



**Міністерство освіти і науки
України**

**ДЕРЖАВНИЙ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра тракторів і автомобілів

БІОЕНЕРГЕТИКА

**Методичні вказівки
до виконання практичних робіт**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та заочної форм навчання зі
спеціальності 208 «Агроінженерія»**

**Харків
2023**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра тракторів і автомобілів

БІОЕНЕРГЕТИКА

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності
208 «Агроінженерія»

Затверджено рішенням
Методичної ради
ФМІ ДБТУ
Протокол № 4
від 04.05.2023 р.

Харків
2023

УДК 620.92:631.371

Схвалено на засіданні кафедри тракторів і автомобілів
протокол № 9 від 25.04.2023 р.

Біоенергетика. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 208 «Агроінженерія» Харків. ДБТУ; уклад.: С.О. Поляшенко.– Харків: [б. в.], 2023.–25 с.

Методичні вказівки призначені для підвищення ефективності практичної підготовки студентів по дисципліні.

Методичні вказівки містять пояснення до роботи, алгоритм виконання роботи, форму звітності, контрольні запитання та рекомендовану літературу.

Матеріали вказівок можуть бути використані викладачами кафедри при проведенні практичних занять і контрольних заходів в аудиторії, комплектуванні питань в екзаменаційних білетах.

Рецензенти:

Є.І. Калінін, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри тракторів, автомобілів та біоенергоресурсів Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Ю.М. Хандола, к.т.н., доцент, завідувач кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки Державного біотехнологічного університету.

Відповідальний за випуск: І.О. Шевченко, к.т.н., доцент, зав.каф.

© Поляшенко С.О. 2023

© ДБТУ, 2023

1. БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Практична робота 1: Визначення обсягу соломи, яку можна використати для теплових потреб.

Мета роботи: Визначити обсяг соломи, яку можна використати для теплових потреб.

Вихідні дані: Середнє значення величини мінералізації гумусу в сівозміні $M=1200$ кг/га, середнє значення величини надходження гумусу в сівозміну за рахунок рослинних решток $H_1=454$ кг/га, середнє значення величини надходження гумусу в сівозміну за рахунок біомаси сидератів $H_2=225$ кг/га. Обсяг біомаси бур'янів, втрат соломи під час збирання, незернової частини кукурудзи, що залишається на полі їх вологості та коефіцієнти гуміфікації згідно табл. 1.7. Баланс гумусу в сівозміні при використанні рослинних решток та біомаси сидератів, B_1 (кг/га):

$$B_1 = -M + H_1 + H_2 = -1200 + 454 + 225 = -521 \text{ кг/га.}$$

$$\begin{aligned} H_3 &= \frac{1}{S} \sum_j OB_j \left(1 - \frac{W_j}{100}\right) k_{Tj} = \frac{1000}{300} \left[900 \cdot \left(1 - \frac{85}{100}\right) \cdot 0,2 + \right. \\ &\quad \left. + 438 \cdot \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot 0,2 + 2302 \cdot \left(1 - \frac{90}{100}\right) \cdot 0,2 \right] = \\ &= 90 + 234 + 154 = 478 \text{ кг/га.} \end{aligned}$$

Баланс гумусу в сівозміні при використанні біомаси бур'янів, соломи, гною та посліду, B_2 (кг/га):

$$B_2 = -M + H_1 + H_2 + H_3 = -1200 + 454 + 225 + 478 = -43 \text{ кг/га.}$$

Після розрахунку компенсації втрат гумусу за рахунок рослинних решток та біомаси сидератів, біомаси бур'янів, незібраної та втраченої соломи, а також посліду та гною, визначається додаткова кількість соломи, яку необхідно використати для компенсації балансу гумусу (досягнення його нульового значення), C (т) за виразом:

Таблиця 1 – Баланс гумусу в сівозміні при використанні біомаси бур'янів, біомаси незібраної та втраченої соломи, а також посліду та гною

Обсяг біомаси бур'янів (із розрахунку 3 т/га), т	OB_B	900
Вологість біомаси, бур'янів, %	W_B	85
Коефіцієнт гуміфікації біомаси, бур'янів, відн. од.	k_{GB}	0,2
Дефіцит гумусу при використанні біомаси бур'янів, кг/га	H_B	-431
Обсяг втрат соломи під час збирання (25%), т	OB_C	158
Обсяг незернової частини кукурудзи, що залишається на полі, т	OB_K	280
Загальний вихід рослинної біомаси, що залишається на полі, т	OB_{PB}	438
Вологість рослинної біомаси, %	W_{PB}	20
Коефіцієнт гуміфікації рослинної біомаси, в т.ч. соломи, відн. од.	k_{GPB}	0,2
Дефіцит гумусу при використанні біомаси бур'янів та рослинної біомаси, кг/га	H_{PB}	-197
Внесення збродженого посліду або гною, т	OB_{II}	2302
Вологість збродженого посліду, %	W_{II}	90
Коефіцієнт гуміфікації збродженого посліду, відн. од.	k_{GII}	0,2
Баланс гумусу при використанні рослинної біомаси та посліду та гною, кг/га	H_{II}	-43

$$C = \frac{B_2 S}{1000 \left(1 - \frac{W_C}{100}\right) k_{GC}} = \frac{43 \cdot 300}{1000 \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot 0,2} = 81 \text{ т.}$$

Додатковий обсяг соломи для компенсації втрат гумусу може бути використаний шляхом залишення її на полі, використанням соломи на підстилку тваринам та шляхом виробництва на її основі компосту або субстрату для вирощування грибів. У подальшому підстилковий гній, компост або відпрацьований субстрат вноситься на поля в якості органічного добрива (табл. 1.8).

Таблиця 2 – Баланс соломи

Біологічний урожай соломи, т	910
Обсяг незернової частини кукурудзи, що залишається на полі, т	280
Обсяг втрат соломи під час збирання (25%), т	158
Обсяг соломи для потреб годівлі тварин (ячмінна солома), т	158
Додатковий обсяг соломи для компенсації втрат гумусу, т	81
Солома на теплові потреби, т	233
Солома на теплові потреби від біологічного урожаю, %	25,6

Кількість компосту K (т) або кількість субстрату CB (т), яка може бути отримана при використанні додаткової кількості соломи для компенсації балансу гумусу становить:

$$K = 4 C_{кг} = 4 \cdot 81 = 324 \text{ т,}$$

$$CB = 3 C_{кг} = 3 \cdot 81 = 243 \text{ т.}$$

Таким чином, обсяг соломи, яку можна використати для теплових потреб визначається в залежності від дефіциту гумусу в ґрунтах. При інтенсивному використанні сидератів, обсяг соломи на теплові потреби може становити біля 25 % від біологічного її урожаю.

2.ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

Практична робота 2: Розрахунок вартості олії гарячого віджимання для використання при виробництві дизельного біопалива.

Мета роботи: Розрахувати вартість олії гарячого віджимання для використання при виробництві дизельного біопалива, а також необхідні обсяги метилату калію (метилового ефіру й гідроокислу калію) та вихід дизельного біопалива із однієї тони олії.

Вихідні дані: загальний коефіцієнт виходу олії $k_o = 30 \%$; коефіцієнт виходу олії першого (холодного) віджимання, $k_{ox} = 10 \%$; ціна олії $\Pi_o = 16$ грн./кг; ціна олії першого (холодного) віджимання $\Pi_{ox} = 20$ грн./кг. У розрахунках прийняти, що для виробництва дизельного біопалива використовують метилат калію, який є сумішшю метилового спирту і КОН у співвідношенні 10:1. Витрата метилату калію для отримання дизельного біопалива: на 1 літр рослинної олії – 150 мл метилату калію. Фактична потужність насоса при закачуванні в реактор суміші рослинної олії та метилату калію становить 2250 Вт, а фактична потужність насоса при перемішуванні суміші 1890 Вт.

При двохступінчатому віджиманні коефіцієнт виходу олії другого (гарячого) віджимання $k_{ог}$ та її гранична ціна $\Pi_{ог}$ становитимуть:

$$k_{ог} = k_o - k_{ox} = 30 - 10 = 20 \%,$$

$$\Pi_{ог} = \frac{k_o \Pi_o - k_{ox} \Pi_{ox}}{k_o - k_{ox}} = \frac{30 \cdot 16 - 10 \cdot 20}{30 - 10} = 14 \text{ грн./кг.}$$

Коефіцієнт виходу олії першого (холодного) віджимання при якому ціна олії другого (гарячого) віджимання матиме нульове значення становить:

$$k_{ox} = k_o \frac{\Pi_o}{\Pi_{ox}} = 30 \frac{16}{20} = 24 \%.$$

Коли коефіцієнти виходу олії першого (холодного) та другого (гарячого) віджимання однакові і становлять $k_{OX} = k_{OG} = \frac{k_O}{2}$, гранична ціна олії другого(гарячого) віджимання в залежності від ціни олії першого (холодного) віджимання становитиме:

$$C_{OG} = 2C_O - C_{OX} = 2 \cdot 16 - 20 = 12 \text{ грн./кг.}$$

При зміні ціни ціна олії першого (холодного) віджимання в межах від 18 до 26 грн./кг, гранична ціна олії другого (гарячого) віджимання буде змінюватися в межах від 14 до 6 грн./кг (рис. 1).

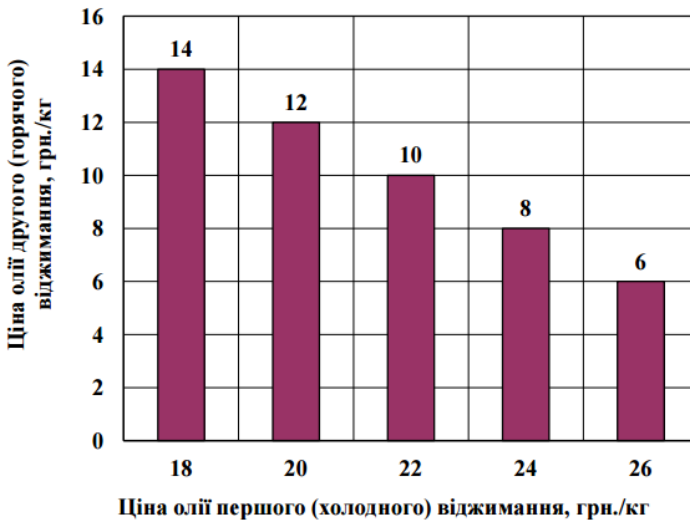


Рис. 1 – Залежність ціни олії другого (гарячого) віджимання від ціни олії першого (холодного) віджимання

Для отримання 1000 л рослинної олії необхідно переробити приблизно 3 тони зерна. Розхід метилату калію – 150 л на 1000 л рослинної олії. Для виготовлення 1 л метилату калію необхідно використати 1 літр метилового спирту та 100 грам КОН. Отже на 1000 л рослинної олії необхідно 150 л метилового спирту і 15 кг КОН.

Враховуючи, що із суміші $V_O = 1000$ л рослинної олії та 150 л метилату калію можна отримати $V_{ДБП} = 900$ л = $0,9$ м³ метилового ефіру (дизельного біопалива) та від 150 до 190 л гліцеринового осаду, визначимо коефіцієнт виходу дизельного біопалива за наступним виразом:

$$k_{ДБП} = \frac{V_{ДБП}}{V_0} = \frac{900}{1000} 100\% = 90\%$$

Знаючи час закачування рослинної олії та метилату калію, який становить 0,2 год.; час перемішування, який становить 0,5 год.; а також час відстоювання після перемішування, який становить 2 год., можна розрахувати продуктивність обладнання для виробництва дизельного біопалива за виразом:

$$Q = \frac{V_0 k_{ДБП}}{\tau_3 + \tau_M + \tau_B} = \frac{1000 \cdot 0,9}{0,2 + 0,5 + 2} = 333 \text{ л/год.} = 0,333 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Спожиту електричну енергію при використанні шестерінчастого насоса для подачі та перемішування суміші визначається за виразом:

$$W = \frac{P_3 \tau_3 + P_M \tau_M}{1000} = \frac{2250 \cdot 0,2 + 1890 \cdot 0,5}{1000} = 1,395 \text{ кВт год.}$$

Питому енергоємність виробництва дизельного біопалива визначають за виразом:

$$E = \frac{W}{Q} = \frac{1,395}{0,333} = 4,19 \text{ кВт год./м}^3$$

Таким чином, двохступінчатє віджимання дозволяє отримати високоякісну олію першого (холодного) віджимання для харчових потреб та недорогої олію другого (гарячого) віджимання – для потреб виробництва дизельного біопалива.

3. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

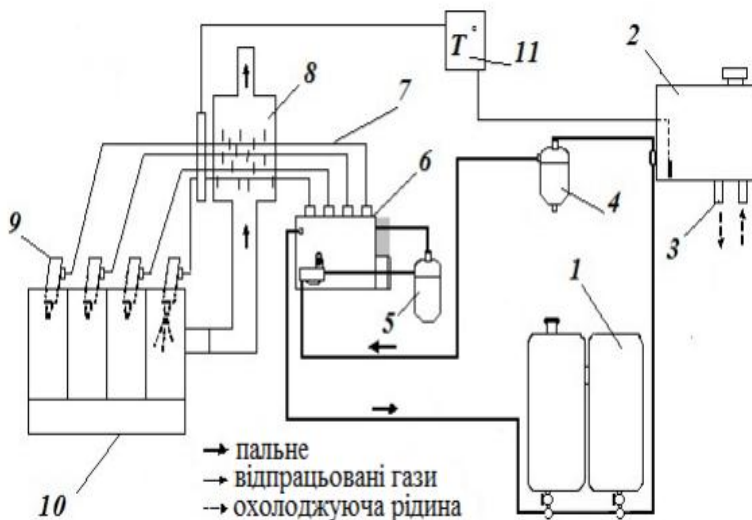
Практична робота 3: Визначення річної потреби в дизельному біопаливі при роботі МТА.

Мета роботи: Визначити річну потребу в дизельному біопаливі та розрахувати економічну ефективність застосування дизельного біопалива при роботі МТА.

Вихідні дані: Річне завантаження МТА $N_3 = 1150$ у.е. га; нормативна витрата палива на умовний еталонний гектар $G_{VE} = 9,1$ л/у.е. га; середня змінна витрати палива МТА $Q_{ЗМ} = 70$ л.; вартість дизельного палива $Ц_{ДП} = 13,98$ грн/л; вартість дизельного біопалива $Ц_{ДБП} = 7,21$ грн/л; вартість моторної оливи $Ц_{МО} = 50$ грн/л. Експлуатаційні параметри МТА та конструктивні параметри двигуна енергозасобу необхідні для

розрахунку економічної ефективностіприведені в табл. 3.9. Варіант модернізації паливної системи двигуна енергозасобу МТА для роботи на дизельному біопаливі згідно рис. 3.6.

Враховуючи те, що температура підігріву дизельного біопалива обмежена температурним режимом роботи паливного насоса високого тиску, для підвищення ефективності застосування дизельного біопалива була розроблена система двохступеневого його підігріву (рис. 3.6).



1 – бак дизельного палива; 2 – бак дизельного біопалива; 3 – теплообмінник; 4 – фільтр грубого очищення; 5 – фільтр тонкого очищення; 6 – паливний насос високого тиску; 7 – паливопроводи високого тиску; 8 – нагрівальна камера; 9 – форсунки двигуна; 10 – двигун; 11 – блок контролю температури

Рис. 3.6 Система двохступеневого підігріву дизельного біопалива

Запропонована система дозволяє розширити температурний діапазон використання дизельного біопалива за рахунок його попереднього підігріву в паливному баці до температури 35-40°C. При цій температурі кінематична в'язкість дизельного біопалива становить менше за 5 мм²/с і забезпечується його фільтрування у фільтрах грубої та тонкої очистки палива. Підвищення ефективності згорання дизельного біопалива досягається за рахунок послідууючого більш інтенсивного його нагріву після паливного насоса високого тиску перед впорскуванням до циліндрів

двигуна.

Таблиця 3 – Експлуатаційні та конструктивні параметри двигуна енергозасобу МТА при використанні дизельного біопалива

Коефіцієнт розподілення витрат дизельного палива, згідно граничної температури використання дизельного біопалива без застосування нагріву, відн. од.	$k_{кр}$	0,7
Коефіцієнт запасу при зміні типу палива, відн. од.	$k_{зп}$	1,2
Час роботи двигуна на дизельному паливі, необхідний для розігріву дизельного біопалива в паливному баці, год.	t_H	0,5
Годинна витрата палива на режимі роботи двигуна при розігріві дизельного біопалива, л	$G_{год}$	10
Коефіцієнт збільшення витрат дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом, відн. од.	$k_{зв}$	1,12
Коефіцієнт зменшення ресурсу моторної оливи при використанні дизельного біопалива, відн. од.	$k_{зро}$	0,8
Об'єм фільтра грубої очистки палива, л	$V_{фГО}$	0,7
Об'єм фільтра тонкої очистки палива, л	$V_{фТО}$	0,3
Внутрішній об'єм паливопроводів, л	$V_{п}$	0,2
Внутрішній об'єм головки паливного насоса високого тиску, л	$V_{пн}$	0,35
Об'єм оливи в системі змащування дизельного двигуна, л	$Q_{мо}$	12
Ресурс моторної оливи в одиницях використаного дизельного палива, л	$T_{мо}$	4200
Капітальні витрати на модернізацію паливної системи, грн	K	20000

Виходячи із нормативного річного завантаження МТА визначаємо витрату дизельного палива:

$$Q_{дп} = H_z G_{уе} = 1150 \cdot 9,1 = 10465 \text{ л.}$$

Виходячи з умов експлуатації МТА на дизельному біопаливі додаткову витрату дизельного палива, можна визначити наступним чином:

$$Q_{дп}^d = \frac{Q_{дп}}{Q_{зм}} [k_{кр} k_{зп} (V_{фГО} + V_{фТО} + V_{п} + V_{пн}) + (1 - k_{кр}) \epsilon_H G_{год}] =$$

$$= \frac{10465}{70} [0,7 \cdot 1,2 (0,7 + 0,3 + 0,2 + 0,35) + (1 - 0,7) \cdot 0,5 \cdot 10] = 418 \text{ л.}$$

Слід зазначити, що коефіцієнт розподілення витрат дизельного палива, згідно граничної температури використання дизельного біопалива без застосування нагріву в паливному баці $k_{кр}$ може дещо відрізнитися від прийнятого, оскільки визначається кліматичною зоною розташування господарства.

Необхідна кількість дизельного біопалива для заміщення

дизельного палива нафтового походження визначається за виразом:

$$Q_{дбп} = k_{зв} (Q_{дп} - Q_{дп}^д) = 1,12 \cdot (10465 - 418) = 11252 \text{ л.}$$

Умовно-постійні витрати (заробітна плата з нарахуваннями на соціальні виплати, амортизаційні відрахування, витрати на ремонт, вартість спожитих послуг та інші прямі витрати) залишаються незмінними при заміні дизельного палива на дизельне біопаливо. Економічну ефективність застосування дизельного біопалива при роботі МТА, віднесена до одиниці або певного об'єму виконаної роботи, визначають як різницю вартості використаного палива та додаткових витрат пов'язаних з особливістю роботи МТА при використанні дизельного біопалива:

$$E = C_{дп} (Q_{дп} - Q_{дп}^д) - Q_{дбп} \left(C_{дбп} + \frac{(1 - k_{зро})}{k_{зро} T_{мо}} Q_{мо} C_{мо} \right) =$$

$$= 13,98 \cdot (10465 - 418) - 11252 \cdot (7,21 + \frac{(1 - 0,8)}{0,8 \cdot 4200} \cdot 12 \cdot 50) = 58633 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних затрат на переобладнання МТА для використання дизельного біопалива визначається як відношення затрачених коштів до економічної ефективності використання дизельного біопалива:

$$T = \frac{K}{E} = \frac{20000}{58633} = 0,34 \text{ років.}$$

Таким чином, річна економічна ефективність застосування дизельного біопалива для одного МТА може становити 58,633 тис. грн. при терміні окупності додаткового обладнання необхідного для використання дизельного біопалива менше одного року.

4. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

Практична робота 4: Розрахунок техніко-економічних показників виробництва біоетанолу.

Мета роботи: Розрахувати техніко-економічні показники виробництва біоетанолу та визначити обсяги сировини й необхідну площу для повного заміщення бензину, що споживається в аграрному виробництві.

Вихідні дані: Сировина для виробництва біоетанолу – кукурудза, урожайність $V = 7$ т/га; вартість зерна кукурудзи $C_K = 2700$ грн./т, ціна біоетанолу $C_{БЕ} = 15$ грн./кг; ціна бензину $C_B = 15,35$ грн./л; річні обсяги використання бензину в аграрному виробництві $P_B = 152$ тис. т., нижча

теплотворна здатність бензину $Q_B = 42$ МДж/кг; нижча теплотворна здатність біоетанолу $Q_{BE} = 27$ МДж/кг; густина біоетанолу $\rho_{BE} = 0,8$ кг/м³. Показники процесу виробництва біоетанолу необхідні для проведення розрахунків наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4 – Показники процесу виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи

Показник	Позначення	Значення
Витрата води на замішування сировини л/кг	Q_B	3
Витрата дріжджів по відношенню до обсягу замісу, %	q_D	8
Вміст спирту у бражці, %.	q_{BE}	13
Частка виробничих витрат віднесена до ціни сировини, від. од.	k_{BV}	0,5
Витрата бензину на денатурацію спирту, %	q_B	3

Розрахунки виконуються в наступному порядку. Спочатку розраховується технологічна потреба в воді для замішування подрібненого в муку зерна кукурудзи при виробництві біоетанолу із розрахунку на $m_C = 1$ тону сировини:

$$V_B = m_C Q_B = 3 \cdot 1000 = 3000 \text{ л/т.}$$

Враховуючи, що при приготуванні замісу подрібнене в муку зерно повністю розчиняється у воді, приймаємо, що об'єм замісу дорівнює об'єму води затраченої на його формування. Далі отриманий заміс піддають термоферментативній обробці та процесу оцукрювання, в результаті якого отримують сусло, об'єм якого рівний об'єму замісу, тобто $V_C = V_B$.

Потреба у виробничих дріжджах для зброджування отриманого сусла визначається наступним чином:

$$V_D = V_C q_D = 3000 \cdot \frac{8}{100} = 240 \text{ л.}$$

Після змішування замісу із дріжджами утворюється сусло яке піддають зброджуванню упродовж певного часу, в результаті чого утворюється зріла бражка об'ємом:

$$V_{BP} = V_C + V_D = 3000 + 240 = 3240 \text{ л.}$$

Вихід біоетанолу становитиме:

$$V_{BE} = V_{BP} \frac{q_{BE}}{100} = 3240 \frac{13}{100} = 421 \text{ л.}$$

Побічним продуктом виробництва біоетанолу є барда, яку можна використовувати на кормові цілі при відгодівлі худоби або направляти на метанове зброджування з метою отримання біогазу. Вихід барди після виробництва біоетанолу становить:

$$V_{BAP} = V_{BP} \left(1 - \frac{q_{BE}}{100} \right) = 3240 \left(1 - \frac{13}{100} \right) = 2819 \text{ л.}$$

Вартість кукурудзи в ціні біоетанолу:

$$B_C = \frac{Ц_K}{V_{BE} \cdot \rho_{BE}} = \frac{2700}{421 \cdot 0,8} = 8,02 \text{ грн./кг.}$$

Орієнтовна собівартість виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи:

$$C_{BE} = (1 + k_{BB}) B_C = (1 + 0,5) \cdot 8,02 = 12,03 \text{ грн./кг.}$$

Прибуток від виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи:

$$П = Ц_B - C_{BE} = 15 - 12,03 = 2,97 \text{ грн./кг.}$$

Рентабельність виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи:

$$P = \frac{П}{C_{BE}} = \frac{2,97}{12,03} 100\% = 24,69\%.$$

Вихід біоетанолу із одного гектара площі під кукурудзою:

$$V_{BE}^S = UV_{BE} = 7 \cdot 421 = 2947 \text{ л.}$$

Потреба в бензині для виконання денатурації біоетанолу отриманого з одного гектара кукурудзи:

$$V_B = V_{BE}^S q_B = 2947 \cdot \frac{3}{100} = 88,41 \text{ л.}$$

Вартість бензину для проведення денатурації отриманого етанолу із одного гектара кукурудзи:

$$B_B = V_B Ц_B = 88,41 \cdot 15,35 = 1357,1 \text{ грн.}$$

Потреба в біоетанолі для заміщення бензину в аграрному виробництві України:

$$П_{BE} = \frac{П_B Q_B}{Q_{BE}} = \frac{152 \cdot 42}{27} = 236,445 \text{ тис. т/рік.}$$

Потреба в зерні кукурудзи та площі під її вирощування для повного заміщення біоетанолом бензину в аграрному виробництві:

$$m_{ЗК} = \frac{П_{БЕ}}{V_{БЕ} \cdot \rho_{БЕ}} 10^6 = \frac{236,445}{421 \cdot 0,8} 10^6 = 702034 \text{ т/рік.}$$

$$S_K = \frac{m_{ЗК}}{У} = \frac{702034}{7} = 100291 \text{ га.}$$

Таким чином, проведені розрахунки показали, що при переробці зерна кукурудзи із однієї тони зерна отримуємо 421 л біоетанолу та 2819 л барди, Рентабельність виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи без врахування реалізації барди становить 24,69%. Вихід біоетанолу із одного гектара кукурудзи становить 2947 л., а для повного заміщення бензину в аграрному виробництві необхідно переробити на біоетанол 702 тис. т кукурудзи, вирощеній на площі 100 тис. га.

5.ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕТАНОЛУ

Практична робота 5: Розрахунок економічної ефективності заміщення бензину біоетанолом.

Мета роботи: Розрахувати економічну ефективність заміщення бензину біоетанолом.

Вихідні дані: Сировина для виробництва біоетанолу – кукурудза, урожайність $U_K = 7$ т/га; собівартість вирощування кукурудзи $B_K = 12755$ грн./га, ціна бензину $C_B = 20,74$ грн./кг; ціна кукурудзи $C_K = 2700$ грн./т, ціна вологої барди $C_B = 200$ грн./кг; річний об'єм використання бензину в господарстві $N_B = 25500$ кг; нижча теплотворна здатність бензину $Q_B = 42$ МДж/кг; нижча теплотворна здатність біоетанолу $Q_{BE} = 27$ МДж/кг; густина біоетанолу $\rho_{BE} = 0,8$ кг/м³ ; загальні дані процесу виробництва біоетанолу необхідні для проведення розрахунків наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5 – Показники процесу виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи

Показник	Позначення	Значення
Вихід біоетанолу, л/т	k_B	416
Частка виробничих витрат віднесена до ціни сировини, від. од.	k_{BB}	0,5
Вміст бензину в денатурованому біоетанолі, %	k_B	5
Співвідношення обсягів барди та зерна кукурудзи, л/кг	$k_{БА}$	2,82

Розрахунки виконуються в наступному порядку. Спочатку визначається теплотворна здатність денатурованого біоетанолу. Враховуючи, що згідно законодавства, для використання в якості палива біоетанол повинен пройти обов'язкову денатурацію (додавання 5% бензину) теплотворна здатність денатурованого біоетанолу буде становити:

$$Q_{ED} = \left(1 - \frac{k_B}{100}\right) Q_{BE} + \frac{k_B}{100} Q_B = \left(1 - \frac{5}{100}\right) 27 + \frac{5}{100} 42 = 27,75 \text{ МДж/кг.}$$

Річна потреба в денатурованому біоетанолі становитиме:

$$N_{ED} = \frac{N_B Q_B}{Q_{ED}} = \frac{25500 \cdot 42}{27,75} = 38594,6 \text{ кг,}$$

а в чистому біоетанолі

$$N_{BE} = \left(1 - \frac{k_B}{100}\right) N_{ED} = \left(1 - \frac{5}{100}\right) 38594,6 = 36664,9 \text{ кг.}$$

Враховуючи необхідний річний об'єм біоетанолу, потреба у зерні кукурудзи для його отримання становитиме:

$$m_K = \frac{N_{BE}}{\rho_{BE} k_B} = \frac{36664,9}{0,8 \cdot 416} = 110,2 \text{ т.}$$

Необхідна площа для вирощування даної кількості кукурудзи становитиме:

$$S_K = \frac{m_K}{U_K} = \frac{110,2}{7} = 15,75 \text{ га.}$$

Затрати на вирощування кукурудзи становитимуть:

$$Z_K = S_K B_K = 15,75 \cdot 12755 = 200891,25 \text{ грн.}$$

Побічним продуктом виробництва біоетанолу є барда, яка може бути використана в якості корму в тваринництві. Її обсяги при отриманні заданої кількості біоетанолу становитимуть:

$$V_B = m_K k_{BA} = 110,2 \cdot 2,83 = 311,9 \text{ т.}$$

Виручка від реалізації вологої спиртової барди становитиме:

$$П_B = V_B Ц_B = 311,9 \cdot 200 = 62380 \text{ грн.}$$

Затрати на денатурацію біоетанолу становлять:

$$Z_D = N_{ED} \frac{k_B}{100} Ц_B = 38594,6 \cdot \frac{5}{100} \cdot 20,74 = 40022,6 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на виробництво біоетанолу становитимуть:

$$Z_B = m_K Ц_K k_{BB} = 110,2 \cdot 2700 \cdot 0,5 = 148770 \text{ грн.}$$

Економія коштів від використання біоетанолу на заміну бензину становитиме:

$$\begin{aligned}
 P_{BB} &= N_B \cdot C_B - (Z_K + Z_D + Z_B - P_B) = \\
 &= 25500 \cdot 20,74 - (20089125 + 400226 + 148770 - 62380) = 20156615 \text{ грн.}
 \end{aligned}$$

Збільшення надходжень коштів від виробництва біоетанолу у порівнянні з реалізацією зерна кукурудзи становить:

$$\begin{aligned}
 E &= P_{BB} - (m_K \cdot C_K - Z_K) = \\
 &= 201566,15 - (110,2 \cdot 2700 - 200891,25) = 104917,4 \text{ грн.}
 \end{aligned}$$

Таким чином, проведені розрахунки показали, що для заміщення 25,5 т бензину біоетанолом необхідно задіяти під вирощування кукурудзи 15,75 га. Економія коштів від використання біоетанолу на заміну бензину становить 7,9 грн. із розрахунку на один кг бензину, що використовувався в господарстві. Збільшення надходжень коштів від виробництва біоетанолу у порівнянні з реалізацією зерна кукурудзи становить 952,06 грн./т.

6. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Практична робота 6: Розрахунок основних технологічних параметрів біогазової установки для зброджування гною.

Мета роботи: Розрахувати основні технологічні параметри біогазової установки для зброджування гною.

Вихідні дані: Поголів'я свиноматок – $n_{CM} = 37$ гол., поголів'я дійних корів – $n_{DK} = 44$ гол. Добова кількість гноівки для свинарника та корівника становить $Q_{ГНС} = 561$ кг/добу та $Q_{ГНК} = 282$ кг/добу. Вихід біогазу при зброджуванні у перерахунку на нормальні умови та на одиницю об'єму біомаси $V_{БГ} = 1,23 \text{ м}^3_{БГ}/\text{м}^3_{БМ}$ за добу, питомий вихід біометану – $V_{CH_4} = 0,752 \text{ м}^3_{БГ}/\text{м}^3_{БМ}$ за добу. Густина гноівки, $\rho = 1050 \text{ кг}_{БМ}/\text{м}^3_{БМ}$.

Встановлено, що анаеробне зброджування має два температурні оптимуми: для мезофільного процесу – 33°C і для термофільного – 54°C . Не дивлячись на те, що процес розкладу органіки в термофільних умовах проходить в 14 разів інтенсивніше, ніж в мезофільних, а кількість отриманого біогазу на 25-30 % вища, ці процеси мають меншу стабільність, ніж мезофільні, а допустимі коливання температури значно знижуються. При мезофільному $\pm 2,8^\circ\text{C}$, а при термофільному режимі – не повинні режими вони становлять $\pm 0,3^\circ\text{C}$. У зв'язку з цим, на практиці, як правило перевищувати використовується мезофільний або термотолерантний (38°C) режим анаеробного зброджування.

Загальний вихід гноівки за добу $Q_{ГН}$ та її об'єм $V_{ГН}$ становлять:

$$Q_{ГН} = Q_{ГНС} + Q_{ГНК} = 561 + 282 = 843 \text{ кг/добу};$$

$$V_{ГН} = \frac{Q_{ГН}}{\rho_{ГН}} = \frac{843}{1050} = 0,8 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Біогазова установка повинна належати до ферми, де є наявна сировинна база для її роботи. Навіть, якщо необхідно прокласти декілька метрів газових труб – це дешевше ніж транспортування сировини. Для переробки сировини при мезофільному режимі рекомендується використовувати дозу добового завантаження, що дорівнює 7% від об'єму завантаженої в реактор сировини, для термотолерантного – 10%, для термофільного процесу – 15 %, а тому загальний об'єм біосировини в реакторі V_{CP} при термотолерантному процесі, становитиме:

$$V_{CP} = \frac{V_{ГН}}{0,1} = \frac{0,8}{0,1} = 8 \text{ м}^3.$$

Об'єм біомаси в реакторі на повинен перевищувати 2/3 об'єму реактора, а тому загальний об'єм реактора V_P становитиме:

$$V_P = 1,5V_{CP} = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м}^3.$$

Вихід біогазу у перерахунку на нормальні умови становитиме:

$$V_{\text{Біогаз}} = V_{CP} V_{БГ} = 8 \cdot 1,23 = 9,84 \text{ м}^3/\text{добу},$$

а вихід метану:

$$V_{\text{Метан}} = V_{CP} V_{БГ} = 8 \cdot 0,752 = 6,02 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Відносний вихід твердої фракції біомаси після зброджування $M_{ТФ}$, становитиме:

$$M_{ТФ} = \frac{W_{PФ} - W_{БМ}}{W_{PФ} - W_{ТФ}} = \frac{98 - 92}{98 - 87} = 0,545 \text{ од.},$$

де $W_{PФ}=98\%$ – вологість рідкої фракції; $W_{БМ}=92\%$ – вологість біомаси, що завантажується в реактор; $W_{ТФ}=87\%$ – вологість твердої фракції біомаси після зброджування.

Відносний вихід рідкої фракції біомаси після зброджування $M_{PФ}$, становить:

$$M_{PФ} = \frac{W_{БМ} - W_{ТФ}}{W_{PФ} - W_{ТФ}} = \frac{92 - 87}{98 - 87} = 0,455 \text{ од.},$$

Частина отриманого біогазу використовується для підігрівання процесу анаеробного зброджування біомаси. Вихід товарного біогазу залежить від кількості біогазу, який використовується для підігрівання бродіння біомаси та витрат теплової енергії при анаеробному бродінні, які у свою чергу залежать від природно-кліматичних умов розміщення

господарства, режиму роботи і конструкційних особливостей біогазової установки.

Кількість теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси, яка зброджується у термотолерантному режимі ($T_{БР}=38^{\circ}\text{C}$), визначається для холодного $Q_{БМХ}$ та теплого $Q_{БМТ}$ періоду року за формулами:

$$Q_{БМХ} = Q_{ГН} c_{БМ} (T_{БР} - T_{ГНХ}) = 843 \cdot 4 \cdot (38 - 10) 10^{-3} = 94,4 \text{ МДж/добу},$$

$$Q_{БМТ} = Q_{ГН} c_{БМ} (T_{БР} - T_{ГНТ}) = 843 \cdot 4 \cdot (38 - 20) 10^{-3} = 60,7 \text{ МДж/добу},$$

де $c=4 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C}$ – питома теплоємність біомаси; $T_{ГНХ}=10^{\circ}\text{C}$ – температура біомаси для холодного періоду року (120 діб) та $T_{ГНТ}=20^{\circ}\text{C}$ – температура біомаси для теплого періоду року (245 діб).

Загальна кількість теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси $Q_{БМ}$, становить:

$$Q_{БМ} = 120 Q_{БМХ} + 245 Q_{БМТ} = 120 \cdot 94,4 + 245 \cdot 60,7 = 26200 \text{ МДж/рік}.$$

Кількість біогазу, необхідного для підігріву біомаси $V_{ПБМ}$, визначається за формулою:

$$V_{ПБМ} = \frac{Q_{БМ}}{\gamma_M q_M} = \frac{26200}{0,6 \cdot 36} = 1213 \text{ м}^3$$

де: $\gamma = 0,6$ – вміст метану в біогазі, відн. од.; $q_M=36 \text{ МДж/м}^3$ – теплотворна здатність метану.

Частка біогазу $\eta_{БГ}$, необхідного для підігріву біомаси, визначається за формулою:

$$\eta_{БГ} = \frac{V_{ПБМ}}{365 V_{Біогаз}} = \frac{1213}{365 \cdot 9,84} = 0,34 \text{ відн. од.}$$

На основі цього визначається коефіцієнт виходу товарного біогазу, $k_{БГ}$:

$$k_{БГ} = 1 - \eta_{БГ} = 1 - 0,34 = 0,66 \text{ відн. од.}$$

Річний вихід товарного біогазу $V_{ТБГ}$ та товарного метану $V_{ТМ}$ відповідно становитиме:

$$V_{ТБГ} = 365 V_{Біогаз} k_{БГ} = 365 \cdot 9,84 \cdot 0,66 = 2370 \text{ м}^3/\text{рік};$$

$$V_{ТМ} = 365 V_{Метан} k_{БГ} = 365 \cdot 6,02 \cdot 0,66 = 1450 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

При використанні когенераційної установки річне виробництво електроенергії W_E та тепла W_T становитиме:

$$W_E = 365 V_{Метан} q_M \frac{k_E}{k_{П}} = 365 \cdot 6,02 \cdot 36 \cdot \frac{0,38}{3,6} = 8350 \text{ кВт год./рік};$$

$$W_T = 365 V_{Метан} q_M k_T = 365 \cdot 6,02 \cdot 36 \cdot 0,62 = 49044 \text{ МДж/рік}.$$

де: $k_E=0,38$ – коефіцієнт корисної дії когенераційної установки по

виробництву електроенергії, відн. од.;

$k_T=0,62$ – коефіцієнт виробництва тепла когенераційною установкою, відн. од.;

$k_{IT}=3,6$ кВт год./МДж – коефіцієнт перерахунку.

Річний вихід товарної електроенергії ВТБГ та товарного тепла ВТМ відповідно становитиме:

$$W_{TT} = W_E (1 - k_{BC}) = 8350 \cdot (1 - 0,2) = 6680 \text{ кВт год./рік};$$

$$W_{TT} = W_T - Q_{EM} = 49044 - 26200 = 22844 \text{ МДж/рік}.$$

де: $k_{BC}=0,2$ – коефіцієнт споживання електроенергії на власні цілі, відн. од.

Таким чином, товарний біогаз доцільно використовувати для виробництва електроенергії.

7. ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ НА ТЕПЛОВІ ПОТРЕБИ

Практична робота 7: Визначення собівартості виробництва біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських та свинарських ферм.

Мета роботи: Визначити собівартість виробництва біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських та свинарських ферм.

Вихідні дані: Густина біомаси вологістю 92 % для переробки в ($\rho_{ПБ}$) – 1,05 т/м³ біогазовому реакторі. Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора (k_{BM}) – 0,75 м³/м³ добу. Час утримання ($\tau_{ЗБ}$) – 15 діб. Теплотворна здатність біомаси в реакторі під час зброджування біометану (q_{BM}) – 37 МДж/м³. Коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії (η_T) – 0,38 відн. од.;

Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва біометану наведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7 – Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва біометану

Показник	Значення показника
Ціна біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі ($C_{ГН}$), грн/т	30
Ціна органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі ($C_{ОД}$), грн/т	40

Коефіцієнт, що враховує загальновиробничі витрати ($k_{ЗВ}$), відн. од	0,05
Коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати ($k_{ЗГ}$), відн. од.	0,1
Відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки ($ТОР_{БМ}$), грн/м ³	1,32
Вартість витраченої електричної енергії ($ЕЛ_{БМ}$), грн/м ³	0,4
Фонд заробітної плати з нарахуваннями, грн/м ³	0,3

Питомі виробничі витрати на виробництво біометану становлять:

$$E_{БМ} = (1 + k_{ЗВ} + k_{ЗГ})(ТОР_{БМ} + ЕЛ_{БМ} + ЗП_{БМ}) = \\ = (1 + 0,05 + 0,1)(1,32 + 0,4 + 0,3) = 2,32 \text{ грн/м}^3.$$

З урахуванням цього, собівартість виробництва біометану становитиме:

$$C_{БМ} = \frac{\rho_{ПБ}}{k_{БМ} \tau_{ЗБ}} (C_{ГН} - C_{ОД}) + E_{БМ} = \\ = \frac{1,05}{0,75 \cdot 15} (30 - 40) + 2,32 = 1,39 \text{ грн/м}^3,$$

А перевищення ціни органічних добрив після зброджування над ціною біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі для забезпечення нульової собівартості біометану становитиме:

$$C_{ОД} - C_{ГН} = \frac{E_{БМ} k_{БМ} \tau_{ЗБ}}{\rho_{ПБ}} = \frac{2,32 \cdot 0,75 \cdot 15}{1,05} = 24,86 \text{ грн/т.}$$

Таким чином, забезпечення нульової собівартості біометану буде при перевищенні ціни органічних добрив після зброджування над ціною біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі в межах від 24 до 25 грн/т.

8. ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Практична робота 8: Визначення собівартості виробництва електроенергії на основі біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських та свинарських ферм.

Мета роботи: Визначити собівартість виробництва електроенергії на основі біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських та свинарських ферм.

Вихідні дані: Густина біомаси вологістю 92 % для переробки в біогазовому реакторі ($\rho_{ПБ}$) – 1,05 т/м³. Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора ($k_{БМ}$) – 0,75 м³/м³ добу. Час утримання біомаси в реакторі під час зброджування ($\tau_{ЗБ}$) – 15 діб. Теплотворна здатність біометану ($q_{БМ}$) – 37 МДж/м³. Коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії ($\eta_{Г}$) – 0,38 відн. од.;

Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва біометану приведені в таблиці 8.

Таблиця 8 – Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва біометану та електроенергії на основі біометану

Показник	Значення показника
Ціна біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі ($\Pi_{ГН}$), грн/т	30
Ціна органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі ($\Pi_{ОД}$), грн/т	40
Коефіцієнт, що враховує загальнопромислові витрати ($k_{ЗВ}$), відн. од.	0,05
Коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати ($k_{ЗГ}$), відн. од.	0,1
Відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки ($ТОР_{БМ}$), грн/м ³	0,34
Вартість витраченої електричної енергії ($ЕЛ_{БМ}$), грн/м ³	0,1
Фонд заробітної плати з нарахуваннями, грн/м ³	0,07

Питомі виробничі витрати на виробництво електроенергії на основі біометану становлять:

$$E_{ЕЛ} = (1 + k_{ЗВ} + k_{ЗГ})(ТОР_{ЕЛ} + ЕЛ_{ЕЛ} + 3П_{ЕЛ}) = (1 + 0,05 + 0,1)(0,34 + 0,1 + 0,07) = 0,59 \text{ грн/кВт год.}$$

Із урахуванням цього, собівартість виробництва електроенергії на основі біометану становитиме:

$$C_{ЕЛ} = \frac{3,6\rho_{ПБ}}{k_{БМ}q_{БМ}\eta_{Г}\tau_{ЗБ}}(\Pi_{ГН} - \Pi_{ОД}) + E_{ЕЛ} = \frac{3,6 \cdot 1,05}{0,75 \cdot 37 \cdot 0,38 \cdot 15}(30 - 40) + 0,59 = 0,35 \text{ грн/кВт год.}$$

А перевищення ціни органічних добрив після зброджування над ціною біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі для забезпечення нульової собівартості електроенергії на основі біометану становитиме:

$$C_{од} - C_{гн} = \frac{E_{ел} k_{БМ} q_{БМ} \eta_{Г} \tau_{ЗБ}}{3,6 \rho_{ПБ}} = \frac{0,59 \cdot 0,75 \cdot 37 \cdot 0,38 \cdot 15}{3,6 \cdot 1,05} = 24,69 \text{ грн/т.}$$

Таким чином, забезпечення нульової собівартості електроенергії на основі біометану буде при перевищенні ціни органічних добрив після зброджування над ціною біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі в межах від 24 до 25 грн/т.

9. МЕХАНІЗАЦІЯ ЗАГОТІВЛІ СОЛОМИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Практична робота 9: Розрахунок теплоти згоряння соломи в залежності від хімічного складу і вологості.

Мета роботи: Розрахувати теплоту згоряння соломи в залежності від хімічного складу і вологості.

Вихідні дані: Хімічний склад та вологість різних типів соломи.

Найчастіше для визначення теплоти згоряння використовують формулу Д.І. Менделєєва, відповідно до якої теплоту згоряння рідких і твердих палив визначають як:

$$Q_{*} = 339C + 1256H - 109(O - S) \quad (9.1)$$

$$Q_{н} = Q_{*} - 25(9H + W) = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25W \quad (9.2)$$

де Q_{*} , $Q_{н}$ – вища і нижча теплота згоряння, кДж/кг; C , H , O , S , W – елементний склад палива (вуглець, водень, кисень, сірка, волога відповідно), % за масою; 25 – коефіцієнт, який враховує втрату теплоти, що виноситься продуктами згоряння в атмосферу (1 кг пари при потраплянні в атмосферу забирає 2500 кДж/кг); $9H$ – число масових частин води, що утворюється при згоранні однієї масової частини водню.

Однак, у практиці використання соломи як палива для котлів і теплогенераторів, отримати вказаний розрахунковий рівень теплоти згоряння, як правило, не вдається, що обумовлено втратою летких сполук з димовими газами та витратами тепла на нагрівання повітря, необхідного для горіння соломи до температури при якій це горіння відбувається.

Таблиця 9 – Склад та розрахунок вищої теплоти згоряння соломи

Польова культура – продуцент соломи	Вміст до сухої маси, %							Вища теплота згоряння соломи
	Попіл	Органічна речовина	Азот, N	Вуглець, С	Водень, Н	Кисень, О	Сірка, S	
Пшениця	4,65	95,35	0,52	44,43	5,86	44,43	0,11	17591
Жито	4,65	95,35	0,43	45,02	4,80	45,02	0,09	16393
Ячмінь	4,65	95,35	0,59	44,03	6,58	44,03	0,12	18404
Овес	6,98	93,02	0,51	43,35	5,71	43,35	0,10	17153
Кукурудза	4,65	95,35	0,63	43,80	7,01	43,80	0,13	18893
Ріпак	5,88	94,12	0,66	42,96	7,40	42,96	0,13	19189
Зернобобові	6,98	93,02	1,64	41,02	9,19	41,02	0,16	20995

Таблиця 10 – Розрахунок нижчої теплоти згоряння соломи Q_v , кДж/кг

Польова культура – продуцент соломи	Вологість соломи, %								
	5	10	15	20	25	30	35	40	
Пшениця	16148	16023	15898	15773	15648	15523	15398	15273	
Жито	15188	15063	14938	14813	14688	14563	14438	14313	
Ячмінь	16799	16674	16549	16424	16299	16174	16049	15924	
Овес	15743	15618	15493	15368	15243	15118	14993	14868	
Кукурудза	17190	17065	16940	16815	16690	16565	16440	16315	
Ріпак	17399	17274	17149	17024	16899	16774	16649	16524	
Зернобобові	18802	18677	18552	18427	18302	18177	18052	17927	

Тому дійсна теплота спалювання соломи визначаються коефіцієнтом корисної дії топки, який для існуючих топків котлів і теплогенераторів, що випускаються в Україні становить від 0,75 до 0,84 відн. од.

ЛІТЕРАТУРА

1. Альтернативна енергетика: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / [М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2012. – 244 с.

2. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива: Монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелету́ха, І.П. Григорюк, К.В. Дмитрук, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарний, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, А.А. Сибірний, С.П. Циганков]. – К: Аграр Медіа Груп, 2010. – 408 с.

3. Гелету́ха Г.Г. Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине [Електронний ресурс] / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Железная, Е.Н. Олейник // Аналитическая записка Биоэнергетической ассоциации Украины № 6. – 2013 г. – №6. – 24 с. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-6-ru.pdf>.

4. Голуб Г.А. Ефективність використання котлів із верхнім горінням для спалювання соломи / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець, О.Я. Переходько // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – 2014. – Вип. 11 (26). – С. 28-32.

5. Голуб Г.А. Тепло́та згоряння та умови спалювання соломи / Голуб Г.А., Лук'янець В.О., Субота С.В. // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК».- 2009. – Вип. 134, ч.2. – С. 275-278.

6. Дослідження енергетичної ефективності котлів із верхнім горінням / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, О. Я. Переходько [та ін.] // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2015. – Вип. 19 (33). – С. 283-288.

7. Ефективність використання установки для виробництва паливних брикетів із рослинної сировини / Субота С.В., Голуб Г.А., Степаненко С.П., Лук'янець В.О. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2012. – Вип. 96. – С. 437-444.

8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472с.

9. Губарев А.В. Теплогенерирующие установки. Часть I. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. – 162 с.

Навчальне видання

Біоенергетика.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності
208 «Агроінженерія»

Укладач

Поляшенко Сергій Олексійович

Формат 60x84\16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 1,8

Наклад 30 пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44