзи на енергетичні та екологічні показники біогазових технологій. Іншим важливим фактором, який впливав на результати дослідження, була частка корисно утилізованої теплової енергії, яка вважалася побічним продуктом роботи БГУ.

Проведені розрахунки показали, що енергетична ефективність досліджених технологій виробництва біогазу з наступним отриманням електроенергії знаходиться на межі допустимих значень. Величина коефіцієнту виходу енергії  $EYC_{NR}$  для всіх розглянутих варіантів коливалася близько **2** (найменше рекомендоване значення для біоенергетичних технологій) (Табл. 2). Найвищий показник (**2,2**) отримано для біогазової

установки в Göttingen, де витрати невідновлюваної енергії на вирощування кукурудзи є найменшими, а відсоток корисної утилізації теплової енергії найбільшим.

Для БГУ, що працюють на кукурудзі, встановлено, що із загального обсягу викопної енергії "на вході" найбільша частка (до 70%) витрачається власне на вирощування кукурудзи. Ще частина викопної енергії (до 30%) витрачається на транспортування біомаси до місця зберігання (силосні кагати) та завантаження в біореактор (прийнята в дослідженні середня відстань перевезення – 20 км). Власні потреби біогазових установок в енергії (електрична енергія для приводу мішалок, насосів, тощо, а також тепла – для обігріву біореакторів) зазвичай в повній мірі забезпечуються за рахунок частини енергії виробленого біогазу (до 15-25%). Ця інформація може бути корисною при оптимізації енерговитрат «на вході» БГУ для забезпечення більш високого коефіцієнту виходу енергії.

**Таблиця 2.** Характеристики досліджених варіантів виробництва електроенергії з біогазу [14]

Показники	Варіант I (район Göttingen)	Варіант II (район Celle)	Варіант III (район Hildesheim)
Витрата викопних палив на вирощування кукурудзи, кг у.п./т силосу*	5,8	8,2	6,2
Споживання е/е на власні потреби БГУ, % виробленої е/е	7%	7%	7%
Споживання теплової енергії на власні потреби БГУ, кВт·год/м <sup>3</sup> біогазу	0,256	0,256	0,256
Частка корисно утилізованої теплової енергії	60%	30%	40%
<b><math>EUC_{NR}</math>*</b>	<b>2,2</b>	<b>1,84</b>	<b>2,1</b>

\* Перерахунок авторів Аналітичної записки за даними роботи [14].

Можна очікувати, що для біогазових установок  $EUC_{NR}$  буде вище 2 для випадків використання в якості сировини великої частки відходів сільського господарства або інших видів відходів. Цей висновок підтверджується даними дослідження [20], де було розглянуто енергетичну ефективність БГУ, що працюють на різних видах сировини для умов Швеції. Найкращий результат ( $EUC_{NR} = 6,2$ ) отримано для випадку отримання біогазу з жирних осадів (Таблиця 3). Цьому виду сировини відповідає найвищий питомий вихід біогазу – 22 ГДж/сух. т й нульові витрати на підготовку біомаси. Самий

низький коефіцієнт виходу енергії (2,4) припадає на енергетичні культури як сировину для виробництва біогазу. Цей варіант має найвищі витрати енергії на підготовку сировини, оскільки включає етап вирощування культур, й середній вихід біогазу – 10,6 ГДж/сух. т.

**Таблиця 3.** Характеристики біогазових установок, що працюють на різних видах сировини [20]

Вид сировини	Вміст сухої речовини, %	Вихід БГ ГДж/сух.т	Витрати енергії «на вході», ГДж/сух. т			ЕУС <sub>NR</sub> *
			Підготовка сировини	Транспортування сировини (15 км)	Доставка збродженого залишку на поля	
Коров'ячий гній	8	6,2	0	0,19	0,15	<b>2,6</b>
Свинячий гній	8	7	0	0,19	0,15	<b>3,0</b>
Жирові осадки	4	22	0	1,2	0,24	<b>6,2</b>
Енергетичні культури	23	10,6	1,9	0,07	0,24	<b>2,4</b>
Органічна частина ТПВ	30	12,4	0,8	0,24	0,24	<b>3,6</b>
Відходи скотобійні	17	9,4	0	0,14	0,24	<b>3,6</b>
Бадилля цукрового буряку	19	10,6	0,54	0,09	0,24	<b>3,5</b>
Солома	82	7,1	0,28	0,05	0,24	<b>2,7</b>

\* Перерахунок авторів Аналітичної записки за даними роботи [20] для базового методу оцінки енергетичних витрат «на вході».

### **Виробництво біоетанолу і біодизелю**

Зазвичай багато суперечок викликає питання доцільності виробництва біопалив першого покоління, зокрема біоетанолу. Існує думка, що витрати енергії на виробництво біоетанолу перевищують енергетичний вміст отриманого біопалива. Розглянемо кілька вагомих досліджень, присвячених цьому питанню.

В роботі [8] оцінено енергетичну ефективність різних технологій виробництва біоетанолу (для умов Франції). Проаналізовано три випадки: I – виробництво біоетанолу з цукрового буряку з побічним продуктом – бардою<sup>2</sup>, II – виробництво біоетанолу з цукрового буряку з цукром як «побічним» продуктом<sup>3</sup>, III – виробництво біоетанолу з

<sup>2</sup> Рідина (суспензія) світло-коричневого кольору із запахом зерна або іншої сировини.

<sup>3</sup> Оскільки предметом дослідження є біоетанол, то він умовно розглядається як основний продукт, а цукор – як побічний.

зерна пшениці з побічним продуктом – сухою дробиною<sup>4</sup> з розчинними речовинами. Для кожного випадку було розглянуто кілька варіантів розподілення витраченої енергії (тобто енергії «на вході») між основним та побічними продуктами виробництва: по їх масі, по вмісту енергії, по ринковій вартості, по енергії, необхідній для виробництва замітника побічного продукту (енергія «заміщення»). На сьогодні не існує єдиної думки фахівців відносно того, який метод розподілення енерговитрат є найкращим. Але частіше за все застосовують метод розподілення за масою кінцевих продуктів.

Результати розрахунку показують, що коефіцієнт виходу енергії  $EUC_{NR}$  суттєво відрізняється для різних технологій отримання біоетанолу і залежить також від способу розподілення «вхідних» енерговитрат по кінцевим продуктам (Таблиця 4).

**Таблиця 4.** Енергетична ефективність технологій виробництва біоетанолу [8]

Метод розподілення енерговитрат по кінцевим продуктам	Біоетанол з цукрового буряку**			Біоетанол з пшениці
	Варіант I	Варіант 50% I / 50% II	Варіант II	Варіант III
	$EUC_{NR}$	$EUC_{NR}$	$EUC_{NR}$	$EUC_{NR}$
Без розподілення – все віднесено на біоетанол	1,42	0,54	0,33	0,83
<b>По масі*</b>	<b>1,59</b>	<b>1,28</b>	<b>1,02</b>	<b>2,23</b>
По вмісту енергії	1,51	1,13	0,89	1,52
По ринковій вартості	1,47	1,22	0,98	1,77
По енергії, необхідній для виробництва замітника побічного продукту	1,48	1,12	0,88	0,96

\* Найбільш розповсюджений метод розподілення.

\*\* Варіанти виробництва біоетанолу: I – з цукрового буряку з бардою як побічним продуктом, II – з цукрового буряку з цукром як «побічним» продуктом, III – з зерна пшениці з сухою дробиною з розчинними речовинами як побічним продуктом.

При виробництві біопалива з цукрового буряку для всіх розглянутих варіантів  $EUC_{NR} < 2$ , а при методах розподілення енерговитрат не по масі кінцевих продуктів – навіть  $< 1$ . Це свідчить про дуже низьку енергетичну ефективність отримання біоетанолу або взагалі про її відсутність. Єдиний позитивний результат дає варіант виробництва біопалива з пшениці з розподіленням «вхідних» енерговитрат по масі кінцевих продуктів – біоетанолу та сухої дробини. В цьому випадку коефіцієнт виходу енергії  $EUC_{NR} > 2^5$ , що задовольняє мінімальним вимогам по енергетичній ефективності біоенергетичних технологій.

Представляє значний інтерес дослідження [9], в якому проведено детальний аналіз повної енергоемності виробництва біоетанолу та біодизеля за існуючими технологіями

<sup>4</sup> Дробина складається з оболонки та інших частинок зерна після відокремлення від них суслу.

<sup>5</sup> У пізнішій роботі цих же авторів [17] для даного варіанту  $EUC_{NR} = 1,93$ . Це пов'язано з тим, що раніше автори відносили на біоетанол 37% загальних енерговитрат «на вході», а потім підвищили цей показник до 42,7%. Це є додатковим свідченням того, що виробництво біоетанолу першого покоління знаходиться «на межі» енергетичної ефективності.

для умов України. Розглянуто варіанти отримання біоетанолу з озимої пшениці, ярого ячміню та цукрового буряку. Результати оцінки показують, що при використанні технології вакуумної ректифікації енерговитрати на виробництво біоетанолу з усіх розглянутих видів сировини практично дорівнюють енерговмісту отриманого біопалива ( $EUC_{NR} \approx 1$ ) (Табл. 5). При використанні ж технології атмосферної ректифікації витрати енергії на виробництво біоетанолу перевищують його енерговміст ( $EUC_{NR} < 1$ ).

**Таблиця 5.** Енергетичні показники технологій виробництва біоетанолу [9]

Сировина	Повні енерговитрати*, МДж/л		Коефіцієнт виходу енергії $EUC_{NR}$ **	
	Атмосферна ректифікація $CED 1$	Вакуумна ректифікація $CED 2$	Атмосферна ректифікація $Q_{BE} / CED 1$	Вакуумна ректифікація $Q_{BE} / CED 2$
Озима пшениця	28,58	22,88	0,8	1,0
Ярий ячмінь	25,58	19,88	0,9	1,1
Кукурудза	27,39	21,69	0,8	1,0
Цукровий буряк	29,7	24,3	0,8	0,9

\* Враховано всі технологічні (фізичні) витрати. Не враховано енерговитрати, пов'язані з працюючими людьми, амортизацією обладнання і т.п.

\*\* Тут і далі  $EUC_{NR}$  розраховано авторами Аналітичної записки за даними роботи [9]. Теплотворна здатність біоетанолу  $Q_{BE} = 22,5$  МДж/л.

В роботі також наведено дані про те, що в США повні енергетичні витрати на виробництво біоетанолу складають від 18 МДж/л до 38,2 МДж/л. З урахуванням цих показників коефіцієнт виходу енергії  $EUC_{NR}$  становить **0,59-1,25**, тобто є неприпустимо низьким.

Таким чином, автори [9] роблять висновок, що даний напрям отримання біопалив не можна вважати енергетично доцільним. Він може мати лише локальне значення у випадку, коли сировина для виробництва біоетанолу є відходом, що підлягає утилізації або знищенню. Або іншими словами, коли витрати енергії на транспортування та підготовку сировини є незначними і не перевищують 4-5 МДж/л.

Щодо біодизельного пального, в дослідженні [9] розглядається випадок його виробництва з ріпакової олії шляхом переестерифікації олії метиловим спиртом. Оцінено, що повна енергоємність виробництва біопалива складає 23,5-29,3 МДж/кг. Виходячи з енерговмісту біодизелю 40 МДж/кг, ці показники відповідають коефіцієнту виходу енергії  $EUC_{NR} = 1,36-1,70$ , що значно нижче мінімальних значень, рекомендованих у розглянутій вище роботі [3] ( $EUC_{NR} > 2$ ). Автори [9] зазначають, що з урахуванням енергетичного еквіваленту факторів, спричинених фізичною працею людей, амортизацією обладнання та споруд, фінансовими та іншими витратами, повна енергоємність виробництва біодизелю з ріпакової олії становитиме 40-50 МДж/кг ( $EUC_{NR} = 0,8-1,0$ ). Це означає, що виробництво біодизеля також є недоцільним з енергетичної точки зору.

## Екологічний аналіз

Зниження викидів парникових газів є одним з найбільш вагомих показників при оцінці впливу біоенергетичних технологій на оточуюче середовище. І хоча біомаса вважається CO<sub>2</sub>-нейтральним паливом, при операціях її заготівлі, складування, транспортування, попередньої обробки та використання відбувається споживання енергії викопного палива, що в свою чергу приводить до викидів парникових газів. Основними парниковими газами, викиди яких мають місце при роботі енергетичних систем є діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>) та закис азоту (N<sub>2</sub>O). Величина викидів всіх парникових газів приводиться до еквівалентної величини викидів CO<sub>2</sub> через відповідні коефіцієнти.

Нижче розглянемо, яким є скорочення викидів парникових газів для різних біоенергетичних технологій у порівнянні з установками на викопних паливах і чи відповідає воно вимогам Директиви 2009/28/ЕС [1]. Нагадаємо, що згідно цієї Директиви, зниження викидів парникових газів при впровадженні технологій відновлюваної енергетики має бути не менше **35%** у порівнянні з аналогічним використанням викопних палив. З 01.01.2017 мінімальна вимога збільшується до **50%**, а з 01.01.2018 – до **60%** для установок, уведених до експлуатації з 01.01.2017.

В **Таблиці 6** представлено результати дослідження [16], проведеного в рамках Завдання 38 Міжнародного Енергетичного Агентства, власні результати авторів Аналітичної записки та дані щодо типових викидів парникових газів при виробництві рідких біопалив згідно Директиви 2009/28/ЕС. З даних таблиці видно, що всі установки на твердій біомасі та більшість установок на біогазі відповідають поточним та майбутнім вимогам Директиви 2009/28/ЕС – скорочення викидів парникових газів, обумовлене їх роботою, становить **> 60%**.

Щодо рідких моторних біопалив, то більшість показників біодизеля й біоетанола першого покоління задовольняють поточним вимогам Директиви 2009/28/ЕС, деякі задовольняють вимозі, що вступить в силу з 2017 року (мін. 50%), і практично всі показники виходять за межі вимоги, що буде застосовуватися з 2018 року (мін. 60%). Для біопалив другого покоління результати набагато кращі – скорочення емісії парникових газів становить **80-95%**. Також гарні показники має біогаз як моторне паливо – **більше 80%**.

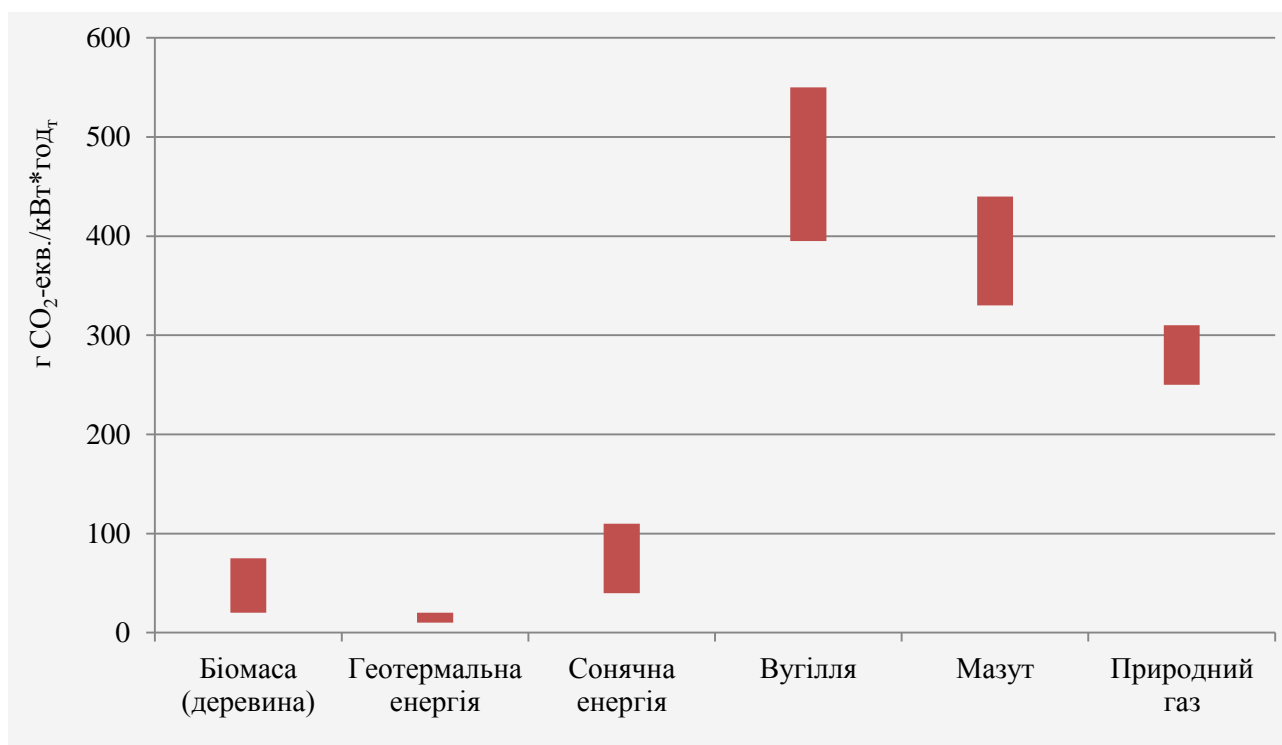
Ці результати добре узгоджуються з даними інших авторів, зібраними та представленими в дослідженні [16] (**Рис. 5-8**). При виробництві енергії з біомаси зниження викидів парникових газів складає **70-90%** у порівнянні із енергоустановками на викопних паливах. При застосуванні моторних біопалив першого покоління скорочення емісії ПГ є невеликим. Найкращі показники мають біоетанол та біодизель другого покоління – для них зменшення викидів ПГ може сягати більше **90%**. Достатньо гарний показник відповідає також випадку застосування біогазу як моторного палива – в середньому близько **65%**.



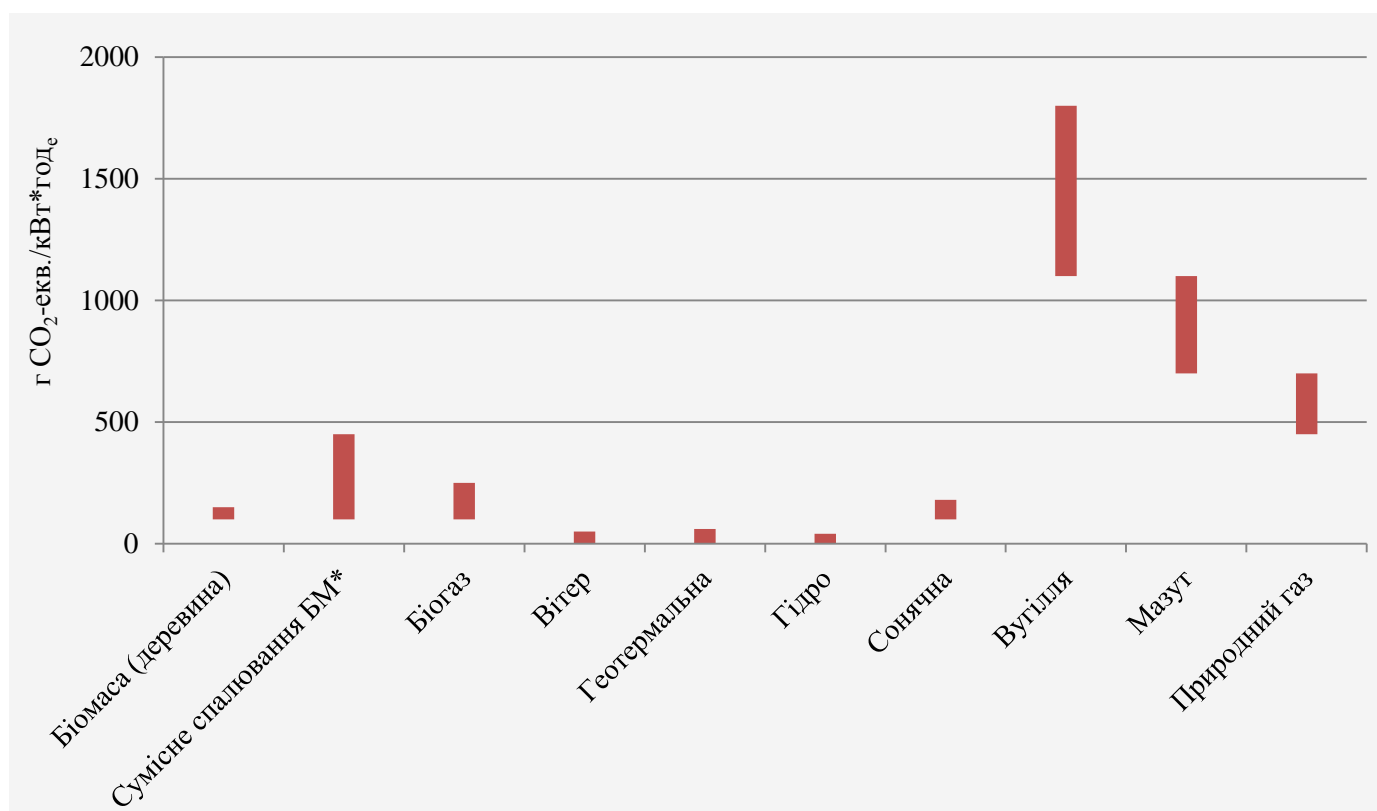
**Таблиця 6.** Питомі викиди парникових газів для різних технологій виробництва енергії із біомаси

Види технологій	Питомі викиди ПГ		Скорочення викидів ПГ	
	г CO <sub>2-екв</sub> /кВт·год <sub>т</sub>	г CO <sub>2-екв</sub> /кВт·год <sub>т</sub>	г CO <sub>2-екв</sub> /кВт·год <sub>т</sub>	%
<b>Виробництво теплової енергії</b>				
Котел на відходах деревини (150 кВт <sub>т</sub> ) [16]	52	327		<b>86%</b> <sup>1)</sup>
Котел на міскантусі (70 кВт <sub>т</sub> ) [16]	101	295		<b>75%</b> <sup>1)</sup>
Котел на деревній трісці (500 кВт) <sup>4)</sup>	39	185		<b>83%</b>
Котел на деревній трісці з енергетичної верби (300 кВт) <sup>4)</sup>	39	185		<b>83%</b>
Котел на тюках соломи (500 кВт) <sup>4)</sup>	14	211		<b>94%</b>
Котел на гранулах з деревини (100 кВт) <sup>4)</sup>	33	194		<b>85%</b>
Котел на гранулах з соломи (100 кВт) <sup>4)</sup>	60	165		<b>72%</b>
<b>Виробництво електричної енергії</b>				
ТЕС на деревній трісці (2 МВт <sub>е</sub> ) <sup>4)</sup>	213	909		<b>81%</b>
ТЕС на тюках соломи (2 МВт <sub>е</sub> ) <sup>4)</sup>	217	905		<b>80%</b>
ТЕС на тюках соломи (25 МВт <sub>е</sub> ) [19] <sup>9)</sup>	178 <sup>10)</sup>	нема даних		<b>65%</b>
ТЕС на відходах деревини (30 МВт <sub>е</sub> ) [16]	71	950		<b>93%</b> <sup>2)</sup>
ТЕС 500 МВт <sub>е</sub> : сумісне спалювання відходів деревини з вугіллям [16]	128	881		<b>87%</b> <sup>2)</sup>
<b>Сумісне виробництво теплової та електричної енергії</b>				
БГУ зі сумісним зброджуванням гною та силосу кукурудзи (річне виробництво е/е 4 ГВт·год, теплової енергії 7,2 ГВт·год) [16]	266	207		<b>56%</b> <sup>3)</sup>
ТЕЦ на деревній трісці (2 МВт <sub>е</sub> +10 МВт <sub>т</sub> ) <sup>4)</sup>	35	152		<b>81%</b>
ТЕЦ на тюках соломи (2 МВт <sub>е</sub> +10 МВт <sub>т</sub> ) <sup>4)</sup>	37	150		<b>80%</b>
<b>Моторні біопалива [1]<sup>5)</sup></b>				
Біогаз з гною <sup>8)</sup>	12-13			<b>84-86%</b>
Біогаз з полігонів ТПВ <sup>8)</sup>	17			<b>80%</b>
<b>Біопалива I покоління</b>				
Біоетанол з цукрового буряку	33			<b>61%</b>
Біоетанол з пшениці	57			<b>32%</b>
Біоетанол з кукурудзи	37			<b>56%</b>
Біодизель з ріпаку	46			<b>45%</b>
Біодизель з ріпаку [16]	111 г CO <sub>2-екв</sub> /км	80 г CO <sub>2-екв</sub> /км		<b>58%</b> <sup>6)</sup>
	157 г CO <sub>2-екв</sub> /км	34 г CO <sub>2-екв</sub> /км		<b>18%</b> <sup>7)</sup>
Біодизель з соняшнику	35			<b>58%</b>
Біодизель з сої	50			<b>40%</b>
<b>Біопалива II покоління</b>				
Біоетанол з соломи пшениці	11			<b>87%</b>
Біоетанол з деревних відходів	17			<b>80%</b>
Біодизель ФТ	4-6			<b>93-95%</b>

1) В порівнянні з мазутним котлом. 2) В порівнянні з вугільною електростанцією. 3) В порівнянні з газовою ТЕЦ. 4) Результати авторів Аналітичної записки для умов України (відстань транспортування біомаси – 50 км). Порівняння з випадком спалювання природного газу. 5) Типові значення згідно Додатку 5 Директиви 2009/28/ЕС [1]. 6) Побічний продукт гліцерин використовується як матеріал у харчовій або фармацевтичній промисловості. 7) Побічний продукт гліцерин використовується як паливо. 8) У вигляді стисненого метану. 9) Дані для випадку врожайності зернових культур порядку 7 сух. т/га. Порівняння з випадком спалювання природного газу. 10) Перерахунок авторів Аналітичної записки за даними відповідної роботи.

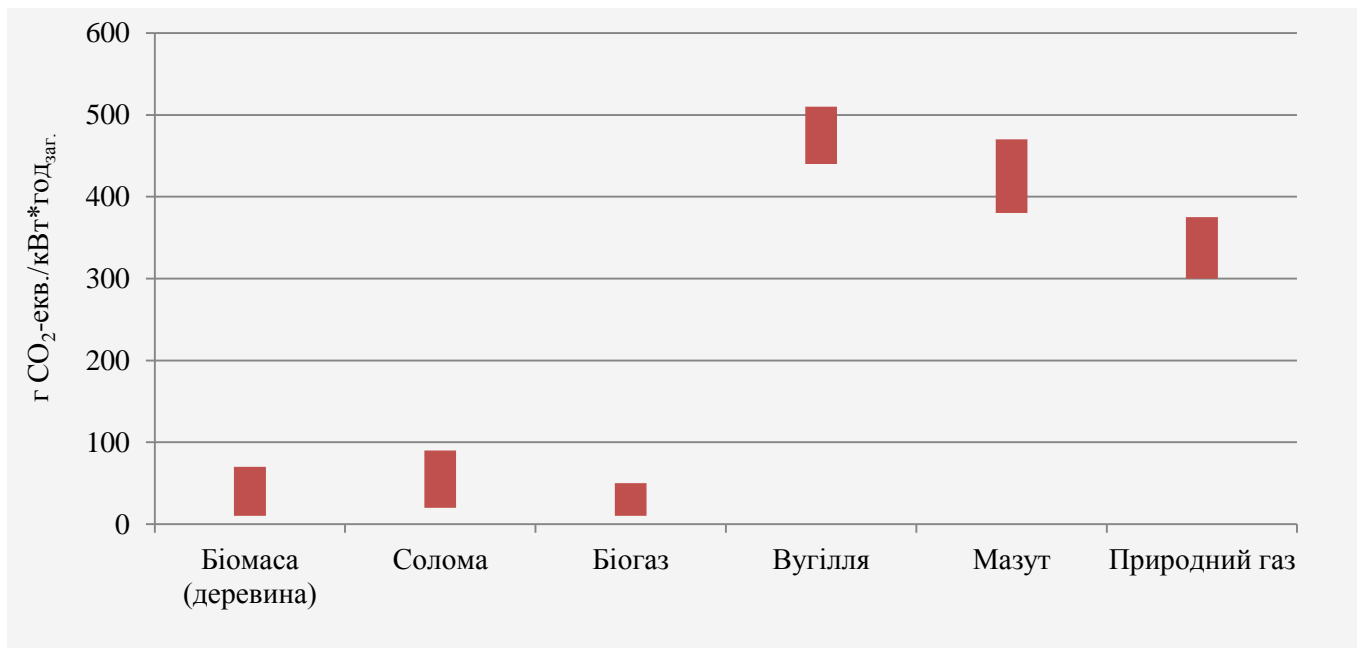


**Рис. 5.** Питомі викиди парникових газів при виробництві теплової енергії [16]

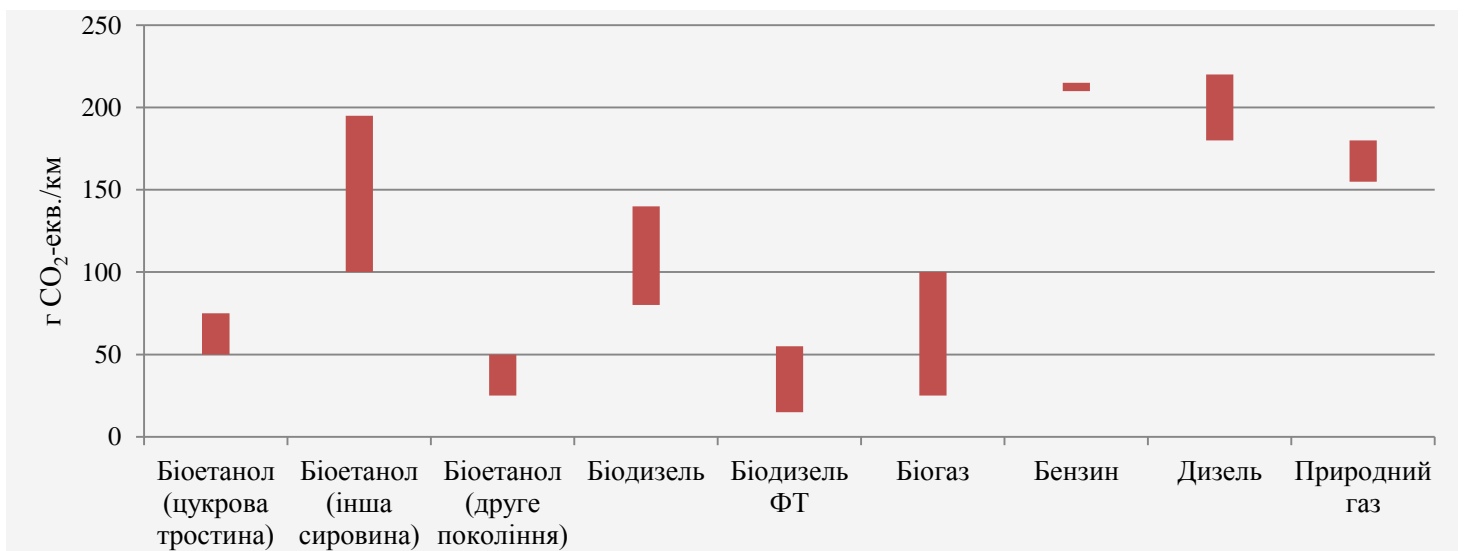


\* 5-15% по енергії

**Рис. 6.** Питомі викиди парникових газів при виробництві електроенергії [16]



**Рис. 7.** Питомі викиди парникових газів при комбінованому виробництві теплової та електричної енергії [16]



**Рис. 8.** Питомі викиди парникових газів при використанні моторних палив [16]

### **Вплив відстані транспортування на енергетичні та екологічні показники біоенергетичних технологій**

Як було зазначено раніше, одним з параметрів, що суттєво впливають на енергетичну ефективність впровадження біоенергетичних технологій, є відстань транспортування біомаси до місця її обробки, кінцевого споживання тощо. Зазвичай вважається, що біомасу (окрім біомаси у вигляді гранул/брикетів) доцільно перевозити на відстань до 50-100 км (тут і далі мова іде про автотранспорт), але конкретні літературні дані по цьому питанню є дуже обмеженими.

Згідно даних роботи [3], для збереження енергетичної ефективності біоенергетичної установки на мінімально необхідному рівні ( $EUC_{NR} > 2$ ) деревну тріску можна перевозити на відстань до 200-300 км, а деревні гранули практично не мають обмеження по відстані транспортування. Якщо ж енергоустановка на гранулах має відповідати критерію високої енергетичної ефективності ( $EUC_{NR} > 5$ ), то відстань перевезення обмежується радіусом порядку 1200 км.

Для отримання більш детальної інформації автори Аналітичної записки дослідили вплив відстані транспортування біомаси/біопалив на коефіцієнт виходу енергії  $EUC_{NR}$  для умов України. Результати розрахунків для типових установок показали, що тюковану солому, деревну тріску та гранули з біомаси можна перевозити на відстань до 300 км із збереженням достатньо високого коефіцієнту виходу енергії ( $EUC_{NR} > 2$ ) (Рис. 9).

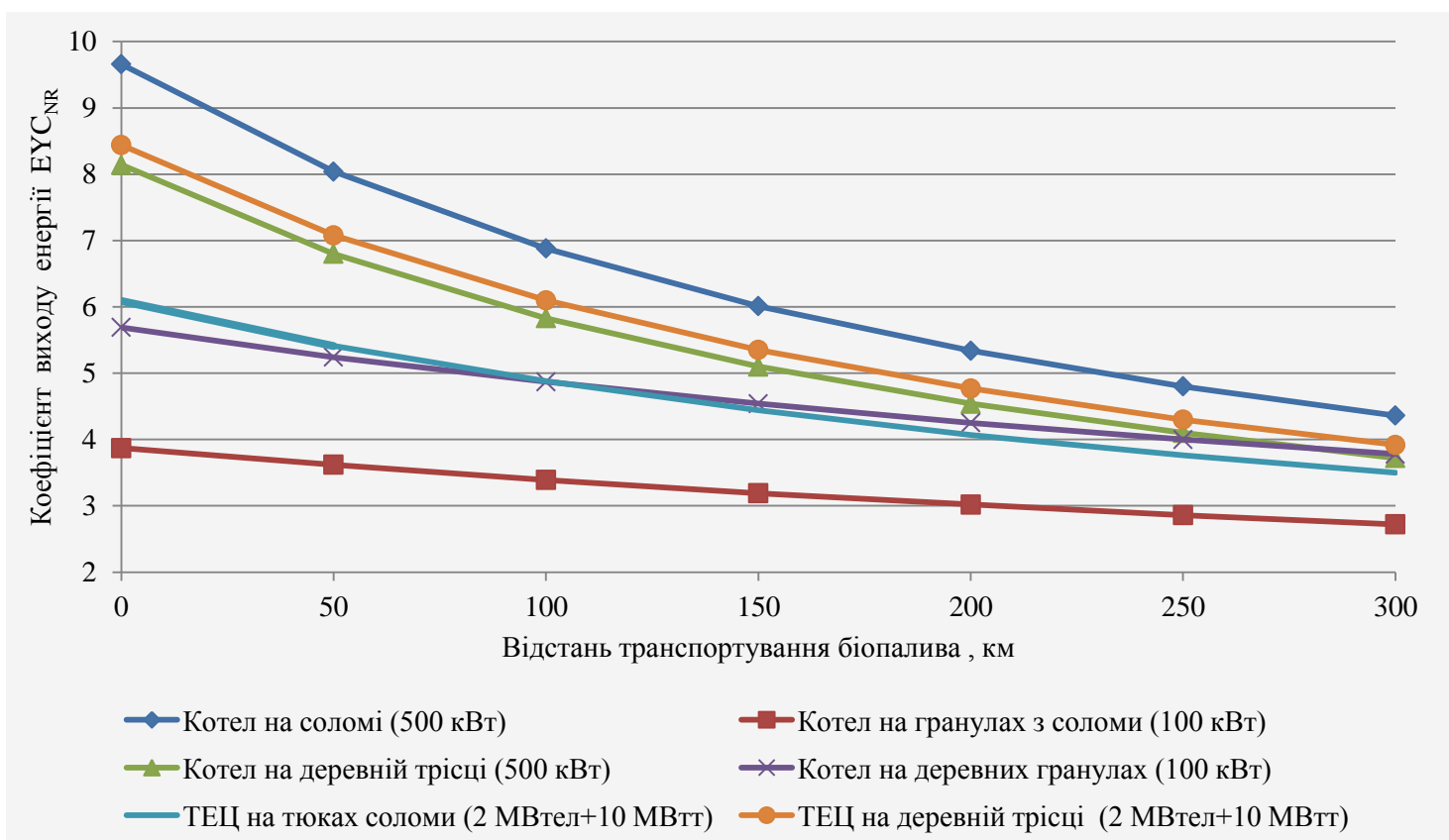


Рис. 9. Залежність коефіцієнту виходу енергії від відстані транспортування біопалива

Граничні значення відстані перевезення, що відповідають  $EUC_{NR} = 1$ ,  $EUC_{NR} = 2$  й  $EUC_{NR} = 5$ , представлені в Таблиці 7. Якщо коефіцієнт виходу енергії дорівнює 1, це означає, що витрати (невідновлюваної) енергії, необхідні для створення і забезпечення роботи біоенергетичної установки, еквівалентні енергії, отриманій «на виході».  $EUC_{NR} = 2$  відповідає мінімально допустимій енергетичній ефективності роботи установки, а  $EUC_{NR} = 5$  і більше відповідає найбільш рекомендованим значенням (згідно даних роботи [3]).

**Таблиця 7.** Максимально доцільна відстань транспортування біопалив автотранспортом.

Тип енергетичної установки	Гранична відстань транспортування, км		
	<i><math>EYC_{NR} = 1</math></i> енергія «на вході» дорівнює енергії «на виході»	<i><math>EYC_{NR} = 2</math></i> мінімально допустиме значення	<i><math>EYC_{NR} = 5</math></i> рекомендоване значення
Котел на деревній трісці (500 кВт)	1800	800	170
Котел на деревній трісці з енергетичної верби (300 кВт)	2100	900	120
Котел на гранулах з деревини (100 кВт)	2800	1100	80
ТЕЦ на деревній трісці (2 МВт <sub>ел</sub> +10 МВт <sub>т</sub> )	1900	850	170
ТЕС на деревній трісці (2 МВт <sub>ел</sub> )	250	0	-*
Котел на соломі (500 кВт)	1800	800	200
Котел на гранулах з соломи (100 кВт)	1800	500	-*
ТЕЦ на тюках соломи (2 МВт <sub>е</sub> +10 МВт <sub>т</sub> )	1500	800	80
ТЕС на тюках соломи (2 МВт <sub>е</sub> )	150	***	-*

\* Навіть при нульовій відстані перевезення біопалива  $EYC_{NR} < 5$ .

\*\* Навіть при нульовій відстані перевезення біопалива  $EYC_{NR} < 2$ .

В таблиці представлено лише кілька типових прикладів (у авторів наявні результати розрахунків для різних потужностей установок), але вони наглядно відображають загальну картину. Для варіанту роботи біоенергетичної установки (окрім ТЕС) на рівні енергоефективності не нижче мінімально рекомендованого ( $EYC_{NR} > 2$ ) відстань перевезення біопалив може бути доволі великою – **500-1000** км в залежності від виду біопалива й типу установки. Якщо ж необхідно забезпечити більш високий рівень енергоефективності ( $EYC_{NR} > 5$ ), то відстань транспортування треба обмежити до **100-200** км, а в деяких випадках – і до мінімального значення.

Треба зазначити, що зроблені висновки носять загальний характер, а в кожному конкретному випадку необхідно виконувати детальні розрахунки з ретельним урахуванням місцевих особливостей.

## Висновки

Впровадження технологій виробництва енергії з біомаси пропонує широкі можливості для заміщення викопних палив. Визначення доцільності та пріоритетності впровадження певних технологій в конкретних умовах може ґрунтуватися на результатах розрахунку енергетичного балансу й балансу парникових газів – основних елементів оцінки життєвого циклу технологій.

Аналіз літературних даних і власних результатів свідчить про високу енергетичну ефективність технологій виробництва теплової енергії з твердої біомаси. Для всіх розглянутих котельних установок коефіцієнт виходу енергії  $EY_{CNR} > 2$  (тобто більше мінімально допустимого значення), а більшість з них має  $EY_{CNR} > 5$ , що відповідає найбільш рекомендованому діапазону. ТЕЦ на твердій біомасі також мають високі енергетичні показники – для всіх розглянутих випадків  $EY_{CNR} > 5$ . Виробництво окремо електроенергії з твердої біомаси має помітно нижчу енергетичну ефективність у порівнянні з комбінованим виробництвом теплової та електричної енергії. Для більшості розглянутих ТЕС величина коефіцієнту виходу енергії складає **менше або близько 2** в залежності від виду біомаси та інших умов.

Енергетична ефективність роботи біогазових установок суттєво залежить від виду сировини, застосованої технології та інших умов. Згідно літературних даних, для БГУ коефіцієнт виходу енергії може коливатися від **1,8** до **> 6**.

Ситуація з виробництвом моторних біопалив (біодизеля та біоетанола) неоднозначна. За більшістю наявних даних коефіцієнт виходу енергії для них суттєво **нижче 2**, тоді як деякі автори показують  $EY_{CNR} > 2$ . Видається, що позитивного з енергетичної точки зору результату можна досягти лише в окремих випадках за певних умов, наприклад, при використанні сировини у вигляді відходу, що підлягає утилізації.

Відносно екологічної ефективності біоенергетичних технологій можна зазначити, що всі установки на твердій біомасі та більшість установок на біогазі відповідають поточним та майбутнім вимогам Директиви 2009/28/ЕС – скорочення викидів парникових газів, обумовлене їх роботою, становить **> 60%**.

Щодо рідких моторних біопалив, то більшість показників біодизеля й біоетанола першого покоління задовольняють поточним вимогам Директиви 2009/28/ЕС, деякі задовольняють вимозі, що вступить в силу з 2017 року (мін. **50%**), і практично всі показники виходять за межі вимоги, що буде застосовуватися з 2018 року (мін. **60%**). Для біопалив другого покоління результати набагато кращі – скорочення емісії парникових газів становить **80-95%**. Також гарні показники має біогаз як моторне паливо – **більше 80%**.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Директива 2009/28/ЕС щодо стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел, внесення змін та подальшої зміни Директив 2001/77/ЕС та 2003/30/ЕС  
<http://faolex.fao.org/docs/pdf/eur88009.pdf>
2. Розпорядження КМУ «Про затвердження плану заходів щодо виконання у 2013 році Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу (№ 157-р від 25.03.2013)  
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/157-2013-%D1%80>
3. *Thomas Nussbaumer, Michael Oser*. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004  
<http://www.ieabcc.nl/publications/Nussbaumer IEA CED V11.pdf>
4. ДСТУ ISO 14040:2004 Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (18014040:1997, IDT).
5. *Francesco Cherubini, Anders Hammer Strømman*. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges // *Bioresource Technology*, N 102, 2011, P. 437-451. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241001360X> (Abstract)
6. *Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І.* Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 1. Солома // *Промислова теплотехніка*. – 2013, т. 35, № 3, с.56-63.
7. *Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Дроздова О.І.* Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 2. Деревина // *Промислова теплотехніка*. – 2013, т. 35, № 4, с.56-62.
8. *J. Malca, F. Freire*. Life cycle energy analysis for bioethanol: allocation methods and implications for energy efficiency and renewability. Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, costs optimization simulation and environmental impact of energy and process systems, 7-9 July 2004, Mexico.  
[http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao\\_energia/ folders/my\\_papers/biofuel/240\\_Malca\\_Freire\\_working\\_doc.pdf](http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/ folders/my_papers/biofuel/240_Malca_Freire_working_doc.pdf)
9. *Білодід В.Д., Тарасенко П.В.* Деякі розрахунки щодо енергетичної ефективності біопалив // *Проблеми загальної енергетики*. – 2008, №18, с. 34-39
10. *Hill J., Nelson E., Tilman D et al*. Environmental economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. – *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2006. – № 30. – P. 11206-11210.
11. *Hecht M.M.* Ethanol takes more energy than it gives. – *Execut. Intell. Rev.*, 2006. – 33. – № 19. – P. 21.
12. End the great 2006 bio-fuels swindle. – *Execut. Intell. Rev.*, 2006. – № 22. – P. 4-6.
13. *Johanna Pucker, Robin Zwart, Gerfried Jungmeier*. Greenhouse gas and energy analysis of substitute natural gas from biomass for space heat // *Biomass and bioenergy*, N 38, 2012, P. 95-101.

14. *Daniela Dressler, Achim Loewen, Michael Nelles*. Life cycle assessment of the supply and use of bioenergy: impact of regional factors on biogas production // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. – November 2012, Volume 17, Issue 9, P. 1104-1115  
<http://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0424-9> (Abstract)
15. «Проведення енергетичного аналізу сучасних біогазових установок, орієнтованих на широкомасштабне використання в умовах України». Звіт за другий етап цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Біомаса як паливна сировина», 2008. Підготовлено Інститутом загальної енергетики НАН України.
16. *Neil Bird, Annette Cowie, Francesco Cherubini, Gerfried Jungmeier*. Using a Life Cycle Assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy. Report on IEA Bioenergy Task 38.  
<http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Using-a-LCA-approach-to-estimate-the-net-GHG-emissions-of-bioenergy.pdf>
17. *J. Malca, F. Freire*. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bioethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation // *Energy*, N 31, 2006, P. 3362-3380.  
<https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/4215/1/file4488b9aae1b34370b38cb3c54fc14bb2.pdf>
18. *P. Janulis*. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle // *Renewable Energy*, N 29, 2004, P. 861-871.  
<http://www.rms.lv/bionett/Files/File/BioD-2004-102%20Biodiesel%20LCA%20energy%20balance.pdf>
19. *C.M. Sastre, E. Maletta, Y. Gonzalez-Arechavala et al*. Centralised electricity production from winter cereals biomass grown under central-northern Spain conditions: Global warming and energy yield assessment  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913006788> (Abstract)
20. *M. Berglund, P. Börjesson*. Energy analysis of biogas systems. Proc. of 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, P. 687-690.

#### **Умовні позначення**

- БГ – біогаз;  
БГУ – біогазова установка;  
БМ – біомаса;  
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;  
ЕТБЕ – етил-трет-бутиловий ефір;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
ОЖЦ – оцінка життєвого циклу;  
ПГ – парниковий газ;  
РМЕ – ріпаково-метиловий ефір;  
ТЕС – теплова електростанція;  
ТЕЦ – теплоелектроцентрально;



ТПВ – тверді побутові відходи;  
ФТ – Фішер-Тропш;  
ЦКШ – циркулюючий киплячий шар;  
ЦТ – централізоване тепlopостачання;  
ERE – коефіцієнт відновлюваності енергії;  
EY<sub>CNR</sub> – коефіцієнт виходу енергії;  
Q<sub>BE</sub> – теплотворна здатність біоетанолу;  
e/e – електроенергія;  
у.п. – умовне паливо.  
*Нижні індекси:*  
заг. – загальний;  
е – електричний;  
т – тепловий.

### ***Попередні Аналітичні записки БАУ***

<http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics>

1. Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року
2. Аналіз Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» №5485-VI від 20.11.2012
3. Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні
4. Перспективи розвитку виробництва та використання біогазу в Україні
5. Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні
6. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні
7. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні

---

Громадська спілка «Біоенергетична асоціація України» (БАУ) була заснована з метою створення спільної платформи для співпраці на ринку біоенергетики України, забезпечення найбільш сприятливих умов ведення бізнесу, прискореного та сталого розвитку біоенергетики. Загальні установчі збори БАУ було проведено 25 вересня 2012 року в м. Київ. Асоціація офіційно зареєстрована 8 квітня 2013 року. Членами БАУ стали понад 10 провідних компаній та понад 20 визнаних експертів, що працюють в галузі біоенергетики.

[www.uabio.org](http://www.uabio.org)