

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В АГРАРНОМУ  
ВИРОБНИЦТВІ**

**Навчальний посібник**

За редакцією доктора технічних наук,  
професора Голуба Г.А.

**Київ  
НУБіП України  
2017**

УДК 620.92:631.371  
ББК 40.74Я73  
Б63

*Рекомендовано вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 11 від 20 квітня 2016 р.) та вченою радою Житомирського національного агроекологічного університету (протокол № 7 від 30 березня 2016 р.) як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів зі спеціальностей 208 – агроінженерія та 133 – галузеве машинобудування*

**Рецензенти:**

**Мироненко В.Г.** – доктор технічних наук, професор, заступник директора ННЦ "ІМЕСГ" НААН України;

**Войтюк В. Д.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка;

**Грабар І. Г.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри процесів, машин і обладнання ЖНАЕУ.

**Б63** Біоенергетичні системи в аграрному виробництві / [Голуб Г.А., Кухарець С.М. Марус О.А. та ін.]; за ред. Г.А. Голуба. – К.: НУБіП України, 2017. – 229 с.

Навчальний посібник розроблено на основі останніх досягнень та результатів науково-дослідних робіт. Він містить актуальні узагальнення щодо конструкції, розрахунку та експлуатації біоенергетичних систем в аграрному виробництві. Серед них основні поняття щодо біоенергетичних систем в аграрному виробництві, основи виробництва і використання дизельного біопалива, біоетанолу, виробництва біогазу, використання біогазу на теплові потреби та для отримання електроенергії, механізації заготівлі соломи для енергетичного використання та виробництва енергетичних культур.

**ISBN 978-617-7396-48-1**

**УДК 620.92:631.371**  
**ББК 40.74Я73**

© Г.А. Голуб, С.М. Кухарець, О.А. Марус,  
М.Ю. Павленко, К.М. Сера, В.В. Чуба, 2017  
© Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, 2017  
© Житомирський національний  
агроекологічний університет, 2017

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	7
<b>1. БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ</b>	8
1.1. Роль енергоресурсів у виробництві та житлово-комунальному господарстві	8
1.2. Споживання енергоресурсів у аграрному виробництві	9
1.3. Об'єкти біоенергетичних систем в АПК	11
1.4. Термінологія щодо базових об'єктів біоенергетичних систем в аграрному виробництві	12
1.5. Концепція диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та біопалива в агроекосистемах	13
1.6. Встановлення граничних обсягів сировини для виробництва біопалива в агроекосистемах	16
Лабораторна робота 1: Визначити економічну ефективність функціонування агроекосистеми з виробництва енергії на основі біологічних видів палива.	18
Практична робота 1: Визначити обсяг соломи, яку можна використати для теплових потреб.	22
<b>2. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА</b>	27
2.1. Технології виробництва олії та дизельного біопалива	27
2.2. Оцінка сировинної бази агропромислового виробництва дизельного біопалива при двохступінчатому віджиманні рослинної олії	29
2.3. Технічне забезпечення виробництва дизельного біопалива	32
2.4. Теоретичні основи виробництва дизельного біопалива	46
2.5. Економічна ефективність виробництва дизельного біопалива	48
Лабораторна робота 2: Ознайомитися з конструкцією гідромеханічної мішалки для виробництва дизельного біопалива та визначити її параметри.	50
Практична робота 2: 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.	52
<b>3. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА</b>	58
3.1. Основні властивості дизельного біопалива на основі рослинних олій як моторного палива	58

<b>3.2. Експлуатаційні параметри роботи дизельного двигуна при застосуванні дизельного біопалива</b>	61
<b>3.3. Кінематична в'язкість дизельного біопалива</b>	64
<b>3.4. Підвищення ефективності використання дизельного біопалива</b>	66
<b>3.5. Виробнича перевірка роботи МТА із застосуванням системи двоступеневого підігріву дизельного біопалива</b>	74
<b>3.6. Організаційні аспекти використання дизельного біопалива</b>	76
<b>3.7. Економічна ефективність використання дизельного біопалива</b>	78
<b>Лабораторна робота 3: Визначити витрату палива при роботі дизельного двигуна на дизельному паливі та дизельному біопаливі.</b>	80
<b>Практична робота 3: Визначити річну потребу в дизельному біопаливі та розрахувати економічну ефективність застосування дизельного біопалива при роботі МТА.</b>	83
<b>4. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ</b>	89
<b>4.1. Загальні відомості про біоетанол</b>	89
<b>4.2. Сировинна база та основи процесу виробництва біоетанолу</b>	92
<b>4.3. Основи біотехнологічного процесу отримання біоетанолу</b>	94
<b>4.4. Технологічні схеми виробництва біоетанолу</b>	96
<b>4.5. Отримання біоетанолу із целюлозовмісних матеріалів</b>	99
<b>4.6. Технічна реалізація виробництва біоетанолу</b>	101
<b>Лабораторна робота 4: Визначити вміст біоетанолу в складі сумішевого бензину А-95 біо.</b>	103
<b>Практична робота 4: Розрахувати техніко-економічні показники виробництва біоетанолу та визначити обсяги сировини й необхідну площу для повного заміщення бензину, що споживається в аграрному виробництві.</b>	105
<b>5. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕТАНОЛУ</b>	109
<b>5.1. Основні властивості біоетанолу як моторного палива</b>	109
<b>5.2. Світовий досвід використання біоетанолу</b>	111
<b>5.3. Перспективи використання біоетанолу в Україні</b>	113
<b>5.4. Використання біоетанолу, як палива для двигунів внутрішнього згорання</b>	114

<b>5.5. Дослідження роботи двигуна MeM3-245 на паливних сумішах з біоетанолом</b>	118
<b>Лабораторна робота 5:</b> Визначити витрату палива при роботі ДВЗ на суміші бензину із біоетанолом (E10).	121
<b>Практична робота 5:</b> Розрахувати економічну ефективність заміщення бензину біоетанолом.	124
<b>6. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ</b>	128
<b>6.1. Сучасні тенденції розвитку технологій видалення та використання гною</b>	128
<b>6.2. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок</b>	131
<b>6.3. Аналіз метаноутворення в біогазових установках</b>	138
<b>6.4. Кінетика зброджування органічної маси в біогазових установках</b>	142
<b>6.5. Розрахунок питомого виходу біометану</b>	144
<b>Лабораторна робота 6:</b> Визначення параметрів похилого транспортера для зневоднення біомаси при підготовці до аеробного та анаеробного зброджування	146
<b>Практична робота 6:</b> Розрахувати основні технологічні параметри біогазової установки для зброджування гною.	148
<b>7. ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ НА ТЕПЛОВІ ПОТРЕБИ</b>	153
<b>7.1. Енергетичні параметри та конструкція біогазової установки з обертовим реактором</b>	153
<b>7.2. Технологічний процес отримання біогазу за допомогою біогазової установки з обертовим біореактором</b>	156
<b>7.3. Отримання теплової енергії на основі біогазу</b>	159
<b>7.4. Собівартість виробництва біометану в аграрному виробництві</b>	164
<b>Лабораторна робота 7:</b> Визначення потужності обертового реактора біогазової установки в залежності від рівня занурення барабана у воду.	166
<b>Практична робота 7:</b> Визначити собівартість виробництва біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських та свинарських ферм.	167
<b>8. ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ</b>	171
<b>8.1. Виробництво біометану. Очищення та збагачення біогазу</b>	171
<b>8.2. Когенераційні установки</b>	177

<b>8.3. Техніко-економічна оцінка виробництва електроенергії на основі біометану</b>	179
Лабораторна робота 8: Визначення зміни температури біомаси упродовж встановленого проміжку часу та витрат енергії на її нагрів під час аеробного та анаеробного зброджування у біогазовій установці проточного типу.	183
<b>Практична робота 8:</b> Визначити собівартість виробництва електроенергії на основі біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських та свинарських ферм.	186
<b>9. МЕХАНІЗАЦІЯ ЗАГОТІВЛІ СОЛОМИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ</b>	190
<b>9.1. Загальна структура енергетичного використання соломи зернових культур</b>	190
<b>9.2. Термінологія щодо заготівлі соломи для енергетичного використання</b>	192
<b>9.3. Технологія заготівлі соломи</b>	192
<b>9.4. Технології виробництва паливних гранул та брикетів</b>	197
<b>9.5. Використання котлів для спалювання соломи</b>	202
Лабораторна робота 9: Визначення параметрів роботи твердопаливного котла при спалюванні рослинної біомаси.	207
<b>Практична робота 9:</b> Розрахувати теплоту згоряння соломи в залежності від хімічного складу і вологості.	210
<b>10. ВИРОБНИЦТВО ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР</b>	215
<b>10.1. Огляд основних енергетичних культур</b>	215
<b>10.2. Механізація вирощування та збирання енергетичних культур</b>	219
Лабораторна робота 10. Визначення питомих енергетичних витрат на виробництво гранул із рослинної біомаси.	224
Практична робота 10. Визначення оптимального географічного розташування підприємства із виробництва паливних гранул.	225

## ВСТУП

У зв'язку із прогнозованим вичерпанням основних видобувних енергоносіїв, енергія із відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Величезні викиди вуглекислого газу і метану в атмосферу призводять до збільшення парникового ефекту.

Перед аграрними підприємствами постає об'єктивна необхідність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій, орієнтованих на виробництво біологічних видів палива, які одержують у результаті переробки біологічної сировини. Основою складовою потенціалу біомаси є солома. Особливе місце в використанні біомаси займає отримання шляхом анаеробного зброджування біогазу та високоякісних екологічно безпечних органічних добрив.

Залучення в енергетичний баланс біологічних видів палива як поновлюваних ресурсів акумульованої сонячної енергії є одним із стратегічних напрямків розвитку цивілізації. Однак поширення використання біологічних енергоресурсів доволі складний процес, що потребує додаткових витрат для надання їм споживчих якостей. У той же час, постійний ріст цін на паливо та необхідність збереження природного середовища потребують зосередження зусиль на розробці методів та технічних засобів для забезпечення енергоавтономності сільськогосподарського виробництва.

Технічні та технологічні рішення, наведені в даному навчальному посібнику дадуть можливість раціонального вибору біоенергетичного обладнання для аграрного виробництва залежно від фінансових умов кожного конкретного господарства.

Розробку навчального посібника виконано на основі останніх досягнень провідних науковців в галузі технічної біоенергетики та результатів науково-дослідних робіт отриманих авторським колективом. Він містить актуальні узагальнення щодо конструкції, розрахунку та експлуатації біоенергетичних систем в аграрному виробництві. Серед них основні поняття щодо біоенергетичних систем в аграрному виробництві, основи виробництва і використання дизельного біопалива, біоетанолу, виробництва біогазу, використання біогазу на теплові потреби та для отримання електроенергії, механізації заготівлі соломи для енергетичного використання та виробництва енергетичних культур.

Навчальний посібник розроблено за фінансової підтримки Агентства ООН з питань промислового розвитку (UNIDO), а саме проекту "Підвищення енергетичної ефективності та стимулювання використання відновлюваних джерел енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах в Україні". Посібник розраховано для підготовки фахівців освітнього ступеня «Бакалавр» і «Магістр» машинобудівних та агроінженерних напрямів підготовки спеціалістів у вищих навчальних закладах України III-IV рівнів акредитації.

# 1. БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ

## 1.1. Роль енергоресурсів у виробництві та житлово-комунальному господарстві

Енергетичні ресурси в сучасних умовах необхідні, як для організації самого процесу виробництва так і для забезпечення потреб людей, що займаються цим виробництвом (рис. 1.1). Аграрне виробництво також неможливе без ефективного забезпечення енергоресурсами.



Рис. 1.1. Схема використання енергоресурсів у виробництві та житлово-комунальному господарстві

Якщо проаналізувати споживання енергоресурсів в Україні загалом та окремо в аграрному виробництві (табл. 1.1), то можна зробити висновок, що сільськогосподарське виробництво споживає незначну частку цих ресурсів. Проте, споживання бензину знаходиться на рівні 5 % від його загального споживання, а витрати дизельного палива – на рівні 23,5 % від загальної кількості витрат дизельного палива в країні.



Необхідно зауважити, що за одиницю умовного палива (у.п.) приймалася теплотворна здатність 1 кг кам'яного вугілля, що становить 29,3 МДж або 7000 ккал.

**Таблиця 1.1. Споживання енергетичних ресурсів у 2013 та 2014 рр.**

Вид енергоресурсів	Спожито		Сільське, лісове та рибне господарство			
			від загальної кількості у %		в натуральних одиницях	
	2013 р.	2014 р.	2013 р.	2014 р.	2013 р.	2014 р.
Усього, млн. т умовного палива	165,7	127,4	1,9	2,2	3,15	2,80
Вугілля, млн. т	71,3	53,9	0,1	0,2	0,0713	0,1078
Газ природний, млрд. м <sup>3</sup>	49,7	38,6	1,1	1,0	0,5467	0,3860
Бензин моторний, тис. т	4021,8	3106,1	4,6	4,9	185,0	152,2
Паливо дизельне, тис. т	6165,2	5437,3	22,1	23,5	1362,5	1277,8
Дрова для опалення, тис. м <sup>3</sup>	2892,5	2916,6	6,4	6,4	185,12	186,66
Електроенергія, млн. кВт. год.	183732	171507	1,6	1,7	2906	2940

Міжнародне енергетичне агентство (ІЕА) за одиницю умовного палива приймає нафтовий еквівалент, звичайно позначуваний абревіатурою ТОЕ (англ. Tonne of oil equivalent). Одна тонна нафтового еквівалента дорівнює 41,868 ГДж або 11,63 МВт год., або ж 10000 ккал.

## **1.2. Споживання енергоресурсів у аграрному виробництві**

Якщо поглянути на динаміку споживання енергоресурсів у сільському господарстві (табл. 1.2) то останніми роками відбувається незначне зростання споживання рідкого дизельного та твердого (дрова та вугілля) палива. Спостерігається зменшення використання природного газу та бензину. Споживання електроенергії залишається на стабільному рівні і залежить від сезонних чинників.

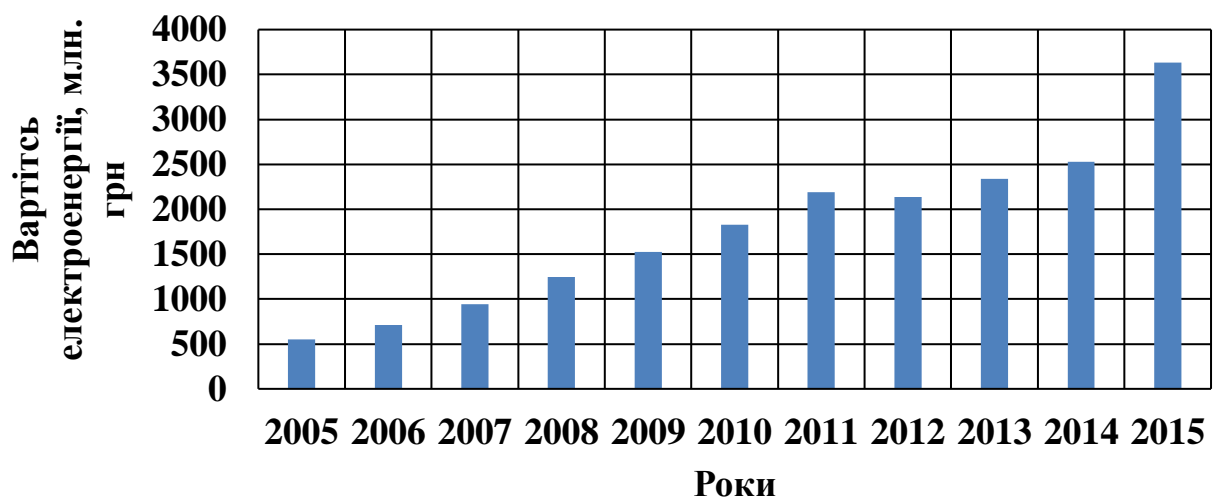
Серйозний вплив на ефективність сільськогосподарського виробництва мають наслідки подорожчання моторного палива (збільшення ціни палива на 1 грн./кг призводить до додаткових затрат в аграрному виробництві у розмірі

від 1,3 до 1,5 млрд. грн.). Дорожчає також газоподібне паливо. Так його ціна із 1390 грн/м<sup>3</sup> на початок 2015 року зросте до прогнозованих 7670 грн/м<sup>3</sup> на початок 2017 року.

Крім того, в зв'язку із ростом тарифів, значно зростають витрати на електроенергію спожиту в сільському господарстві (рис. 1.2).

**Таблиця 1.2. Динаміка споживання енергоресурсів у сільському господарстві України**

Ресурси	Роки														
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Дизельне паливо, тис. т	1821	1956	1834	1697	1687	1540	1154	1174	1233	1253	1201	1350	1319	1363	1278
Бензин, тис. т	506	1058	1077	971	976	888	317	299	289	216	232	224	204	185	152
Вугілля, млн. т	0,13	0,13	0,13	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,11
Газ природний, млрд. м <sup>3</sup>	0,27	0,39	0,46	0,51	0,58	0,65	0,57	0,54	0,64	0,60	0,61	0,69	0,59	0,55	0,39
Дрова для опалення, тис. м <sup>3</sup>	695	1050	1259	1171	1035	867	222	186	170	27	187	180	183	185	186
Електрична енергія, млн. кВт год.	–	–	–	–	–	2774	2814	3097	2916	2928	3054	2990	2829	2906	2940



**Рис. 1.2. Динаміка зміни вартості електроенергії спожитої у сільськогосподарському виробництві**

Саме тому необхідно приділяти увагу розробці енергозберігаючих технологій та відповідної техніки, використанню відновлюваного рідкого,

твердого та газоподібного палива, впровадженню переробки сировини на місцевому рівні, оптимізації інфраструктури і транспортних послуг. Всі ці інноваційні зміни забезпечать додаткову прибутковість сільськогосподарського виробництва в умовах росту цін на енергетичні ресурси.

### 1.3. Об'єкти біоенергетичних систем в АПК

Зважаючи на те, що в країнах членах ЄС спостерігається особливо стрімкий розвиток біоенергетичних систем, директивами Європейського Союзу заплановано в енергетичному балансі частку біомаси до 2020 року на рівні 20%.

В Україні також необхідний і доцільний розвиток виробництва і використання біопалива, що сприятиме підвищенню рівня енергетичної автономності та ефективності сільськогосподарського виробництва.

Розвиток виробництва і використання біопалива повинен здійснюватися в традиційних напрямках (рис. 1.3), а саме:

- виробництво і використання дизельного біопалива та біонафти;
- виробництво біоетанолу;
- виробництво і використання біогазу та піролізного газу (пірогазу);
- використання соломи та подрібненої деревини на теплові потреби, виробництво брикетів із незернових відходів та тирси.

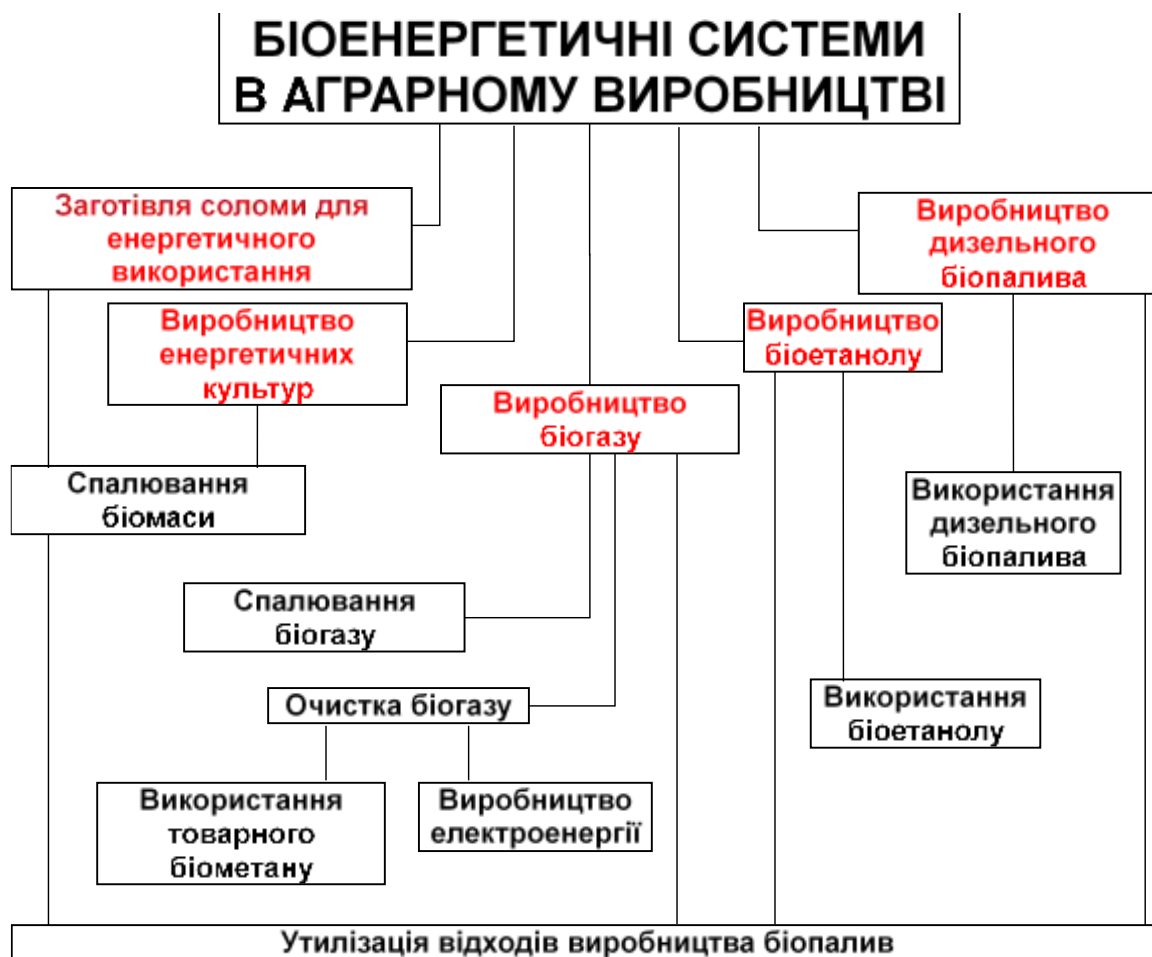


Рис. 1.3. Об'єкти біоенергетичних систем в аграрному виробництві

Очевидно, що на сучасному етапі перед людством постало декілька невідкладних проблем. Головні серед них – продовольча, енергетична та екологічна, розв'язання яких вимагає максимально ефективного збалансування харчових, сировинних та енергетичних потреб з можливостями агроєкосистем при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття біоценозів. Комплексне вирішення цих проблем спрямоване на подолання протиріччя, коли збільшення виробництва продуктів харчування або виробництва та споживання енергії призводить до порушення екологічної рівноваги та погіршення стану навколишнього природного середовища.

#### **1.4. Термінологія щодо базових об'єктів біоенергетичних систем в аграрному виробництві**

**Біоенергетика (bioenergy)** – це наука про загальні закономірності перетворення енергії в живих системах (клітинах, організмах, екосистемах).

**Технічна біоенергетика (technical bioenergy)** – це наука про загальні закономірності виробництва та використання енергії (твердого, рідкого та газоподібного біопалива) із джерел біологічного походження. Технічна біоенергетика це один з напрямів природоохоронної біотехнології (environmental biotechnology), пов'язаний з ефективним використанням енергії фотосинтезу.

**Біоенергетика аграрного виробництва (bioenergy agricultural production)** – галузь енергетики, заснована на виробництві та використанні палива із біомаси сільськогосподарського походження.

**Джерела енергії (power source)** – матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання. Енергетичні ресурси можна розподілити на *непоновлювані*: торф; вугілля; нафта; природний газ; радіоактивні елементи та *поновлювані*: тверда біомаса, біогаз; побутові та промислові відходи як паливо; енергія природних стихій.

**Біомаса (biomass)** – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу.

**Енергетичні культури (energy crops)** – це окремі види дерев та рослин, що спеціально вирощуються для виробництва твердого біопалива. Вони поділяються на три окремі групи: швидкоростучі дерева; багаторічні трави (міскантус та ін.); однорічні трави (сорго, тритикале). До енергетичних культур також належать традиційні сільськогосподарські культури, що вирощуються з метою виробництва дизельного біопалива (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза).

**Дизельне біопаливо (biodiesel)** – метилові або етилові естери вищих органічних кислот, отриманих із рослинних олій або тваринних жирів.

**Біоетанол (bioethanol)** – спирт етиловий зневоднений, виготовлений з біомаси або спирту етилового-сирцю.

**Біогаз (biogas)** – газ, отриманий при анаеробному зброджуванні біомаси (гній, послід, силос, осад стічних вод, тверді побутові відходи). Основними компонентами біогазу є метан (50-70 %) та вуглекислий газ (30-45 %).

**Безвідходне виробництво (cleaner production)** – процес виробництва, який забезпечує комплекс операцій з повним використанням усіх компонентів сировини.

**Біометан (biomethane)** – газ отриманий в результаті видалення CO<sub>2</sub> і інших домішок із біогазу.

**Когенерація (cogeneration)** – це процес виробництва двох видів енергії одночасно, зокрема, електричної та теплової.

**Когенераційна установка (cogeneration unit)** – установка комбінованого виробітку теплової і електричної енергії.

**Обертвий метантенк (rotary methane tank)** – біореактор виконаний у вигляді горизонтального циліндра, який обертається в рідині навколо горизонтальної осі, опираючись на протилежно розміщені осьові цапфи.

### **1.5. Концепція диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та біопалива в агроекосистемах**

Перспективною для України є концепція розвитку сільськогосподарського виробництва, яка виходить з того, що сільське господарство це екологічно безпечне, диверсифіковане (багатопрфільне) виробництво натуральних продуктів харчування із широким застосуванням органічних та помірним застосуванням мінеральних добрив, біологічних засобів захисту та сортів культур районаних в Україні. Така концепція забезпечує: розвиток тваринництва, яке виконує роль переробної галузі для продуктів рослинництва, та є джерелом фінансових надходжень і робочих місць. При прийнятті такої концепції техніко-технологічне забезпечення аграрного виробництва повинно бути здійснено на базі вітчизняної техніки, яка має бути придбана за власні кошти фінансово стабільних сільськогосподарських підприємств при посильній участі держави.

Також буде забезпечено стабільний розвиток сільських територій, збільшення біологічного різноманіття в агроекосистемах, при виробництві органічних продуктів харчування високої якості. У перспективі це призведе до фінансової стабілізації багатопрфільних сільськогосподарських підприємств, а відповідно і платежів у бюджет.

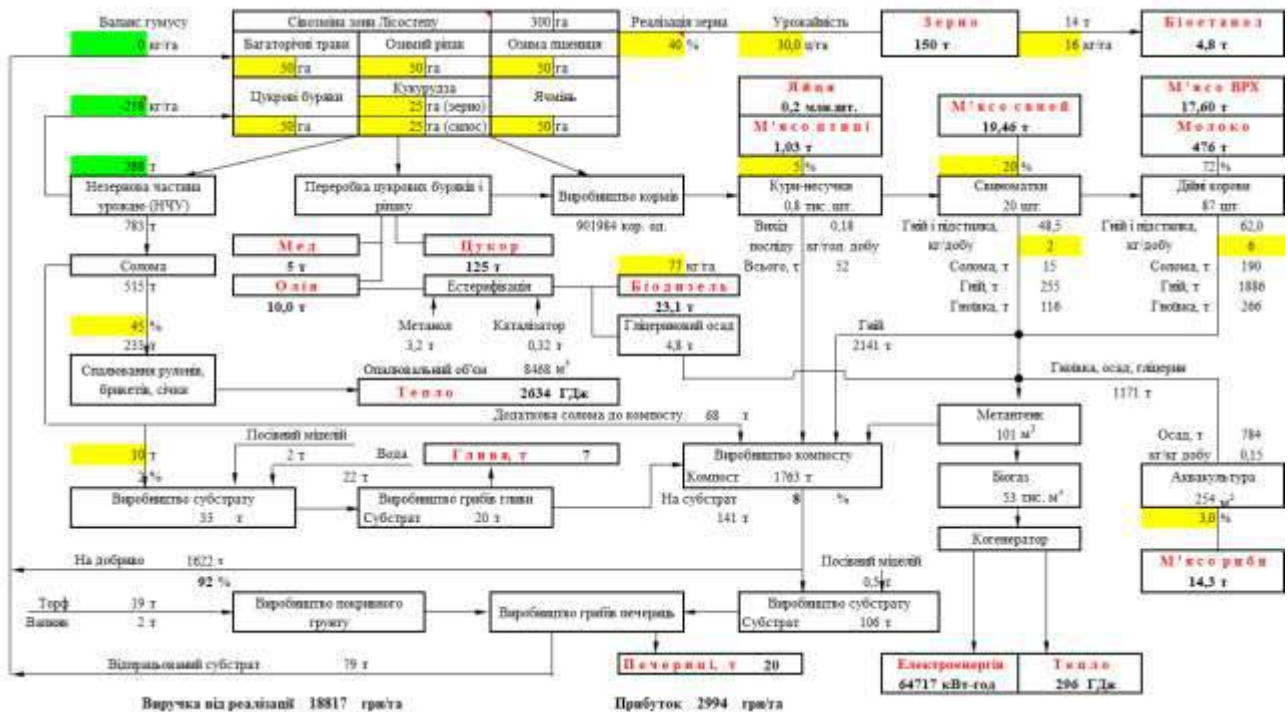
Відповідно до концепції екологічно безпечного, багатопрфільного сільськогосподарського виробництва, агроекосистема повинна мати такі структурні елементи, або напрямки виробництва: рослинництво, тваринництво та птахівництво, переробка та зберігання сільськогосподарської продукції, виробництво біопалива.

Як приклад вищезгаданої концепції розвитку на рис. 1.4. наведено структурну схему диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції з біоенергоконверсією органічної сировини та виробництвом біопалив, а також з наступним отриманням теплової та електричної енергії із

твердого та газоподібного біопалива для 6-пільної сівозміни загальною площею 300 га.

Представлена схема передбачає:

- вирощування польових культур сівозміни з виробництвом зерна та цукрових буряків;
- збирання соломи зернових культур та стебел ріпаку;
- залишення подрібнених стебел кукурудзи на полі у вигляді мульчі;
- виробництво кормів для тваринництва та аквакультури;
- виробництво продуктів тваринництва та аквакультури;
- метанове (анаеробне) зброджування гною або посліду з виробництвом тепла та електроенергії з біогазу;
- підготовку і використання соломи зернових культур та стебел ріпаку на теплові потреби у вигляді брикетів, рулонів або січки;
- використання соломи зернових культур, стебел ріпаку та зброженого гною або посліду для виробництва компосту;
- виробництво субстрату для вирощування печериць або гливи та виробництво грибів;
- виробництво дизельного біопалива з ріпакового насіння;
- використання гліцеринового осаду на теплові потреби або його анаеробне зброджування.



**Рис. 1.4. Структурна схема диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та біопалива в агроєкосистемах**

Спалювання соломи забезпечує одержання енергії, яка може бути використана для обігріву птахівничих, тваринницьких та адміністративних приміщень, а також сушіння зерна. Зброджування гною та пташиного посліду

потребує облаштування метантенків та забезпечує виробництво біогазу. Використання когенераційної установки, що працює на біогазі, дає змогу отримати 26 % електроенергії та 66 % від теплоенергії загальної енергетичної цінності біогазу. Одержана електроенергія може бути використана для роботи біогазової установки та інших потреб. Теплова енергія у вигляді нагрітої води може бути використана для опалення та гарячого водопостачання.

Споживання рідкого палива сільськогосподарським виробництвом становить від 50 до 110 л/га, в тому числі бензину від 10 до 30 л/га. Відведення одного з полів сівозміни під вирощування ріпаку дасть змогу в розрахунку на один гектар, виробити від 100 до 110 л біодизельного палива, а оскільки ріпак є прекрасним медоносом – ще й близько 5 тонн меду. Залежно від ситуації на ринку ріпакового насіння та дизельного палива господарство може прийняти рішення як про реалізацію насіння ріпаку і закупку дизельного пального, так і виробництво біодизельного палива або ж прийняти інше компромісне рішення. Під час виробництва біодизельного палива утворюється гліцериновий осад, який доцільно використовувати як рідке паливо в теплових процесах, що забезпечить виробництво додаткової енергії.

Широка мережа спиртових заводів дає можливість забезпечувати виробництво біоетанолу в достатніх обсягах для роботи автомобільного транспорту у сільському господарстві. Потреба в зерні для виробництва біоетанолу не перевищує 10 % загального обсягу реалізованого або 4 % обсягу виробленого в агроecosystemі зерна.

Залучення в енергетичний баланс біологічних видів палива як поновлюваних ресурсів акумульованої сонячної енергії є одним із актуальних завдань сьогодення. Однак поширення використання біологічних енергоресурсів – доволі складний процес, що потребує додаткових витрат для надання їм споживчих якостей. Споживачі палива технологічно та технічно налаштовані впродовж останнього сторіччя на використання концентрованих неоновлюваних джерел енергії. Для переходу до використання поновлюваних біологічних енергоресурсів необхідні значні капітальні витрати, однак щорічний дефіцит палива для виконання основних польових робіт та необхідність збереження природного середовища потребують зосередження зусиль на розробці методів та технічних засобів для забезпечення енергоавтономності сільськогосподарського виробництва.

Проте, використання енергетичного потенціалу біомаси обмежено відсутністю агропромислових технологій отримання енергії та відповідної техніки і обладнання, які адаптовані до умов функціонування конкретних агроecosystem (табл. 1.3). Причому, необхідно враховувати, що зменшення витрат енергії, збільшення продуктивності відповідних машин та обладнання, їх показників надійності й відповідності агротехнічним вимогам є основними напрямками удосконалення засобів механізації і обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

Процеси, машини та обладнання для отримання енергії із сільськогосподарської сировини повинні базуватись на безвідходних циклах

виробництва, що засновані на комплексному використанні природно-сировинних ресурсів.

Крім того, важливо формалізувати та оцінити, який вплив на ефективність агроєкосистеми здійснюють обсяги сировини, що використовується в якості енергетичних ресурсів.

### 1.6. Встановлення граничних обсягів сировини для виробництва біопалива в агроєкосистемах

Для твердого біопалива потенціал сировини рослинного походження становитиме:

$$CE = \sum_{i=1}^n s_i u_i [k_{III}^i - (k_{III}^{iB} + k_K^i)] - \sum_{j=1}^m N_j T_j m_{II}^j \quad (1.1)$$

**Таблиця 1.3. Механіко-технологічні особливості виробництва біопалива та отримання енергії в агроєкосистемах**

Переваги	Проблеми
<b>Виробництво біогазу</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– виробництво поновлюваної енергії;</li> <li>– виробництво екологічно чистих органічних добрив;</li> <li>– покращення санітарно-епідеміологічного стану довкілля;</li> <li>– широка різноманітність сировини, яка може застосовуватися для роботи біогазових установок.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– розшарування маси субстрату, що значно знижує ефективність виділення метану;</li> <li>– високі енерговитрати на перемішування субстрату.</li> </ul>
<b>Отримання теплової енергії</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– виробництво поновлюваної енергії;</li> <li>– наявність великого ресурсного потенціалу сировини доступної для конверсії у теплову енергію.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– відсутня структура технологічного процесу конверсії (спалювання чи переробки) незернової частини врожаю – соломи;</li> <li>– відсутні технічні засоби для дрібнотоварного спалювання соломи;</li> <li>– не вирішені проблеми рівномірності згоряння соломи в топці котла.</li> </ul>
<b>Виробництво дизельного біопалива</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– виробництво екологічно чистого палива для дизельних двигунів;</li> <li>– наявність великого ресурсного потенціалу для виробництва дизельного біопалива.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– складність технологій отримання дизельного біопалива;</li> <li>– існуюче обладнання не забезпечує необхідну ефективність протікання реакції метанолізу;</li> <li>– високі енергозатрати на перемішування емульсії.</li> </ul>

де  $CE$  – вихід із сівозміни біомаси соломи, яка може бути направлена на забезпечення для енергетичних потреб,  $t$ ;  $n$  – кількість культур в сівозміні;  $S_i$  –



площа виділена під вирощування  $i$ -ї культури, га;  $u_i$  – урожайність  $i$ -ї культури в сівозміні, т/га;  $k_{III}^i$  – коефіцієнт виходу соломи  $i$ -ї культури;  $k_{III}^{iB}$  – коефіцієнт, який враховує обсяг соломи, що залишається на полі після збирання  $i$ -ї культури;  $k_K^i$  – коефіцієнт надходження соломи на компостування;  $m$  – кількість видів поголів'я тварин та птиці;  $N_j$  – поголів'я тварин та птиці  $j$ -го виду;  $T_j$  – стійловий період поголів'я тварин та птиці  $j$ -го виду, діб;  $m_{II}^j$  – кількість соломи для підстилки для  $j$ -го виду тварин або птиці, т/голову за добу.

Потенціал біомаси виробництва біогазу:

$$BE = k_{BG} k_{BV} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_E^j + m_B^j + m_{II}^j) \quad (1.2)$$

де  $BE$  – вихід біогазу, м<sup>3</sup>;  $k_{BG}$  – коефіцієнт використання гною в біогазових установках;  $k_{BV}$  – коефіцієнт виходу біогазу в біогазових установках, м<sup>3</sup>/т;  $m_E^j$  – маса екскрементів  $j$ -го виду тварин або птиці, т/голову за добу;  $m_B^j$  – маса вологи, що надходить в екскременти  $j$ -го виду тварин або птиці, т/голову за добу.

Потенціал біомаси виробництва генераторного газу:

$$GE = k_{BGG}^i \left( \sum_{i=1}^n s_i u_i [k_{III}^i - (k_{III}^{iB} + k_K^i)] - \sum_{j=1}^m N_j T_j m_{II}^j \right) \quad (1.3)$$

де  $GE$  – вихід генераторного газу, м<sup>3</sup>;  $k_{BGG}^i$  – коефіцієнт виходу генераторного газу із біомаси соломи  $i$ -ї культури, м<sup>3</sup>/т.

Потреби агроєкосистеми в дизельному біопаливі та біоетанолі можна визначити виходячи із питомих витрат відповідних видів палива на 1 га ріллі та встановити площу вирощування культур, для забезпечення сировиною для виробництва відповідного виду палива:

$$s_D = \frac{N_D \sum_{i=1}^n s_i}{u_D k_{BKD} k_{BD}} \quad (1.4)$$

де  $s_D$  – площа необхідна для вирощування культури, що забезпечить агроєкосистему сировиною для виробництва дизельного біопалива, га;  $N_D$  – норма витрат дизельного біопалива, т/га;  $u_D$  – урожайність культури придатної для виробництва дизельного біопалива, т/га;  $k_{BKD}$  – коефіцієнт використання культури для виробництва дизельного біопалива;  $k_{BD}$  – коефіцієнт виходу дизельного біопалива;

$$s_E = \frac{EE}{u_E k_{BKE} k_{BE}}, \quad (1.5)$$

де  $s_E$  – площа необхідна для вирощування культури що забезпечить агроєкосистему сировиною для виробництва біоетанолу, га;  $EE$  – потреба в біоетанолі, т;  $u_E$  – урожайність культури придатної для виробництва

біоетанолу; т/га;  $k_{BKE}$  – коефіцієнт використання культури для виробництва біоетанолу;  $k_{BE}$  – коефіцієнт виходу біоетанолу.

Так, наприклад на основі існуючих показників, що характеризують сільськогосподарське виробництво України загалом упродовж останніх років, встановлено, що середнє значення граничних обсягів соломи, яку можна використати на теплові потреби у відсотках до загальної кількості соломи, має наступний вигляд:

$$C^{\%} = -0,57D + 48,66 \quad (1.6)$$

де  $C^{\%}$  – граничний обсяг соломи від загальної кількості, яку можна використати на теплові потреби, %;  $D$  – річний дефіцит гумусу, кг/га.

Слід зазначити, що при загальному дефіциті гумусу в межах від 80 до 90 кг/га, використовувати солому на теплові потреби уже неможливо із умови збереження родючості ґрунтів. Граничний обсяг соломи, яку можна використати на теплові потреби, при нульовому балансі гумусу, становить близько 50 %.

Таким чином, розвиток виробництва і використання біоенергетичних систем в АПК повинен бути направлений на виробництво і використання дизельного біопалива та біонафти, виробництво біоетанолу, виробництво і використання біогазу та піролізного газу (пірогазу), використання соломи та подрібненої деревини на теплові потреби, виробництво брикетів із незернових відходів та тирси.

Процеси, машини та обладнання для отримання енергії із сільськогосподарської сировини повинні базуватись на безвідходних циклах виробництва, що засновані на комплексному використанні природно-сировинних ресурсів.

**Лабораторна робота 1:** Визначити економічну ефективність функціонування агроєкосистеми з виробництва енергії на основі біологічних видів палива.

**Мета роботи.** Встановити величину фінансових надходжень в агроєкосистемі із виробництвом біопалив.

**Лабораторне обладнання.** Комп'ютерна імітаційна модель функціонування сільськогосподарського виробництва, що включає в себе, виробництво продукції рослинництва, тваринництва та грибівництва, виробництво олії, дизельного біопалива, біоетанолу, електроенергії й теплоенергії із біогазу та теплоенергії із соломи.

**Вихідні данні.** Площа сівозмінні – 300 га ріллі із вирощуванням озимої пшениці 50 га, кукурудзи на силос 25 га і зерно 25 га, озимого ріпаку 50 га, ячменю 50 га, цукрових буряків 50 га та багаторічних трав 50 га. Ціни реалізації виробленої продукції та енергії, а також їх собівартість виробництва наведені в табл. 1.4. Кількість виробленої продукції та біопалив, при урожайності базової культури – озимої пшениці 30 ц/га, наведена в табл. 1.5.

**Таблиця. 1.4. Ціни реалізації та собівартість виробленої продукції**

Вид продукції	Од. виміру	Собівартість виробництва	Ціна реалізації
Зерно пшениці	грн./т	1462	1872
Зерно кукурудзи	грн./т	1401	1768
Зерно ячменю	грн./т	1446	1711
Зерно ріпаку	грн./т	3242	4188
Цукрові буряки	грн./т	422	497
Яйця	грн./шт.	0,5	0,8
М'ясо птиці	грн./т	12815	10845
М'ясо свиней	грн./т	17477	18459
Молоко	грн./т	3283	3645
М'ясо ВРХ	грн./т	21284	13651
М'ясо риби	грн./т	10635	9295
Мед	грн./т	10500	15000
Гриби печериці	грн./кг	27	35
Гриби глива	грн./кг	22	39
Олія	грн./кг	9,5	20
Дизельне біопаливо	грн./т	15132	16640
Біоетанол	грн./т	14650	16700
Електроенергія	грн./кВт год.	0,56	0,86
Теплоенергія	грн./ГДж	30	90

На основі комп'ютерної моделі структурної схеми диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції (м'яса ВРХ, свиней, курей та риби, молока, яєць, меду, грибів гливи та печериць) та біопалив (олії, дизельного біопалива, біоетанолу, електроенергії та теплоенергії на основі біогазу та теплоенергії із соломи), визначаємо валові грошові надходження та прибуток у розрахунку на один гектар сівозміни за наступними виразами:

$$B = \sum \frac{O_i \cdot C_i}{S}; \quad Pr = \sum \frac{O_i \cdot (C_i - C_i)}{S},$$

де  $B$  – валові грошові надходження в розрахунку на один гектар сівозміни, грн./га;  $O_i$  – обсяг виробництва  $i$ -го виду продукції, т або млн. шт. для яєць,  $i$ -го виду біопалив, т та  $i$ -го виду біоенергії, кВт год. або ГДж;  $C_i$  – ціна реалізації  $i$ -го виду продукції, грн./т або грн./млн. шт. для яєць,  $i$ -го виду біопалив, грн./т та  $i$ -го виду біоенергії, грн./кВт год. або грн./ГДж;  $Pr$  – прибуток у розрахунку на один гектар сівозміни, грн./га;  $C_i$  – собівартість виробництва  $i$ -го виду продукції, грн./т або грн./млн. шт. для яєць,  $i$ -го виду біопалив, грн./т та  $i$ -го виду біоенергії, грн./кВт год. або грн./ГДж;  $S$  – загальна площа сівозміни, га.

Економічний аналіз виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив проводимо для трьох варіантів функціонування агроecosистеми:

**Таблиця. 1.5. Розрахунок вартості продукції та прибутку в залежності від структури виробництва продукції в агроєкосистемі**

Вид продукції	Од. виміру	Кількість	Приведені показники, грн./га	
			Вартість продукції	Прибуток
<b>Виробництво продукції рослинництва</b>				
Зерно пшениці	т	149	927	202,95
Зерно кукурудзи	т	83	490	101,77
Зерно ячменю	т	143	813	125,88
Зерно ріпаку	т	104	1451	327,79
Цукрові буряки	т	1255	2079	313,73
		Всього	<b>5759,72</b>	<b>1072,11</b>
<b>Виробництво продукції рослинництва, тваринництва та грибівництва</b>				
Зерно пшениці	т	89	556	121,77
Зерно кукурудзи	т	50	294	61,06
Зерно ячменю	т	86	488	75,53
Зерно ріпаку	т	104	1451	327,79
Цукрові буряки	т	1255	2079	313,73
Яйця	млн. шт.	0,2	541	200,17
М'ясо птиці	т	1	37	-6,78
М'ясо свиней	т	19,5	1198	63,71
Молоко	т	476	5783	574,36
М'ясо ВРХ	т	17,6	801	-447,75
М'ясо риби	т	14,3	444	-63,99
Мед	т	5	250	75,00
Гриби печериці	т	20	2303	526,41
Гриби глива	т	7	846	368,87
		Всього	<b>17070,60</b>	<b>2189,88</b>
<b>Виробництво продукції рослинництва, тваринництва, грибівництва, біопалив та біоенергії</b>				
Зерно пшениці	т	89	556	121,77
Зерно кукурудзи	т	36	213	44,28
Зерно ячменю	т	86	488	75,53
Цукрові буряки	т	1255	2079	313,73
Яйця	млн. шт.	0,2	541	200,17
М'ясо птиці	т	1	37	-6,78
М'ясо свиней	т	19,5	1198	63,71
Молоко	т	476	5783	574,36
М'ясо ВРХ	т	17,6	801	-447,75
М'ясо риби	т	14,3	444	-63,99
Мед	т	5	250	75,00
Гриби печериці	т	20	2303	526,41
Гриби глива	т	7	846	368,87
Олія	т	10	666	348,90
Дизельне біопаливо	т	23,1	1281	116,12
Біоетанол	т	4,8	267	32,80
Електроенергія	кВт год.	64717	186	64,72
Теплоенергія	ГДж	2929	879	585,89
		Всього	<b>18817,32</b>	<b>2993,74</b>

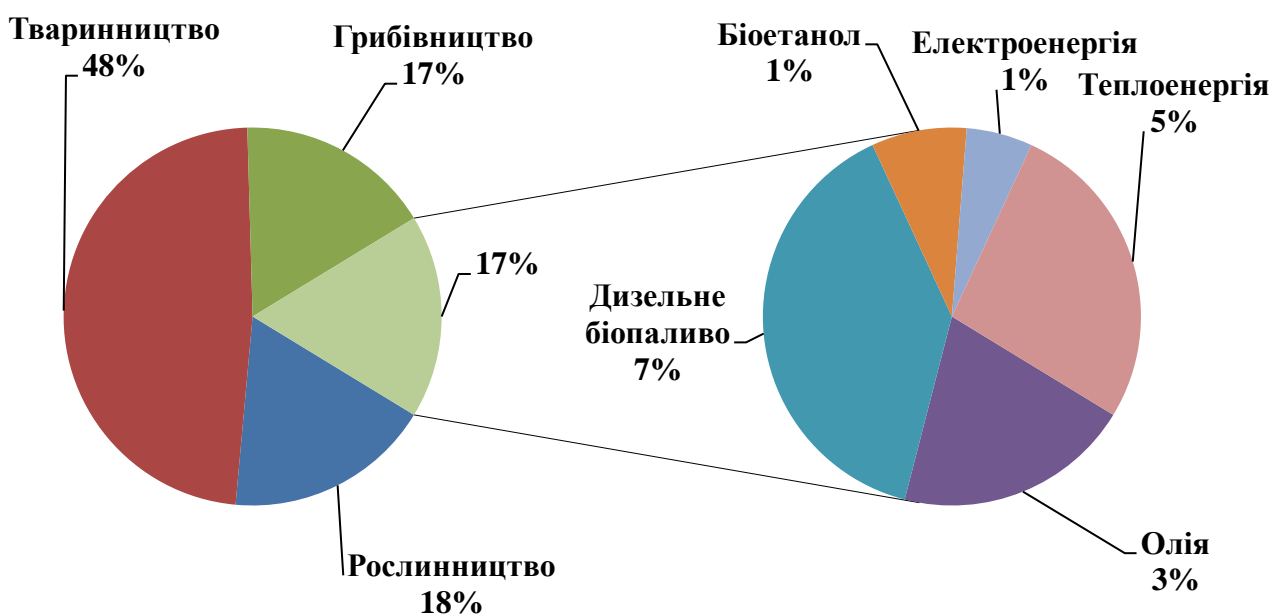
- із виробництвом лише продукції рослинництва;
- із виробництвом продукції рослинництва, тваринництва та грибівництва;
- із виробництвом продукції рослинництва, тваринництва, грибівництва, біопалив та біоенергії.

Отриманні значення валових грошових надходжень та прибутку в розрахунку на один гектар сівозміни приведено в табл. 1.5.

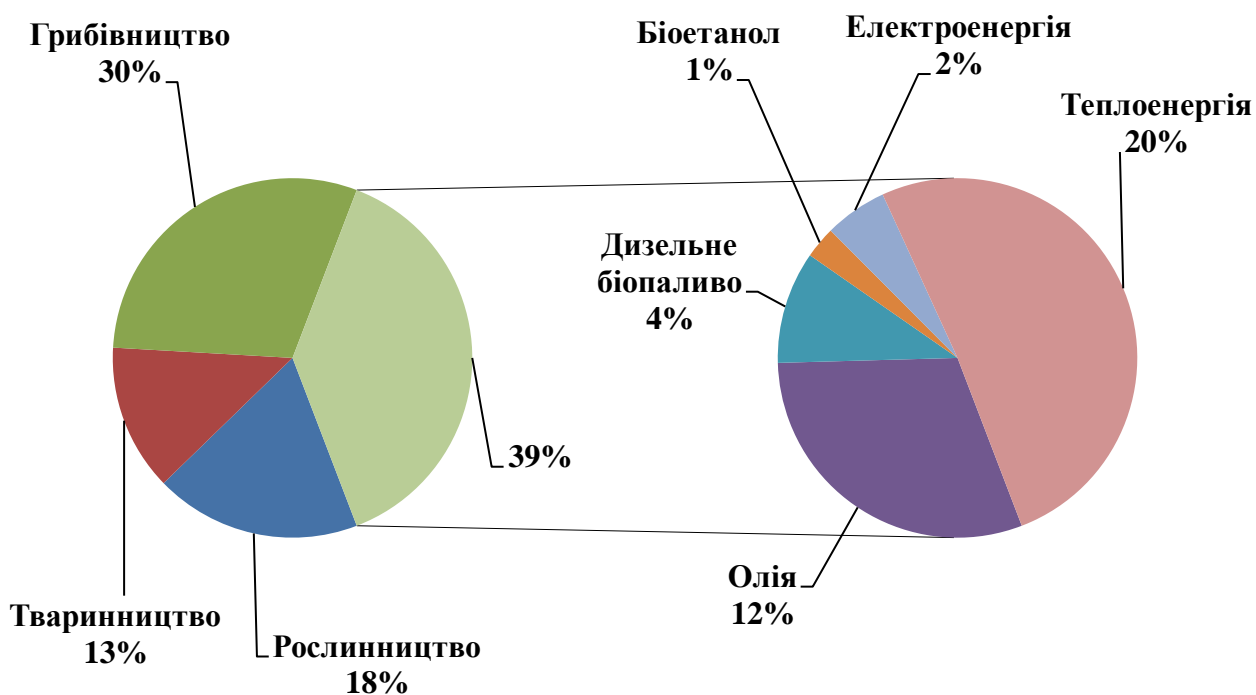
Після цього визначаємо питому вагу валових грошових надходжень та прибутків у розрахунку на один гектар сівозміни в агроєкосистемі із виробництвом біопалив та біоенергії шляхом побудови кругових діаграм на основі даних таблиці 1.6 (рис. 1.5 та 1.6).

**Таблиця. 1.6. Розрахунок надходжень коштів та прибутків в залежності від структури виробництва продукції в агроєкосистемі**

Галузь виробництва, вид біопалива та біоенергії	Вартість продукції, грн./га	Прибуток, грн./га
Рослинництво	<b>3335,91</b>	<b>555,30</b>
Тваринництво	<b>9053,45</b>	<b>394,73</b>
Грибівництво	<b>3149,28</b>	<b>895,28</b>
Олія	<b>666</b>	<b>348,90</b>
Дизельне біопаливо	<b>1281</b>	<b>116,12</b>
Біоетанол	<b>267</b>	<b>32,80</b>
Електроенергія	<b>186</b>	<b>64,72</b>
Теплоенергія	<b>879</b>	<b>585,89</b>



**Рис. 1.5. Структура надходжень коштів від виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив**



**Рис. 1.6. Структура прибутків від виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив**

Комп'ютерна модель структурної схеми диверсифікованого аграрного виробництва продукції та біопалив дозволяє розрахувати виробничі, технологічні та економічні показники агроєкосистеми при різних рівнях реалізації зерна та різних співвідношеннях розподілу наявної кормової бази для утримання поголів'я тварин та птиці.

Таким чином, агроєкосистема із виробництвом біопалив у порівнянні із системою без виробництва біопалива забезпечує збільшення валових грошових надходжень на 17 % та прибутку 39 % у розрахунку на один гектар сівозміни.

**Практична робота 1:** 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,  $B_I$  (кг/га):

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

Надходження гумусу в сівозміну за рахунок біомаси бур'янів, втрат соломи та незернової частини кукурудзи, гною та посліду,  $H_3$  (кг/га):

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

**Таблиця 1.7. 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.	$k_{ГB}$	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.	$k_{ГPB}$	0,2
Дефіцит гумусу при використанні біомаси бур'янів та рослинної біомаси, кг/га	$H_{PB}$	-197
Внесення збродженого посліду або гною, т	$OB_{П}$	2302
Вологість збродженого посліду, %	$W_{П}$	90
Коефіцієнт гуміфікації збродженого посліду, відн. од.	$k_{ГП}$	0,2
Баланс гумусу при використанні рослинної біомаси та посліду та гною, кг/га	$H_{П}$	-43

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:

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

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 1.8. 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
<b>Солома на теплові потреби, т</b>	<b>233</b>
<b>Солома на теплові потреби від біологічного урожаю, %</b>	<b>25,6</b>

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.

#### **Запитання для самоконтролю:**

1. Дайте визначення терміну технічна біоенергетика.
2. Вкажіть основні особливості технічної біоенергетики.
3. Які особливості біоенергетичних систем в аграрному виробництві?
4. Які джерела енергії в природі?
5. Які види біомаси в аграрному виробництві?
6. Дайте визначення терміну біогаз.
7. Назвіть основні види твердого біопалива.
8. Які види рідких біопалив можливо отримати в аграрному виробництві?
9. Який вид виробництва є безвідходним?
10. Яку роль енергоресурси відіграють у виробництві?
11. Яку роль енергоресурси відіграють у житлово-комунальному господарстві?
12. Який рівень споживання енергоресурсів у сільськогосподарському виробництві України?
13. Які об'єкти біоенергетичних систем в аграрному виробництві?
14. У яких напрямках повинен здійснюватися розвиток виробництва біопалива?
15. У яких напрямках повинен здійснюватися розвиток використання біопалива?



16. В чому сутність концепції диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та біопалива в агроекосистемах?
17. Які основні завдання сільськогосподарського виробництва?
18. Чому важливим є збільшення біологічного різноманіття в агроекосистемах?
19. Які блоки входять в структурну схему агроекосистеми із виробництвом біопалив?
20. Назвіть напрямки диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив в агроекосистемах.
21. Чим обмежено використання енергетичного потенціалу біомаси в аграрному виробництві?
22. Які основні механіко-технологічні особливості виробництва біопалива та отримання енергії в межах агроекосистеми?
23. Які основні переваги і недоліки виробництва і використання біогазу в аграрному виробництві?
24. Які основні переваги виробництва теплової енергії із сировини сільськогосподарського походження?
25. В чому полягають складнощі та переваги виробництва рідкого біопалива в аграрному виробництві?
26. Від чого залежать граничні значення обсягів сировини для виробництва біопалива?
27. Який вклад виробництва біопалив у структурі надходжень коштів та прибутків від виробництва сільськогосподарської продукції?

### **Література:**

1. Біопалива: Технології, машини, обладнання / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.]. – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
2. Биомасса как источник энергии : пер с. англ. / под ред. С. Соуфера, О. Забарски. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
3. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи / Г.А. Голуб. – К. : Аграрна наука, 2007. – 332 с.
4. Голуб Г.А. Біоенергоконверсія органічної сировини агроценозів із забезпеченням енергетичної автономності виробництва / Г.А. Голуб // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя. – 2008. – Вип. 3(3). – С. 3-7.
5. Голуб Г.А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроекосистем / Г.А. Голуб, В.О. Дубровін, О.А. Марус // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2 – С. 339-345.
6. Голуб Г.А. Технічне забезпечення органічного виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив. / Г.А. Голуб, В.С. Таргоня // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя: ІМТ НААН України. – 2011. – Вип. 2 (8). – 239 с. – С. 66-73.

7. Голуб Г.А. Техніко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроєкосистеми / Г.А. Голуб // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 4. – С. 303–312.
8. Голуб Г.А. Проблеми використання соломи в якості палива / Г.А. Голуб // – Вісник аграрної науки. – 2010. – № 8. – С. 49-52.
9. Голуб Г.А. Моделювання гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець // – Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – К.: 2014. – Вип. 196, ч. 2. – 336 с. – С. 20-27.
10. Енергетична оцінка агроєкосистем: навч. посіб. [О.Ф. Смаглій, А.С. Малиновський, А.Т. Кардашов та ін.]; за ред. О.Ф. Смаглія. – Житомир: ДАУ, 2002. – 160 с.
11. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник / С.О. Кудря // – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 492 с.
12. Кухарець С.М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб // Вісн. Житомир. нац. агроєколог. ун-ту. – 2012. – №1, т. 1. – С. 345–352.
13. Кухарець С.М. Механіко-технологічний підхід до конструювання агроєкосистеми / С.М. Кухарець // Вісн. Житомирського нац. агроєкол. ун-ту. – 2014. – № 1, т. 1(39). – С.187–197.
14. Кухарець С.М. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплив в агропромышленном комплексе / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб, С.В. Драгнев // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 69–76.
15. Кухарець С.М. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб // – Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей – Луцьк, Редакційно-видавничий відділ ЛНТУ, 2013. – Вип. 24. – С. 187-194.
16. Голуб Г. Особливості виробництва біопалива та отримання енергії в умовах агропромислового виробництва / Г. Голуб, С. Кухарець, В. Шубенко [та ін.] // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2015. – № 2 (65). – С. 31-34.
17. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України. [В.О. Дубровін, Л.Д. Романчук, С.М. Кухарець та ін.; відп. ред. Скидан О.В.]. – К.: Центр учбової л-ри, 2014. – 335 с.
18. Шелудченко Б.А. Вступ до конструювання природно-техногенних геоекосистем / Б.А. Шелудченко // – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2014. – 170 с.
19. Golub G. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems [Електронний ресурс] / G. Golub, V. Dubrovin, S. Kukharets [et al.] // Біоресурси планети і якість життя: міжнар. електрон. журн. – 2013. – Вип. 4. – Режим доступу: <http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/146/112>.

## 2. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

### 2.1. Технології виробництва олії та дизельного біопалива

На сьогоднішній час існує широке різноманіття технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива, однак не всі вони набули широкого поширення через проблеми із створенням обладнанням та їх малою ефективністю. Умовно всі технології можна розбити на дві групи (рис. 2.1 та 2.2): промислові та агропромислові (скорочений варіант промислових технологій, спеціально адаптованих для задоволення потреб аграрного виробництва у олії та дизельному біопаливі).



Рис. 2.1. Схема виробництва рослинної олії

Технологія виробництва рослинної олії включає наступні основні етапи: підготовка зерна до отримання олії; отримання та очистки олійної маси, а виробництва дизельного біопалива, крім того – естерифікацію та очистку метилового ефіру (дизельного біопалива).

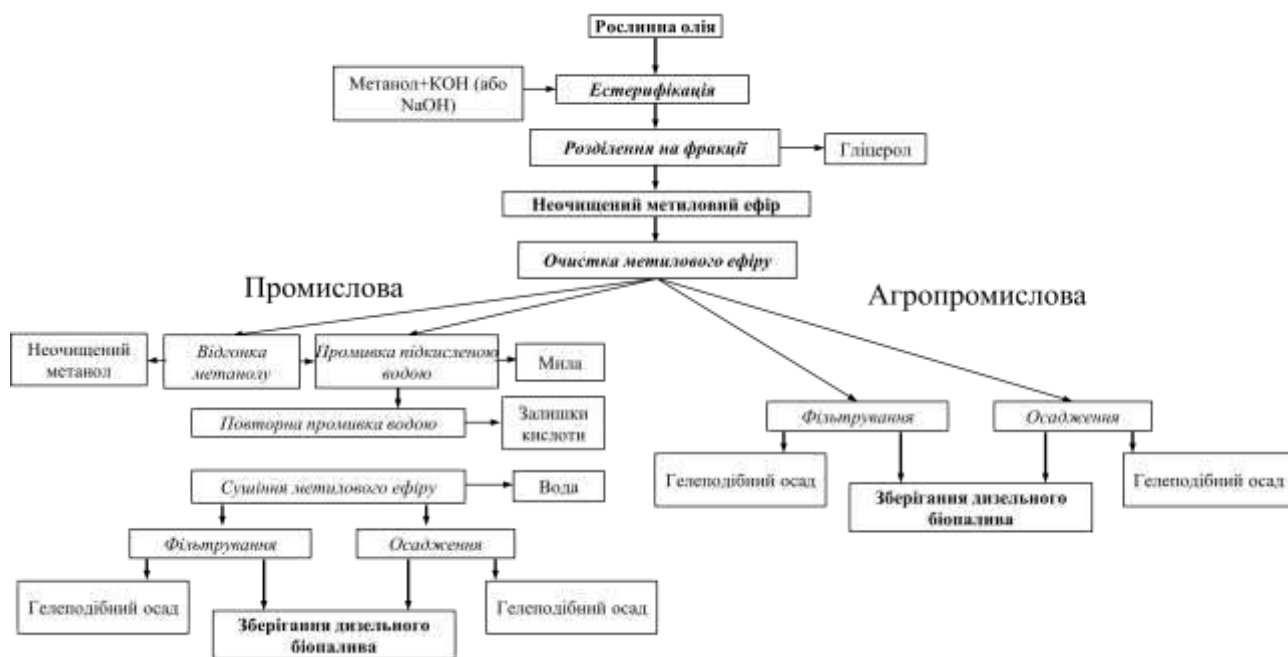
Промислова технологія виробництва рослинної олії традиційно використовується на олійно-жирових комбінатах, які переробляють олійну сировину. Вона складається із наступних етапів: приймання та очистки зерна від домішок, сушіння зерна, отримання та очистки олійної маси, рафінації; вінтеризації та повторної очистки олії.

Переваги промислової технології: висока якість виробленої продукції, більший термін придатності олії та вироблених з неї продуктів, більший вихід неочищеної олійної маси за рахунок використання методу екстракції.

До недоліків промислової технології можна віднести: значні витрати електроенергії, складність обладнання, втрата корисних поживних речовин під час рафінації.

Переваги агропромислової технології: менша кількість етапів виробництва (відсутні операції екстракції та волого-теплової обробки в отриманні сирової олії), простота та доступність обладнання, отримана олія має природний смак, запах та забарвлення, собівартість виробленої продукції нижча за рахунок менших витрат електроенергії.

Недоліками агропромислової технології наступні: отримана рослинна олія має нижчу якість, містить вільні жирні кислоти, фосфоліпиди, а також має менший термін придатності.



**Рис. 2.2. Схема виробництва дизельного біопалива**

Промислова технологія виробництва дизельного біопалива складається з таких основних процесів: естерифікації; розділення на фракції (дизельне біопаливо – легка фракція та гліцериновий осад – важка фракція), відгонки метилового спирту; промивки дизельного біопалива підкисленою водою та його зневоднення.

**Естерифікація** – це процес взаємодії суміші жирних кислот (тваринного або рослинного походження) зі спиртом (метиловим, етиловим та ін.) з використанням лужного каталізатора (KOH, NaOH) для прискорення проходження реакції, в результаті якого отримують дизельне біопаливо та гліцериновий осад (гліцерин, залишки спирту та ін.).

Реакція естерифікації проходить за таким наближеним виразом:

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 =  $0,9$  м<sup>3</sup> метилового ефіру (дизельного біопалива) та від 150 до 190 л гліцеринового осаду, визначимо коефіцієнт виходу дизельного біопалива за наступним виразом:

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

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:

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

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

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

Питому енергоємність виробництва дизельного біопалива визначають за виразом:

$$E = \frac{W}{V_{ДБП}} = \frac{1,395}{0,9} = 1,55 \text{ кВт год./м}^3$$

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.

### Запитання для самоконтролю:

1. Які основні операції технологічного процесу при використанні промислової технології виробництва рослинної олії?
2. Які технологічні операції відсутні в агропромисловій технології виробництва дизельного біопалива у порівнянні з промисловою?
3. Який відсоток рослинної олії виробляється в сільському господарстві за агропромисловою технологією?
4. Опишіть технологічну схему агропромислового виробництва дизельного біопалива із використанням двохступінчатого віджимання олії.
5. Які основні операції технологічного процесу отримання дизельного біопалива?

6. Які основні переваги невеликих заводів для агропромислового виробництва дизельного біопалива?

7. Яка необхідність застосування двохступінчатого віджимання для отримання рослинної олії?

8. Як може бути визначена ціна олії другого (гарячого) віджимання в залежності від ціни олії першого (холодного) віджимання у випадку, коли коефіцієнти виходу олії першого (холодного) та другого (гарячого) віджимання однакові?

9. Які основні недоліки застосування двохступеневої схеми виробництва рослинної олії?

10. За рахунок чого досягається економічна ефективність виробництва дизельного біопалива при застосуванні двохступінчатого віджимання?

11. Охарактеризуйте залежність ціни олії другого (гарячого) віджимання від ціни олії першого (холодного) віджимання.

12. Які основні недоліки існуючих установок для виробництва дизельного біопалива?

13. Від яких речовин необхідно очищати дизельне біопаливо?

14. Які реактори застосовуються для виробництва дизельного біопалива? Охарактеризуйте їх.

15. Які основні переваги невеликих заводів для агропромислового виробництва дизельного біопалива?

16. За рахунок чого досягається економічна ефективність виробництва дизельного біопалива?

17. Від яких факторів залежить собівартість виробництва дизельного біопалива?

18. Який вид перемішування суміші рослинної олії та метилату калію найефективніший?

19. Що являє собою процес естерифікації?

20. Який вихід дизельного біопалива із рослинної олії?

21. За якими показниками оцінюють якість виробленого дизельного біопалива?

22. Як змінюється кінематична в'язкість дизельного біопалива в залежності від концентрації метилату калію?

23. Як змінюється температура спалаху дизельного біопалива в залежності від часу його відстоювання з доступом повітря?

24. Як визначається коефіцієнт виходу дизельного біопалива?

25. Як визначається продуктивність процесу естерифікації рослинної олії в дизельне біопаливо?

26. Як визначаються питомі витрати електроенергії на виробництво дизельного біопалива?

27. Опишіть роботу обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням гідромеханічного перемішування.

28. Як залежать оберти гідромеханічної мішалки від частоти струму, що подається на електродвигун?

## Література:

1. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Голуб Г.А., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба] // К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
2. Голуб Г. Эффективность производства дизельного биотоплива в условиях фермерских хозяйств / Геннадий Голуб, Максим Павленко, Светлана Осауленко // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 16. № 4. – С. 263-268.
3. Голуб Г.А. Оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступінчастому віджиманні рослинної олії / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. – Вип. 194, ч.1. – С. 175-181.
4. Голуб Г.А. Аналіз технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива на її основі. / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, С.В. Лук'янець / Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ «Український наук.-досл. ін.-т. прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва ім. Леоніда Погорілого» (УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого); Редкол.: Кравчук В.І. (голов. ред.) та ін. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 391-399.
5. Голуб Г.А. Напрямки удосконалення виробництва і використання дизельного біопалива / Г.А. Голуб, В.В. Чуба, М.Ю. Павленко // Збірник наукових праць ВНАУ. – Вінниця, 2012. – Вип. 10, т.1 (58). – С. 20-23.
6. Голуб Г.А. Технологічна схема виробництва комбікормів та дизельного біопалива / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, О.М. Ачкевич // Вісник ЖНАЕУ. – Житомир: 2015. – Випуск №2 (50), т 1.– С. 364-368.
7. Голуб Г.А. Особливості установок для виробництва дизельного біопалива / Г.А. Голуб, В.В. Чуба, М.І. Вільова // Промислова гідравліка і пневматика (Всеукраїнський науково-технічний журнал). – 2011. – № 2 (32). – С. 91-95.
8. Голуб Г.А. Економічна ефективність виробництва дизельного біопалива в умовах фермерських господарств / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, С.В. Осауленко // Вісник ЖНАЕУ. – Житомир: 2014. – Випуск №2 (45), т 4. ч II – С. 272-278.
9. Голуб Г. Дослідження енергетичної ефективності циркуляційних реакторів-розділювачів / Г. Голуб, С. Кухарець, О. Осипчук [та ін.] // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць / ДНУ "УкрНДІ прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва імені Леоніда Погорілого" (УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого). – Дослідницьке, 2015. – Вип. 19 (33). – 502 с. – С. 276-282.
10. Golub G.A. Оценка сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двухступенчатом отжыме растительного масла / Gennadiy Golub,

Maksim Pavlenko, Natalia Olar // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 16. № 3. – С. 26-33.

11. Golub G.A. Эффективность использования оборудования для производства дизельного биотоплива / Gennadiy Golub, Maksim Pavlenko, Saveliy Kuharets // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2015. – Vol. 17. № 3. – С. 11-16.

12. Golub G.A. Совершенствование технологической схемы производства комбикормов и дизельного биотоплива / Gennadiy Golub, Maksim Pavlenko, Oksana Achkevych // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2015. – Vol. 17. № 4. – С. 187-191.

13. Dubrovin V.A. Možnosti a perspektivy výroby a použití kapalných biopaliv na Ukrajině / V.A. Dubrovin, A.I. Grigorovich, S.V. Dragnev [et all] // Sborník přednášek a odborných prací. – Praha, 2014. – P. 120-124.

14. Кухарець С.М. Аналіз процесу отримання біодизельного пального та обґрунтування основних параметрів реактора-розділювача / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб, В.М. Хрус // Сучасні проблеми збалансованого природокористування: Збірник наукових праць. Спеціальний випуск до ІХ науково-практичної конференції. / Подільський державний аграрно-технічний університет. – Кам'янець-Подільський, 2014. – 220 с. – С. 137-143.

15. Осейко М.І. Технологія рослинних олій: Підручник / М.І. Осейко – К.: Варта. – 2006. – 280 с.

16. Павленко М.Ю. Аналіз технологій виробництва рослинної олії / М. Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч.2. – С. 83-87.

17. Павленко М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М. Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч.1. – С. 161-166.

18. Павленко М.Ю. Енергомісткість гідромеханічного перемішування при виробництві дизельного біопалива / М.Ю. Павленко, Г.А. Голуб // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". – Суми: СНАУ, 2014. – Вип. 11 (26). – 135. – С. 39-41.

19. Golub G. Production and use of biodiesel in agrosystems / G. Golub, V. Dubrovin, M. Pavlenko [et all] // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering. Poznan, Puszczkowo, Poland: 2013. – P. 49-53.

20. Голуб Г.А. Перспективи використання обладнання з циркуляційним перемішуванням при виробництві дизельного біопалива / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець, М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: 2016. – Вип. 240. – 383 с. – С. 377-382.



### 3. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

#### 3.1. Основні властивості дизельного біопалива на основі рослинних олій як моторного палива

Дизельне біопаливо – це паливо, вироблене з рослинних олій або тваринних жирів, яке за своїми характеристиками подібне до дизельного палива і може використовуватись у дизельних двигунах, як в сумішах із дизельним паливом, так і в чистому вигляді.

Головна технічна проблема широкого впровадження дизельного біопалива полягає у необхідності адаптації існуючих дизельних двигунів до даного типу палива через відмінність деяких фізичних властивостей даного типу палива у порівнянні з дизельним паливом (табл. 3.1).

**Таблиця 3.1. Фізичні властивості дизельного палива, дизельного біопалива та ріпакової олії**

Характеристика	Дизельне паливо	Дизельне біопаливо	Ріпакова олія
Цетанове число, не менше	45	51	–
Густина, кг/м <sup>3</sup>	860	860–900	952
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	3,0–6,0	3,5–5	78,7
Температура розгонки, °С			
5%	214	326	300
50%	280	335	–
96%	370	341	–
Вміст води (за методом Карла Фішера), мг/кг	52	500	310
Масова частка сірки, % не більше	0,288	0,001	0,009
Температура спалаху в закритому тиглі не менше, °С	40	120	324
Гранична температура фільтрованості, °С не вище	-5	+5	–
Коксованість 10% залишку, % не більше	0,3	0,3	<0,01
Зольність, % не більше	0,01	0,02	<0,01
Вміст, %			
С	87	77,4	77
Н	12,6	12,3	12
О	–	10	11
Нижча теплота згорання, МДж/кг	42,5	37,1– 37,8	36

Аналіз даних табл. 3.1 показує, що дизельне біопаливо найбільш близьке за енергомісткістю та хімічним складом до дизельного палива, тому його застосування потребує мінімальних змін у системі живлення дизельного двигуна.

До переваг дизельного біопалива порівняно з дизельним паливом слід віднести:

- відновлювальність сировинної бази;
- значно меншу емісію вуглекислого газу, як парникового газу в атмосферу;
- кращі мастильні властивості, що зменшує зношуваність паливного насоса високого тиску та збільшує термін його служби;
- вищу пожежобезпечність, оскільки воно має вищу температуру самозаймання;
- вище цетанове число;
- практично повна відсутність сірки в паливі;
- відсутність шкоди при попаданні в навколишнє середовище, оскільки воно переробляється ґрунтовими мікроорганізмами упродовж 3-4-х тижнів.
- можливість його використання як у чистому вигляді, так і в суміші в будь-яких пропорціях з дизельним паливом.

До недоліків дизельного біопалива, котрі важко усунути тим чи іншим способом у процесі виробництва, слід віднести:

- вищу кінематичну в'язкість;
- вищу граничну температуру фільтрування та застигання;
- агресивну дію на натуральні резини та деякі еластомери;
- досить низьку окислювальну стабільність на відкритому повітрі;
- нижчу теплотворну здатність.

Нижча калорійність дизельного біопалива на величину від 13 до 15 % пояснюється меншим вмістом вуглецю в дизельному біопаливі, що призводить до збільшення годинної та питомої витрати палива. Наявність у дизельному біопаливі 10-11 % кисню дозволяє інтенсифікувати процес згорання і забезпечує підвищення температури згорання в циліндрі двигуна. Із одного боку це сприяє підвищенню індикаторного та ефективного коефіцієнту корисної дії двигуна, а з іншого – до збільшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Висока кінематична в'язкість дизельного біопалива впливає на процес його фільтрування, проходження по паливопроводах, а також на процес розпилення палива.

Однією із важливих характеристик дизельного палива, що забезпечує подачу та фільтрування палива є його рухливість при низькій температурі. Низькотемпературні властивості палива оцінюються температурами помутніння, при якій змінюється фазовий склад палива (поряд з рідкою фазою з'являється тверда), та застигання, при якій паливо повністю втрачає рухливість.

Вагомий вплив на властивості дизельного біопалива має вид рослинної олії з якого воно отримано, адже вміст жирних кислот у кожної рослини свій і змінюється в досить широких межах, і навіть у рослин одного виду може суттєво відрізнитися в залежності від сорту та умов вирощування. Склад жирних кислот рослинної олії обумовлює теплотворну здатність, в'язкість та

густину дизельного біопалива, які в свою чергу визначають особливості застосування та експлуатаційні параметри роботи МТА.

У таблиці 3.2 наведені основні властивості дизельного біопалива з олійних культур, які вирощуються в Україні та мають суттєвий вплив на використання дизельного біопалива.

**Таблиця 3.2. Властивості дизельного біопалива виробленого з основних олійних культур України**

Вид рослинної олії	Показники			
	Густина,* кг/м <sup>3</sup>	Кінематична в'язкість*, мм <sup>2</sup> /с	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	Об'ємний вихід біопалива, %
Ріпакова	878	7,7	135	86,5
Ляна	887	7,11	140	89,3
Соева	880	7,88	137	83,2
Рижієва	885	8,0	136	85,4
Гірчична	878	7,83	121**	86,5
Соняшникова	885	7,94	123**	83,3

\* – дані отримані при температурі 20 °С;

\*\* – температура спалаху у закритому тиглі.

Аналіз таблиці показує, що показники дизельного біопалива отриманого із різних рослинних олій суттєво не відрізняються, проте слід відмітити деякі відмінності щодо об'ємного виходу дизельного палива з рослинних олій.

У таблиці 3.3 наведені результати досліджень температури помутніння та застигання дизельного біопалива отриманого із найпоширеніших рослинних олій.

**Таблиця 3.3. Температура помутніння та застигання дизельного біопалива з різних рослинних олій**

Показник	Дизельне біопаливо на основі		
	соевої олії	соняшникової олії	ріпакової олії
Температура помутніння, °С	10,0	9,6	7,9
Температура застигання, °С	2,7	0,9	-0,8

Аналіз показує, що гранична температура навколишнього середовища, яка дозволяє експлуатацію дизельного двигуна без використання підігріву дизельного біопалива в паливному баці становить близько 10 °С.

Згідно виконаного аналізу властивостей дизельного біопалива на основі рослинних олій можна зробити наступні висновки:

– в якості палива для дизельних двигунів внутрішнього згорання найбільш підходить дизельне біопаливо на основі метилових ефірів жирних кислот рослинних олій;

- при використанні дизельного біопалива буде відбуватися збільшення його витрати у порівнянні з дизельним паливом;
- температура навколишнього середовища при якій можливо використання чистого дизельного біопалива становить вище ніж 10 °С.

### **3.2. Експлуатаційні параметри роботи дизельного двигуна при застосуванні дизельного біопалива**

На основі проведених експериментальних досліджень роботи дизельного двигуна Д-65Н на регуляторних характеристиках (рис. 3.1) встановлено, що при застосуванні дизельного біопалива та його сумішей потужність та крутний момент, який розвиває двигун, залишається на тому ж рівні як і при використанні дизельного палива, проте відбувається збільшення годинної та питомої витрати палива. Згідно із проведеними дослідженнями годинна витрата палива в режимі максимальної потужності при використанні дизельного біопалива склала 12,92 кг/год., дизельного палива – 11,50 кг/год., суміші 75 % дизельного палива та 25 % дизельного біопалива – 11,84 кг/год., суміші 50 % дизельного палива та 50 % дизельного біопалива – 12,27 кг/год. Питомі витрати палива для всіх зазначених видів палива склали відповідно 276 г/(кВт год.), 254 г/(кВт год.), 260 г/(кВт год.) та 248 г/(кВт год.). Зокрема при переході із дизельного палива на використання суміші 75 % дизельного палива та 25 % дизельного біопалива, витрата палива збільшується на величину від 2 до 8 %, при використанні 50 % дизельного палива та 50 % дизельного біопалива – на величину від 7 до 12 %, а при використанні чистого дизельного біопалива – на величину від 13,5 до 18 % в залежності від завантаження двигуна.

Подібні результати отримані при використанні дизельного біопалива та його сумішей і для двигунів інших марок.

Так при гальмівних випробуваннях двигуна Д-248 із використанням дизельного біопалива та його сумішей з дизельним паливом, отримано збільшення годинної витрати палива від 4 % до 18 % у залежності від складу паливної суміші. При роботі двигуна на паливних сумішах із часткою дизельного біопалива 40 %, 60 %; 80 % та 100 %, питома витрата палива відповідно склала 241; 243; 255 і 271 г/(кВт год.) проти 230 г/(кВт год.) при роботі на дизельному паливі, що на 3,5 %; 6,5 %; 11,3 % і 17,8 % більше, ніж питома витрата дизельного палива. При роботі двигуна Д-238 на дизельному паливі отримано результати які показали, що при досягненні однакової потужності витрата палива при роботі на дизельному біопаливі збільшується на величину від 12 до 20 %. Аналіз отриманих регуляторних характеристик роботи двигуна СМД-14Н (рис. 3.2) на дизельному паливі та дизельному біопаливі, а також їх сумішах із різною концентрацією показав, що відбувається зменшення ефективної потужності двигуна на 12 % на фоні одночасного збільшення питомої витрати палива від 10 до 17 % у залежності від концентрації дизельного біопалива в паливній суміші.

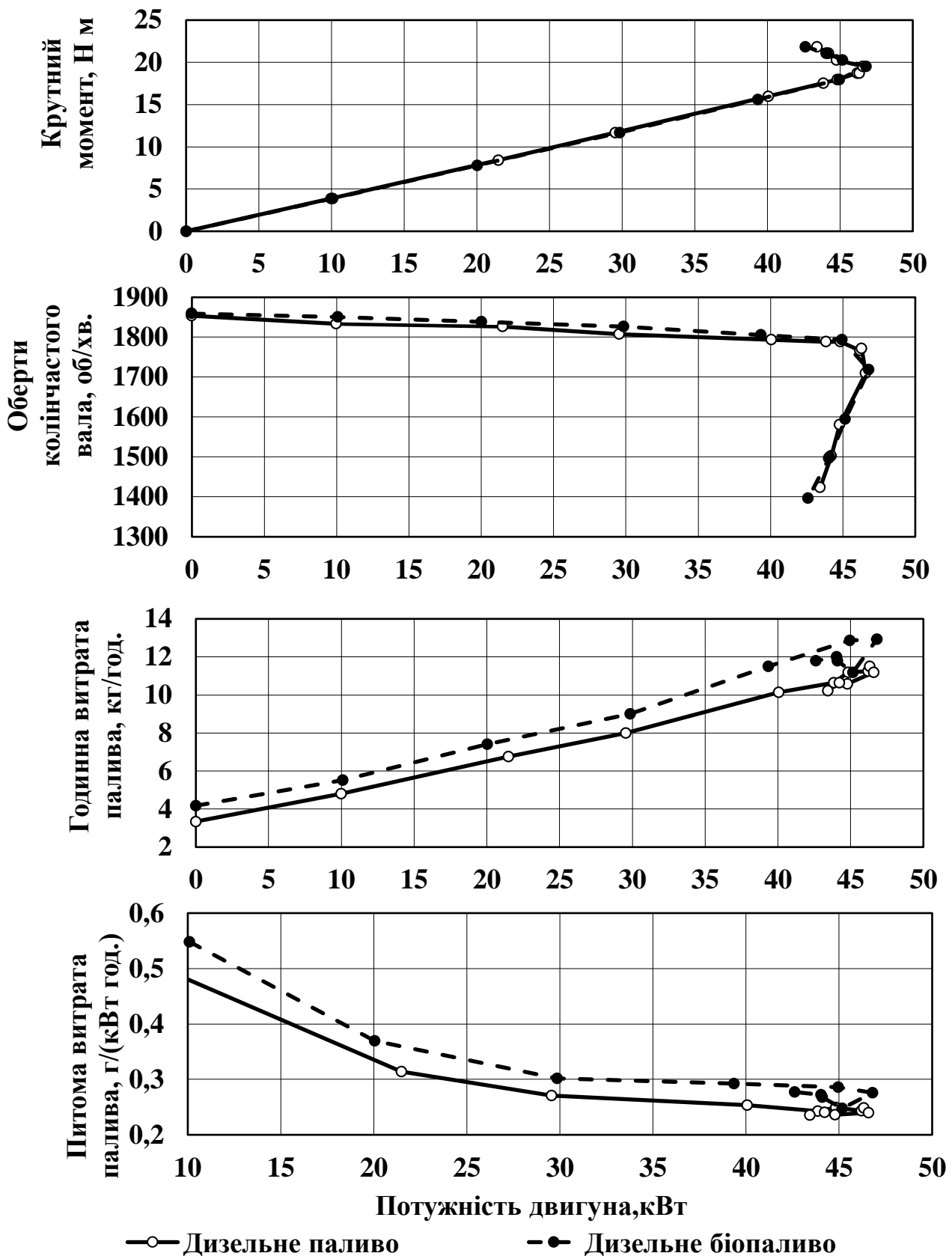


Рис. 3.1 Регуляторні характеристики двигуна Д-65Н

Збільшення витрати палива, що не відповідає різниці теплотворних здатностей дизельного біопалива та дизельного палива, більшість дослідників

$$Q_{ДБП} = k_{ЗВ} (Q_{ДП} - Q_{ДП}^Д) = 1,12 \cdot (10465 - 418) = 11252 \text{ л.}$$

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:

$$E = C_{ДП} (Q_{ДП} - Q_{ДП}^Д) - Q_{ДБП} \left( C_{ДБП} + \frac{(1 - k_{ЗРО})}{k_{ЗРО} T_{МО}} Q_{МО} C_{МО} \right) =$$

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

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.

### Запитання для самоконтролю:

1. Що являє собою дизельне біопаливо?
2. Яка головна технічна проблема широкого впровадження дизельного біопалива?
3. У чому головна відмінність дизельного біопалива від дизельного палива?
4. У чому головні переваги дизельного біопалива порівняно з дизельним паливом?
5. Які основні недоліки дизельного біопалива, котрі важко усунути тим чи іншим способом у процесі виробництва?
6. У чому полягають основні відмінності дизельного палива виробленого із різних рослинних олій?
7. Як змінюється при застосуванні дизельного біопалива та його сумішей з дизельним паливом потужність і крутний момент, який розвиває двигун?
8. Як змінюється при застосуванні дизельного біопалива та його сумішей з дизельним паливом питома і годинна витрата палива?
9. За рахунок чого підвищення температури дизельного біопалива перед впорскуванням покращує його згорання?

10. Який ефективний діапазон використання дизельного біопалива, при якому кінематична в'язкість не буде суттєво впливати на роботу дизельного двигуна для сумішей з дизельним паливом та чистого дизельного біопалива?
11. Опишіть систему двоступеневого підігріву дизельного біопалива.
12. При якій температурі нагріву дизельного біопалива досягається його мінімальна витрата?
13. Охарактеризуйте залежність питомої витрати палива від навантаження двигуна при використанні дизельного палива, дизельного біопалива без нагріву та із застосуванням нагріву палива.
14. Охарактеризуйте залежність питомих викидів чадного газу від навантаження двигуна при використанні дизельного палива, дизельного біопалива без нагріву та із застосуванням нагріву палива.
15. Охарактеризуйте залежність питомих викидів вуглеводневих сполук від навантаження двигуна при використанні дизельного палива, дизельного біопалива без нагріву та із застосуванням нагріву палива.
16. Охарактеризуйте залежність питомих викидів оксидів азоту від навантаження двигуна при використанні дизельного палива, дизельного біопалива без нагріву та із застосуванням нагріву палива.
17. Як впливає використання системи двоступеневого підігріву дизельного біопалива на перевитрату дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом нафтового походження?
18. Яких основних правил доцільно дотримуватися при використанні дизельного біопалива?
19. Які основні профілактичні роботи необхідно виконати перед початком експлуатації двигуна на дизельному біопаливі?
20. За рахунок чого досягається економічна ефективність застосування дизельного біопалива?
21. Як визначається витрата палива при роботі дизельного двигуна за допомогою обкатувально-гальмівного стенду?

### **Література:**

1. Адаптация тракторов и автомобилей к работе на биотопливе / Н. В. Краснощеков, Г. С. Савельев, А. Д. Шапкайц [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994. – №12. – С. 1-4.
2. Біопалива : Технології, машини, обладнання / [В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, І. П. Масло та ін.]. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
3. Виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій / [Голуб Г.А., Павленко М.Ю., Чуба В.В., Кухарець С.М.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба] // К. : НУБіП України, 2015. – 119 с.
4. Влияние свойств биотоплив на характеристики впрыскивания в камеру с постоянным давлением /И. П. Васильев, А. Хайлинг, М. Кайзер [и др.]// Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – С. 37-41.
5. Галушак О. О. Особливості акумуляторної системи живлення common rail при динамічному регулюванні відсоткового складу суміші дизельного та

біодизельного палив /О.О. Галушак// Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. –2014. – №2 (69). – С. 74-77.

6. Голуб Г.А. Визначення витрати палива машинно-тракторним агрегатом при польових випробуваннях / Голуб Г.А., Чуба В.В., Марус О.А. / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК – К.: 2015. – ВЦ НУБіП України, 2015. – Вип. 224. – 310 с. – С. 303-309.

7. Голуб Г. Дослідження нагріву дизельного біопалива перед впорскуванням до циліндрів двигуна / Г. Голуб, В. Чуба // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць / ДНУ "УкрНДІ прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва імені Леоніда Погорілого" (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого) – Дослідницьке, 2015. – Вип. 19 (33). – 502 с. – С. 271-275.

8. Голуб Г.А. Режими нагріву дизельного біопалива в паливному баці / Голуб Г.А., Чуба В.В., Зубко В.М. // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". – Суми: СНАУ, 2014. – Вип. 11 (26). – 135. – С. 70-74.

9. Голуб Г.А. Експлуатаційні параметри роботи двигуна при застосуванні дизельного біопалива / Голуб Г.А., Чуба В.В. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК – К.: 2014. – Вип. 196, ч. 1. – 448 с. – С. 23-31.

10. Голуб Г. Моделирование эксплуатационных показателей работы МТА на дизельном биотопливе / Г. Голуб, В. Чуба // MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. An International Journal on Operation of Farm and Agri-Food Industry Machinery. – Lublin-Rzeszow, 2014. – Vol. 16, No 3. – 358 с. – Р. 66-73.

11. Голуб Г.А. Оцінка витрати пального при застосуванні дизельного біопалива / Голуб Г.А., Чуба В.В. // Міжвідомчий тематичний науковий збірник "Механізація та електрифікація сільського господарства". – Глеваха, 2014. – Вип. 99. Т. 2 – 480 с. – С. 76-83.

12. Голуб Г.А. Математичне моделювання експлуатаційних показників роботи машинно-тракторного агрегату на дизельному біопаливі / Г.А. Голуб, В.В. Чуба // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК" – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. – Вип. 194, ч. 1. – 253 с. – С. 181-187.

13. Голуб Г. Экологические показатели работы двигателя Д-65Н на дизельном биотопливе / В. Чуба, Г. Голуб // MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. / An International Journal on Operation of Farm and Agri-Food Industry Machinery. – Lublin-Rzeszow, 2013. – Vol. 15, No 4. – 328 с. – Р. 172-179.

14. Голуб Г.А. Експлуатаційні параметри МТА при роботі на дизельному біопаливі / Голуб Г.А., Чуба В.В. // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві // Збірник наукових праць Інституту механізації



тваринництва Національної академії аграрних наук України. – Запоріжжя, ІМТ НААН України, 2012. – Вип. 2 (10). – 234 с. – С. 23-32.

15. ДСТУ 3868-99 Паливо дизельне. Технічні умови.

16. ДСТУ 6081:2009 Паливо моторне. Ефіри метилових жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги.

17. Звонов В. А. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив / Звонов В. А., Козлов А. В, Теренченко А. С. // Российский химический журнал. – 2008. – №6. – С. 147-151.

18. Надикто В. Вплив біодизеля на експлуатаційні показники роботи МТА / В. Надикто, В. Дідур, В. Федоренко // Техніка і технології АПК. – 2008. – №1. – С. 27-29.

19. Полищук В. Альтернативные дизельные топлива / В. Полищук, В. Дубровин, А. Полищук // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2012. – Т. 14. – С. 20-31.

20. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н.Ф. Разлейцев – Харьков: Вища школа, 1980. – 169 с.

21. Семенов В.Г. Визначення нижчої теплоти згорання біодизельного палива за хроматографічними даними / В. Г. Семенов, С. М. Черненко, С. М. Атамась // Вісник Кремен. держ. університету ім. М. Остроградського. Наукові праці КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 2., Ч. 1. – С. 87-91.

22. Семенов В. Г. Аналіз показників роботи дизелів на нафтових і альтернативних паливах рослинного походження / В. Г Семенов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Збірка наук. праць. Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. – № 3. – С. 177-197

23. Чуба В.В. Вплив підігріву дизельного біопалива на параметри впорску палива / Чуба В.В., Голуб Г.А. // Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих вчених, 9-10 грудня 2015 р. – Ніжин, 2015. – 184 с. – С. 101-102.

24. Шароглазов Б. А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: учебник / Б. А. Шароглазов, М. Ф. Фарафонов, В. В. Клементьев // – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 344 с.

25. Bondioli P. Evaluating the Oxidation Stability of Biodiesel. An Experimental Contribution. / P. Bondioli, L Folegatti // Rivista Italiana delle Sostanze Grasse. – 1996. – Vol. 73. – P. 349-353.

26. Correlating Chemical Structure and Physical Properties of Vegetable Oil Esters / Jr. de A Rodriguez, F. de P Cardoso, E. R. Lachter [and other] // JAOCS. – 2006. –Vol. 83 – P. 353-357.

27. Dunn R. O. Effects of minor constituents on cold flow properties and performance of biodiesel / R. O. Dunn // Progress in Energy and Combustion Science. – 2009 –Vol. 35/ –P. 481-489

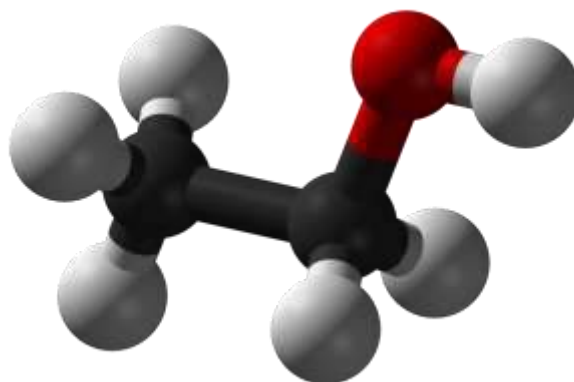
28. Monoyem A. The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel fueled engines / A. Monoyem, J. H. Van Gerpen, M. Canakci // Transactions of the ASAE. – 2001. –Vol. 44(1). – P. 35-42.

## 4. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

### 4.1. Загальні відомості про біоетанол

Світове виробництво біоетанолу як альтернативного палива для транспорту зросло із 17 млрд. літрів у 2000 до 85 млрд. літрів у 2012 році. Згідно з оптимістичними прогнозами, очікуваний об'єм виробництва біоетанолу в світі у 2020 р. складе 281,5 млрд. літрів при середньорічному темпі зростання об'єму ринку за період з 2016 по 2020 рр. 12,5%. За песимістичного прогнозу, очікуваний об'єм споживання біоетанолу в 2020 р. буде становити 187,5 млрд. літрів при середньорічному темпі зростання об'єму ринку біоетанолу в 2016-2020 рр. – 10%. У обох сценаріях у 2020 р. об'єм світової торгівлі біоетанолом складатиме до 10% від світового об'єму виробництва рідкого палива. Лідерами, як і раніше, залишаться США і Бразилія, їх сумарна частка у світовому виробництві до 2020 р. складатиме від 55 до 65%.

Просторова будова атому біоетанолу (хімічна формула  $C_2H_5OH$ ) приведена на рис. 4.1



**Рис. 4.1. Просторова будова атому біоетанолу (білий колір – водень, червоний колір – кисень, чорний колір вуглець)**

Україна споживає 4,5 млн. т бензину в рік. Власний видобуток сировини – нафти і газових конденсатів забезпечує лише 20% цієї кількості, решта бензину виробляється з імпортової нафти або завозиться із сусідніх країн.

Бензинова залежність країни може бути істотно знижена за рахунок виробництва і використання біоетанолу. Інтерес інвесторів до цього виду діяльності з'явився тільки після подолання бензином на АЗС у 2011 році цінового рівня 1,25-1,35 дол. США за літр. Собівартість етанолвмісних добавок становить 0,7-0,8 дол. США за літр. Будучи змішані з бензином, вони дають цілком пристойний бензин типу А-95, з низьким вмістом сірки і ароматичних вуглеводнів. На рис. 4.2 наведено приклади використання товарного біоетанолу.

Біоетанол – термін, який з'явився близько 15 років тому, для позначення етилового спирту, отриманого шляхом біохімічної переробки рослинної сировини. Етиловий спирт (етанол) може бути отриманий і чисто хімічним

шляхом з етилену, однак цей етанол вже не буде "екологічним", оскільки він вироблений із не відновлюваної вуглеводневої сировини. Спалювання такого етанолу призводить до зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері так само, як і спалювання природного газу та продуктів переробки нафти. При спалюванні ж біоетанолу вуглекислий газ, що вивільняється в атмосферу розглядається таким, що не викликає глобальне потепління, оскільки він зовсім недавно був засвоєний рослинами із атмосфери під час фотосинтезу. Термін "біоетанол" поширився в той час, коли виникла загальна занепокоєність наслідками антропогенної зміни клімату планети.



**Рис. 4.2. Заправка автомобіля біоетанолом E85 та вигляд пляшки денатурованого етанолу**

Таким чином, біоетанол – це безводний високооктановий етиловий спирт (октанове число становить 105), отриманий у процесі переробки рослинної відновлювальної сировини, методом ферментації цукрів мікроорганізмами, який використовується в якості моторного палива (містить не менше 99% етилового спирту). Використовується він також для виготовлення моторного сумішевого палива або добавок до моторного палива.

За результатами статичних напрацювань підприємств спиртової промисловості та науковців, фізико-хімічні показники біоетанолу унормовано до показників наведених у таблиці 4.1.

Біоетанол можна застосовувати в сучасних двигунах внутрішнього згорання (без зміни їх конструкції) до 15% у суміші з бензином, збільшуючи тим самим октанове число останнього, або безпосередньо як паливо. Біоетанол, на відміну від нафти, є однією з форм використання поновлюваних джерел енергії, які можна отримати з сільськогосподарської сировини. Крім біоетанолу, в технологічному процесі виробництва, також отримують цінну кормову добавку – барду.

**Таблиця 4.1. Якісні показники біоетанолу**

№ п/п	Назва показника	Норма показника	
		Марка А	Марка Б
1	Зовнішній вигляд та колір	Прозора безбарвна рідина або світло жовтого забарвлення	
2	Густина за температури $(20\pm 0,1)^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	від 787 до 792	
3	Температури при 760 мм рт. ст.: кипіння плавлення спалаху	78 -35 112	
3	Об'ємна частка води, %, не більше	0,2	
4	Масова концентрація сухого залишку, $\text{мг}/\text{дм}^3$ , не більше	100	
5	Об'ємна частка спирту етилового, %, не менше	97,8	98,3
6	Об'ємна частка метанолу, %, не більше	1,0	
10	Об'ємна частка бензину (вуглеводнів), %	від 1,0 до 1,5	

Біоетанол це вибухово-небезпечна речовина, адже пари спирту змішуючись із повітрям у концентрації від 2,8 до 13,7 % до об'єму повітря, мають здатність вибухати від джерела вогню або іскри, а концентровані водні розчини легко займаються і горять без утворення кіптяви. Біоетанол гігроскопічний, він абсорбує вологу із повітря. Пари є отруйним для людини, тварин, а також для мікроорганізмів, максимально допустима концентрація їх в повітрі – 1 мг/л.

На відміну від харчового спирту, з якого виробляються алкогольні напої, паливний етанол виготовляється шляхом скороченої дистиляції (дві ректифікаційні колони, замість п'яти), тому він містить метанол та сивушні масла і проходить процес денатурації бензином, що робить його непридатним для вживання.

Інтерес до етанолу, як паливу, виник набагато раніше, ніж людство помітило глобальне потепління. Він був обумовлений дефіцитом нафтового палива в деяких країнах і наявністю значних ресурсів для виробництва біоетанолу. Йдеться в першу чергу про Бразилію, уряд якої почав заохочувати використання біоетанолу в якості компонента палива для двигунів із іскровим запалюванням. Потім до процесу часткової заміни нафтового автомобільного палива біоетанолом стали підключатися США і Канада, країни Європи. На сьогоднішній день виробництво біоетанолу суттєво поширилось та стало одним із важливих напрямків розвитку світової економіки. Збільшення виробництва біоетанолу спричинило розширення посівів поновлюваної сировини – цукрової тростини, кукурудзи, інших зернових культур. Почалося виробництво багатопаливних двигунів із іскровим запалюванням, пристосованих до споживання палив із вмістом біоетанолу до 95%.

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 тонни 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, вирощеної на площі 100 тис. га.

### Запитання для самоконтролю:

1. Яку речовину називають біоетанолом?
2. Дайте характеристику біоетанолу?
3. Чим відрізняється біоетанол від етанолу?
4. Вкажіть основні етапи технологічного процесу виробництва біоетанолу.
5. Для чого потрібне зневоднення біоетанолу?
6. Який вихід біоетанолу із основних сільськогосподарських культур?
7. Що являє собою дистиляційна колона?
8. Що являє собою ректифікаційна колона?
9. Опишіть технологію отримання біоетанолу із крохмлевмісної сировини.
10. Опишіть технологію отримання біоетанолу із цукровмісної сировини.
11. Опишіть технологію отримання біоетанолу із цюлюлозовмісної сировини.
12. Опишіть технологічну схему виробництва спирту із крохмалевмісної сировини?
13. В чому сутність технології отримання біоетанолу із водоростей?
14. Які способи зневоднення біоетанолу Ви знаєте?
15. Що таке молекулярне сито?
16. Які країни є лідерами у виробництві біоетанолу?
17. Назвіть основні напрямки використання біоетанолу.
18. Як проходить зброджування сировини при виробництві біоетанолу?
19. Розкрийте сутність технологічного процесу оцукрювання сировини при виробництві біоетанолу.
20. Розкрийте сутність ензиматичного методу виробництва біоетанолу.
21. З якою метою подрібнюють зерно в процесі виробництва біоетанолу?
22. Які шляхи зменшення витрати води на приготування замісів при виробництві біоетанолу?

## Література:

1. Бейли Дж. Основы биохимической инженерии / Дж. Бейли, Д. Оллис. – М.: Мир, 1989. – Т. I. – 692 с.; Т. II. – 590 с.
2. Голуб Г.А. Інвестиційна привабливість виробництва і використання дизельного біопалива / Г.А. Голуб, С.В. Лук'янець // Економіка АПК. – 2013. – № 2. – С. 54-61.
3. Дебабов В.Г. Биотопливо / В.Г. Дебабов // Биотехнология. – 2008. – № 31. – С. 1-14.
4. Кириленко І.Г. Формування ринку українського біопалива: передумови, перспективи, стратегія / І.Г. Кириленко, В.В. Дем'янчук, Б.В. Андрющенко // Економіка АПК. – 2010. – № 4. – С. 62.
5. Коденська М.Ю. Обґрунтування необхідності розробки інвестиційних проектів у розвиток біоетанолової галузі на базі продукції цукровобурякового виробництва / М.Ю. Коденська – К.: ННЦ «ІАЕ», 2010. – 12 с.
6. Красінько В.О. Біоенергетика та охорона довкілля: конспект лекцій для студ. спец. 7.05140101 «Промислова біотехнологія» / В.О. Красінько. – К.: НУХТ, 2013. – 88 с.
7. Маринченко В.А. Спиртовые дрожжи в промышленном производстве спирта / В.А. Маринченко. – М.: Наука, 1999. – 230 с.
8. Месель-Веселяк В.Я. Ефективність альтернативних видів енергії в сільському господарстві України / В.Я. Месель-Веселяк, В.С. Паштецький // Економіка АПК. – 2011. – № 12. – С. 3-9.
9. Нетрусов А.И. Микробиология / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – М.: Академия, 2006. – 352 с.
10. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю. И. Дытнерскоо. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1991. – 494 с.
11. Рабинович М.Л. Производства этанола из целлюлозосодержащих материалов: потенциал российских разработок / М.Л. Рабинович // Прикладная биохимия и микробиология. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 5-32.
12. Синицин А.П. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов / А.П. Синицин, А.В. Гусаков, В.М. Черноглазов – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.
13. Скорук О.П. Пріоритетні напрями виробництва біоетанолу в Україні / О.П. Скорук, І.В. Зубар// Економіка АПК. - 2014. - № 2. - С. 36-42.
14. Соловей О.І. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії [Навчальний посібник] / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен та інші; [За заг. ред. О.І. Солов'я] – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – 490 с.
15. Технология спирта и спиртосодержащих продуктов / [Ильинич В.В., Устинников Б.А., Бурачевский И.И., Громов С.И.; под ред. В.В. Ильинича]. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383 с.
16. Технологии гидролизных производств / В.И. Шарков [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 408 с.

## 5. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕТАНОЛУ

### 5.1. Основні властивості біоетанолу як моторного палива

Біоетанол є одним із відновлюваних джерел енергії для двигунів внутрішнього згорання з іскровим запаленням.

Основні фізико-хімічні показники біоетанолу в якості моторного палива наведено в таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 Основні показники біоетанолу, який використовується в якості моторного палива у порівнянні з бензином**

Показники	Од. виміру	Вид палива	
		бензин	біоетанол
Щільність при 20°C	кг/м <sup>3</sup>	740	810
Нижча теплотворна здатність	МДж/кг	43,3-44	25-26,8
	МДж/л	32,5	20,25
Калорійність стехіометричної суміші	кДж/м <sup>3</sup>	3439-3910	3850
Теплота пароутворення	кДж/кг	330	850
Температура кипіння	°С	30-205	78
Температура спалаху	°С	230-260	404
Стехіометрична потреба в повітрі у процесі згорання	кг. пов./кг пал.	14,9	9
Октанове число:			
– за моторним методом	–	82-84	94
– за дослідницьким методом	–	92-100	108
Цетанове число	-	3-14	8
Температура полум'я в повітрі	°С	2062-2197	1962

Аналіз фізико-хімічних властивостей дає можливість стверджувати, що через меншу теплотворну здатність біоетанолу, при його використанні в чистому вигляді у порівнянні з бензином, витрата палива зростає на величину близько 70%. Вища теплота пароутворення вказує, що у порівнянні з бензином, при випаровуванні однакової кількості палива, необхідно підвести більше ніж у два рази теплоти для випаровування, тому запустити двигун при температурах навколишнього середовища меншій за 10°C, при використанні чистого біоетанолу, досить складно. Менша теплота згорання та кількість повітря, необхідна для згорання, вказує на необхідність серйозних змін налаштувань системи подачі палива та повітря при використанні біоетанолу в чистому вигляді. У цьому випадку подачу палива необхідно збільшити, а оскільки теплота пароутворення значно більша ніж у бензину, необхідно змінити величину кута запалювання. Високе октанове число біоетанолу дозволяє підвищити ступінь стиснення в циліндрах на величину від 12 до 14 відн. од. та збільшити при цьому потужність двигуна не змінюючи його об'єму. Високе октанове число дозволяє використовувати біоетанол для

приготування суміші дешевого низькооктанового бензину і, що не менш важливо, позбутися застосування отруйних антидетонаторів, таких як тетраетилсвінець, бензол, толуол, вуглеводні з бічними ланцюгами, метилтретбутиловий ефір, сполуки марганцю і т.д.

Виходячи із властивостей біоетанолу можна сформулювати його основні переваги при використанні в якості моторного палива:

- нульовий баланс CO<sub>2</sub>;
- широка сировинна база для його виробництва;
- невисока вартість виробництва у порівнянні з бензином;
- нетоксичний та розчинний у воді, тому не викликає забруднення ґрунту та ґрунтових вод;
- не містить сірки;
- відсутня детонація;
- пари біоетанолу розсіюються швидше, ніж пари бензину і вони менш вогнебезпечні через більш високі показники температури самозаймання;
- розроблені й успішно застосовуються автомобілі з двигунами FFV (Flexible-Fuel Vehicles), що працюють на E100 – азеотропа етанолу (96 % спирту і 4 % води).

Переваги біоетанолу при використанні в якості добавки до бензину:

- підвищує детонаційну стійкість бензину (кожні 3% біоетанолу, який додається, збільшують октанове число бензину на величину від 1 до 1,5 од.);
- при розливі бензину, присутній в ньому біоетанол розкладається природним чином швидше інших складових, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу;
- наявність кисню в складі молекули біоетанолу сприяє більш повному згоранню;
- при наявності 10% вмісту біоетанолу в бензині скорочуються вихлопи аерозольних часток до 50%, викиди чадного газу – на 30%, а викиди летючих органічних сполук – більш ніж на 25%;
- знижуються викиди оксидів азоту;
- робота звичайного автомобільного ДВС на сумішевому паливі з 10% біоетанолу не вимагає зміни конструкції двигуна;
- на сьогодні розроблено ряд паливних сумішей біоетанолу для ДВЗ: E5, E7, E10; E85, E95 (буква "E" від англійського Ethanol).

До недоліків використання біоетанолу необхідно віднести:

- нижча теплотворна здатність біоетанолу, що зумовлює більш високі витрати палива;
- підвищення тиску насиченої пари палива збільшує ймовірність утворення парових пробок у паливній системі;
- підвищені викиди альдегідів і випаровування вуглеводневих сполук (у середньому викиди альдегідів при роботі на спиртах приблизно в 2-4 рази вищі, ніж при роботі двигуна на бензині);
- використання паливних сумішей із вмістом біоетанолу більше 10% потребує внесення суттєвих змін в конструкцію двигуна;



- низька фазова стабільність суміші бензину з біоетанолом (не виключено розшарування при зберіганні);
- чинить негативний вплив на гумовотехнічні вироби та металеві матеріали в системі паливоподачі;
- необхідна організація автономної системи перекачування і зберігання спиртовмісних бензинів, яка б повністю виключала контакт палива з водою.

## 5.2. Світовий досвід використання біоетанолу

Придатність біоетанолу як енергоносія, в тому числі і як палива для карбюраторних двигунів внутрішнього згорання, була встановлена відразу ж після появи перших автомобілів. У 1979 році комісія ООН запропонувала широке застосування біоетанолу в якості палива, як спосіб зниження залежності від нафти. Відсоток вмісту біоетанолу в моторному паливі позначається літерою «Е», наприклад Е85 – суміш з 85% біоетанолу та 15% бензину.

У 1980 році в США було вироблено біля 9,2 млн. тонн біоетанолу і створено більше 1000 заправних станцій із так званим "газоходом" – сумішшю біоетанолу з бензином (рис. 5.1). Крім Сполучених Штатів, біоетанол як пальне широко використовується в Бразилії, Угорщині, Австрії, Німеччині, Італії, Польщі, Чехії, Словаччині та інших країнах.



**Рис. 5.1. Паливна колонка в Іст-Лансінг, штат Мічиган для продажу сумішевого палива марок Е10, Е15, Е30 і Е85.**

У Бразилії виробництво біоетанолу із цукро- і крохмалевмісної сировини для використання як пального для автомобілів було розпочато в 1975 році. Значну кількість біоетанолу як добавки до бензину виробляє Індія, яка забезпечує власні потреби у нафті значною мірою завдяки її імпорту. Індія має

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:

$$P_B = V_B C_B = 311,9 \cdot 200 = 62380 \text{ грн.}$$

Затрати на денатурацію біоетанолу становлять:

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

Загальні витрати на виробництво біоетанолу становитимуть:

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

Економія коштів від використання біоетанолу на заміну бензину становитиме:

$$\begin{aligned} P_{BB} &= N_B C_B - (Z_K + Z_D + Z_B - P_B) = \\ &= 25500 \cdot 20,74 - (200891,25 + 40022,6 + 148770 - 62380) = 201566,15 \text{ грн.} \end{aligned}$$

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

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

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.

### Запитання для самоконтролю:

1. Про що свідчить аналіз фізико-хімічних властивостей біоетанолу?
2. Які основні переваги використання біоетанолу в якості моторного палива?
3. Які основні переваги використання біоетанолу в якості добавки до бензину?
4. Які основні недоліки використання біоетанолу в двигунах?
5. Чим обумовлені перспективи використання біоетанолу у світі?
6. У яких країнах біоетанол найбільш розповсюджений і чому?
7. Що Ви знаєте про використання біоетанолу в США?

8. Що Ви знаєте про використання біоетанолу в Бразилії?
9. Що Ви знаєте про використання біоетанолу в країнах Євросоюзу?
10. Які особливості багатопаливного двигуна системи FFV?
11. Чи є перспективи використання біоетанолу в Україні?
12. На яких сумішах бензину з біоетанолом можуть працювати звичайні двигуни внутрішнього згорання?
13. Що потрібно змінити порівняно з роботою на бензині при збільшенні вмісту біоетанолу в паливній суміші?
14. Розкрийте особливості використання біоетанолу в двигунах внутрішнього згорання?
15. Які види палива із вмістом біоетанолу Ви знаєте? Назвіть їх марки.
16. Які особливості двигунів, що використовують біоетанол?
17. Які способи подолання недоліків використання біоетанолу в двигунах?
18. Які переваги використання біоетанолу в двигунах?
19. Які є ризики при використанні біоетанолу в якості моторного палива?
20. При яких значеннях кута випередження запалення досягається мінімальна витрата бензину із 10% та 20% добавкою біоетанолу?
21. Яка перевитрата палива порівняно з штатним бензином при оптимальному значенні кута випередження запалення за умови живлення автомобіля бензином із 10% та 20% добавкою біоетанолу?
22. Наскільки сумарні масові викиди, зведені до CO, при живленні бензином з 10% та 20% добавкою біоетанолу менші порівняно з бензином?
23. Наскільки збільшується годинна та питома витрата палива при застосуванні суміші з вмістом 10% біоетанолу?

### Література:

1. Захарченко М. О. Покращення паливної економічності та екологічних показників автомобілів раціональним використанням бензинів з добавками біоетанолу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Київ:, 2008. – 28 с.
2. Карпов С.А. Автомобильные топлива с биоэтанолом / С.А. Карпов, В.М. Капустин, А.К. Старков – М.: Колос, 2007. – 216 с.
3. Коденська М.Ю. Обґрунтування необхідності розробки інвестиційних проектів у розвиток біоетанолової галузі на базі продукції цукровобурякового виробництва / М.Ю. Коденська. – К.: ННЦ «ІАЕ», 2010. – 12 с.
4. Міністерство сільського господарства США [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ers.usda.gov/media/521667/corndatatable.htm>.
5. Мельничук О.І. Проблеми та перспективи розвитку спиртової галузі України в контексті виробництва біопалива/ О.І. Мельничук // Економіка і держава – 2012. – № 2. – С. 15-21.
6. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні / [М.В. Роїк, В.Л. Курило, О.М. Ганженко та ін.] // Цукрові буряки. – № 2-3 (86-87), 2012. – С. 6.

7. Присяжнюк О.І. Аспекти використання біоетанолу як альтернативного джерела енергії / О.І. Присяжнюк, І.Л. Шевченко // Цукрові буряки. - №3, 2009. – С. 14-15.

8. Пришляк Н. В. Біоетанол з цукрових буряків та ефективність його виробництва в Україні / Н. В. Пришляк // Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. Сер.: Економічні науки. – 2014. – № 7. – С. 280-288.

9. Пришляк Н. В. Аналіз розвитку ринку біоетанолу у Бразилії / В. М. Пришляк, Л.Г. Михальчишина, Н.В. Пришляк // Економічний аналіз : зб. наук, праць Тернопільського національного економічного університету. – Тернопіль : Економічна думка, 2012. – Випуск 10. – Частина 1. – С. 340-342.

10. Пришляк Н. В. Аналіз стану та перспектив розвитку ринку біоетанолу в США / Н. В. Пришляк, Л. В. Гуцаленко // Інноваційна економіка : всеукраїнський науково-виробничий журнал. – 2013. – № 6 [44]. – С. 154-157.

11. Система використання біоресурсів у новітніх біотехнологіях отримання альтернативних палив [Блюм Я.Б., Григорюк І.П., Дмитрук К.В. та ін.]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2014. – 360 с.

12. Сергеева Н. Працюємо на перспективу. Аграрний тиждень. Україна. 17 липня 2015 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://a7d.com.ua/machines/21566-pracyuemo-na-perspektivu.html>.

13. Спиртовмісні палива / Є.В. Полункін, С.О. Зубенко, О.О. Гайдай, О.В. Кузнєцова // Вісник НАУ. – 2010. – №2. – С. 137-141.

14. Технологія спирту. В.О. Маринченко, П.Л. Шиян, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер. / Під. ред. проф. В.О. Маринченка . – Вінниця: "Поділля-2000", 2003. – 496 с.

15. Ткаченко Н.М. Шляхи подолання кризових явищ у цукровій промисловості / Н.М. Ткаченко, О.О. Ткаченко // Науковий журнал «Економіка АПК». – 2009. – № 8.

16. Третяк В. Трактори. Що вигідно і що є. Аграрний тиждень. Україна. 18 березня 2015 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://a7d.com.ua/machines/16271-traktori-scho-vigdno-scho-ye.html>.

17. Туркільян Т. «Укрспирт» врятує виробництво біоетанолу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/Ukrspirt-vryatuye-vyrobnytstvo-bioetanolu-/>.

18. Biofuels Annual report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.usda-france.fr/media/Biofuels%20Annual\\_The%20Hague\\_EU-27\\_6-25-2012.pdf](http://www.usda-france.fr/media/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-27_6-25-2012.pdf).

19. Bastos M.V. Brazil's Ethanol Program – An Insider's View / Milton Briquet Bastos // Energy Tribune. Retrieved 2008-08-14.

20. Біоетанол [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.

21. Pryshliak N. V. Perspectives of bioethanol production of sugar beets in Ukraine / N. V. Pryshliak // Економіка АПК : міжнародний науково-виробничий журнал. – 2014. – № 3. – С. 126-131.

## 6. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

### 6.1. Сучасні тенденції розвитку технологій видалення та використання гною

Одним з елементів безвідходного виробництва сільськогосподарської продукції є переробка і використання гною. Низькі дози внесення органічних добрив не забезпечують компенсації втрат гумусу, що призводить до погіршення біологічних властивостей ґрунту і його деградації.

У зв'язку з цим, виникає необхідність у переробці гною великої рогатої худоби (ВРХ) та свиней, питома вага яких в загальній кількості гною найбільша, в повноцінні органічні добрива з використанням технологій біогазового зброджування і компостування.

У процесі переробки гній фермських підприємств є джерелом для отримання газоподібного палива на основі біометану, а також компостів на основі підстилкового гною і гноївки після метанового зброджування, які повинні бути основним видом органічних добрив у рослинництві.

Гноївка – рідина, яка виділяється із гною при його видаленні та зберіганні. Її використовують для виробництва компостів, як рідке органічне добриво і в якості біосировини в біогазових технологіях.

Одним з найважливіших принципів виробництва компосту є додавання у вихідну суміш вуглецевих матеріалів, які є основним компонентом дихання і живлення мікроорганізмів і які здійснюють процес аеробного зброджування. При закладці матеріалів на компостування потрібно витримувати певне співвідношення між азотом і вуглецем. Для підтримки заданого балансу, багаті азотом матеріали насичують вуглецевими матеріалами, зокрема до гною додають відповідну норму підстилки. Для того, щоб процес компостування йшов у потрібному напрямку, компостна суміш повинна мати вуглець і азот у співвідношенні  $C:N = 20-30:1$  ( $C$  – кількість вуглецю,  $N$  – кількість азоту).

При використанні гною для виробництва біогазу виділяють дві технології: рідкофазну і твердофазну. При твердофазній технології виникають труднощі, пов'язані із забезпеченням оптимальних умов протікання мікробіологічних процесів ферментації біомаси. У першу чергу це стосується завантаження і гомогенізації біомаси, яка надходить на зброджування. Застосування рідкофазної ферментації є більш поширеним у практиці використання біогазових установок. При цьому, забезпечують безперервне введення невеликими порціями вхідної біомаси в метантенк, який представляє собою ємність-змішувач, де підтримується задана вологість і температура без доступу повітря.

Температурний оптимум процесу метанового зброджування лежить в межах від 35 до 55<sup>0</sup>С, крім того у рідкому гної міститься значна кількість мінеральних включень наявність яких не бажана при внесенні гною до біогазової установки, так як вони не беруть участі у метановому зброджуванні.

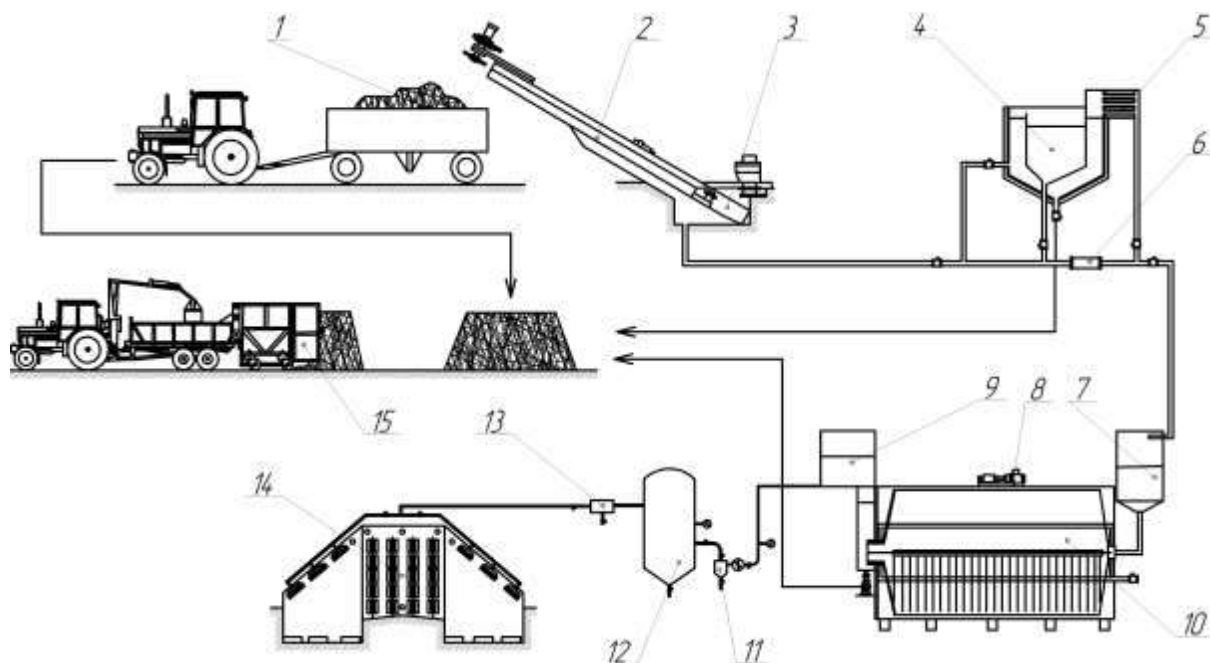
Система видалення гною із приміщень для тварин і добовий обсяг гною істотно позначаються на обсягах гноєсховищ, а отже, на капітальних витратах,

необхідних для їх спорудження. Крім того, при накопиченні сировини необхідно враховувати ту обставину, що з часом гній втрачає азот та органічну речовину, що багато в чому визначає ефективність наступного етапу його використання для виробництва компосту та отримання біогазу.

Слід зазначити, що метанове зброджування не забезпечує знезараження гною, який піддається ферментації в біогазових установках, крім того у разі відкритого зберігання відходів зброджування виділяється метан. Так, наприклад, відповідно до законів Німеччини про поновлювані джерела енергії, підвищена увага приділяється закритим сховищам для зберігання біомаси після зброджування. Розміри таких сховищ, як правило, споруджують об'ємом, який забезпечував би утримання зброженої біомаси не менш ніж 180 днів.

При вирішенні задачі збору і нагромадження вихідної сировини варто враховувати прийняту в конкретному господарстві систему видалення гною із приміщень для тварин, добовий обсяг гною і його склад.

Нами запропоновано технологію (рис. 6.1), яка передбачає збір суміші гною і підстилки вздовж зони утримання тварин, її поділ на гноївку і підстилковий гній, видалення їх з тваринницького приміщення та подальше використання гноївки для анаеробного зброджування з отриманням біогазу, а підстилкового гною, який містить підстилку, для компостування і подальшого використання отриманого компосту як органічного добрива.



1 – підстилковий гній; 2 – похилий транспортер-розділювач; 3 – гнієзбірник; 4 – підігрівач-витримувач; 5 – теплообмінник; 6 – насос; 7 – теплообмінник; 8 – приводна станція біореактора; 9 – інокулятор; 10 – біореактор; 11 – вологовіділювач; 12 – газгольдер; 13 – газовий редуктор; 14 – теплиця; 15 – майданчик і обладнання для компостування

Рис. 6.1. Удосконалена технологічна схема видалення та переробки гною

Запропонована технологічна схема дозволяє: розділяти гній на гноївку і підстилковий гній транспортером-розділювачем; підготувати гноївку до метанового бродіння у підігрівачі-витримувачі за рахунок аеробної ферментації та підігріву; провести анаеробне зброджування гноївки і завершити процес переробки шляхом компостування підстилкового гною та збродженої гноївки, після чого отримані продукти використати в якості органічних добрив.

Із збільшенням дози внесення підстилки спостерігається зменшення виходу гноївки при незмінному значенні вологості. Нами отриманого графік залежності виходу гноївки від виду тварин при внесенні різної дози підстилки при величині максимальної водоутримуючої здатності на рівні 80% (рис. 6.2).

Із графіка видно, що зі збільшенням дози внесення підстилки спостерігається зменшення виходу гноївки. Так, наприклад, при добовому використанні підстилки в кількості 4 кг/гол., вихід гноївки становитиме 15,1 кг/гол. за добу для ВРХ та 9,1 кг/гол. за добу для свиней, а при збільшенні дози підстилки до 6 кг/гол., відповідно – 8,4 та 2,5 кг/гол. за добу.

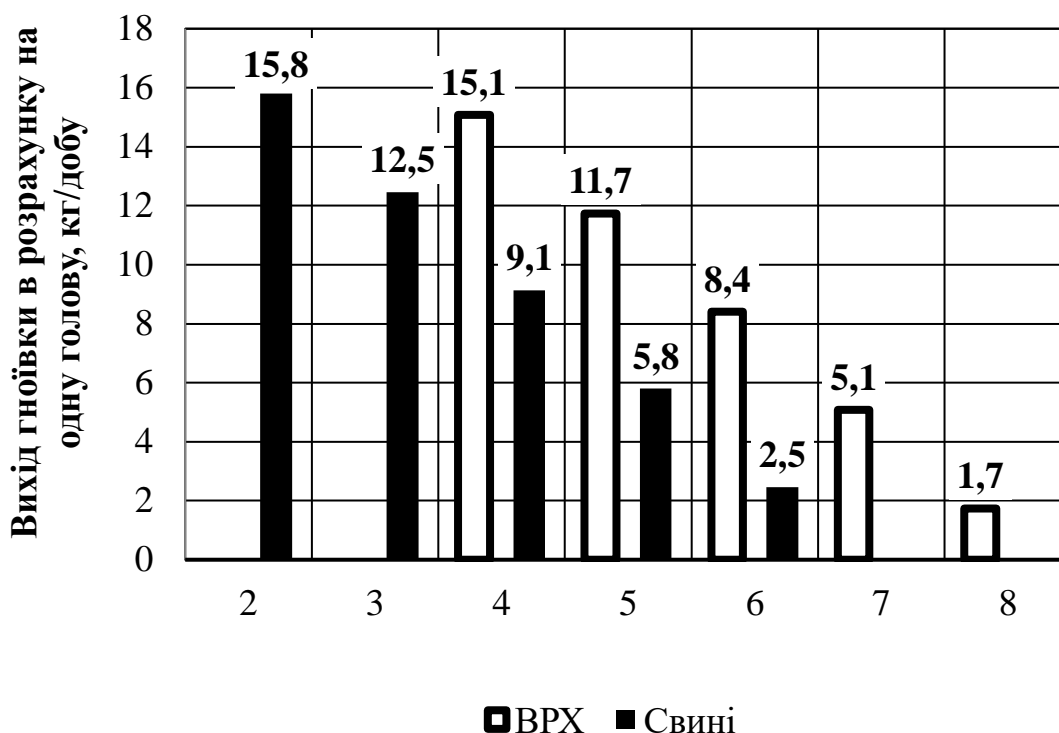


Рис. 6.2. Залежність виходу гноївки від дози підстилки

Розрахунки показують (рис. 6.3), що зменшення внесення підстилки для ВРХ з 7 до 5 кг/гол. за добу призводить до збільшення виходу кількості біогазу вдвічі з 20 до 40 л/гол. за добу, натомість вихід компосту за умови повернення збродженої гноївки після метантенка при цьому практично не змінюється і знаходиться в межах від 37 до 38 кг/гол. за добу. Для свиней вихід біогазу при зменшенні дози підстилки з 6 до 5 кг/гол. за добу збільшується з 10 до 23 л/гол. за добу, а вже при зменшенні внесення підстилки з 3 до 2 кг/гол. за добу вихід біогазу становитиме 43 та 50 л/гол. за добу відповідно, а вихід компосту за вищезазначених умов знаходиться в межах від 22 до 24 кг/гол. за добу.

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

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

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

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

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

Річний вихід товарної електроенергії  $V_{TBG}$  та товарного тепла  $V_{TM}$  відповідно становитиме:

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

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

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

Таким чином, товарний біогаз доцільно використовувати для виробництва електроенергії.

### Запитання для самоконтролю:

1. Які основні способи переробки гною?
2. Яке повинно бути співвідношення вуглецю і азоту у компостній суміші?
3. Які бувають способи анаеробної ферментації?
4. Як система видалення і переробки гною впливає на обсяги гноєсховищ?
5. Що таке біогаз?
6. Завдяки якому процесу утворюється біогаз?
7. Чим біогаз вироблений із біомаси відрізняється від природного газу?
8. З якої сировини може вироблятися біогаз?
9. Охарактеризуйте сучасний стан біогазових технологій.
10. Чому виробництво біогазу є однією з безвідходних технологій?
11. Які два основні види підготовки і бродіння сировини використовуються у біогазових технологіях?
12. Охарактеризуйте мікробіологічні основи процесу виробництва біогазу.
13. Скільки груп бактерій бере участь у виробництві біогазу? Назвіть їх.
14. Дайте класифікацію метаноутворюючим бактеріям за температурним режимом.
15. Які основні елементи конструкції мають твердофазні біогазові установки?
16. Які основні показники твердофазного бродіння в існуючих біореакторах?



17. Які основні недоліки рідкофазних біогазових реакторів?
18. Чим обумовлена низька ефективність процесу виділення метану під час твердофазного бродіння?
19. Які основні елементи конструкції мають рідкофазні біогазові установки?
20. Охарактеризуйте першу та другу стадії анаеробного зброджування біомаси.
21. Який масовий вихід метану та вуглекислого газу під час анаеробної ферментації 1 кг органічної речовини?
22. Який основний напрям інтенсифікації процесу рідкофазного зброджування біомаси гною?
23. В яких межах повинна бути вологість біомаси при використанні рідкофазного анаеробного зброджування?
24. Чим обумовлена нижня межа вологості біомаси при використанні рідкофазного анаеробного зброджування?
25. Чим обумовлена верхня межа вологості біомаси при використанні рідкофазного анаеробного зброджування?
26. Які основні типи мішалок використовуються для перемішування біомаси при рідкофазному анаеробному зброджуванні?
27. Який вихід біогазу можна отримати з 1 т біомаси при рідкофазному анаеробному зброджуванні?
28. Який питомий вихід біогазу мають сучасні рідкофазні біогазові установки?
29. Який максимальний рівень розкладу органічної речовини біомаси під час рідкофазного анаеробного зброджування?

### **Література:**

1. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко–технологічні основи / Г.А. Голуб. – К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.
2. Голуб Г.А. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / [Голуб Г., Войтенко В., Рубан Б, Єрмоленко В.]: Техніка і технології АПК. – 2012. – № 2 (29). – С. 18-21.
3. Голуб Г.А. Досвід виробництва і використання біогазу в Республіці Польща / Г.А. Голуб, С.В. Лук'янець // Економіка АПК. – 2011. – № 11. – С. 157-160.
4. Кухарець С.М. Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки / Кухарець С.М., Голуб Г.А.// Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць / ДНУ "УкрНДІ прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва імені Леоніда Погорілого" (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого) – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), книга 2. – 387 с. – С. 356-364.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. / Кухлинг Х.// 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 520 с.
6. Марус О.А. Аналіз конструкцій реакторів для твердофазної

ферментації / О.А. Марус, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2016. – Вип. 241. – 396 с. – С. 380-387.

7. Національна комісія регулювання електроенергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nerc.gov.ua/control/uk/publish/article/main?art\\_id=34197&cat\\_id=27394](http://www.nerc.gov.ua/control/uk/publish/article/main?art_id=34197&cat_id=27394).

8. Огороднік А.І. Кінетична модель процесу компостування субстрату у рибництві / Огороднік А.І., Голуб Г.А. // Міжвідомчий тематичний науковий збірник "Механізація та електрифікація сільського господарства". – К. – 1997. – Вип. 82. – С. 67-70.

9. Руководство по биогазу от получения до использования / Идентификационный номер проекта (FKZ/ИНП): 22005108 // Немецкий центр исследования биомассы Torgauer Straße 116-04347 Leipzig [изд. 5-е полностью перераб.] Гюльцов, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (агентство по возобновляемым ресурсам) 2010. – 214 с.

10. Системи видалення, обробки, підготовки, та використання гною: ВНТП-АПК 09.06. Офіц. Видання. – К.: Міністерство аграрної політики України 2006. – 100 с.

11. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Голуб Г., Войтенко В., Рубан Б, Єрмоленко В. // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 2 (29). – С. 18-21.

12. Технічне забезпечення виробництва біогазу / [Голуб Г.А., Дубровіна О.В., Рубан Б.О., Войтенко В.О.]: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – 186 с. – С. 17-19.

13. Франс Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли: Пер. с англ. А.С. Калянського. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.

14. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств / Холькин Ю.И. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 496 с.

15. Экологическая биотехнология: Пер. с англ. / Под ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1987. – 384 с.

16. [Amon T., Kryvoruchko V., Amon B., Buga S., Mayer K., Zollitsch W., Pötsch E.] (2003): Biogas aus Klee gras, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen. Der fortschrittliche Landwirt, 22. – P 52-53.

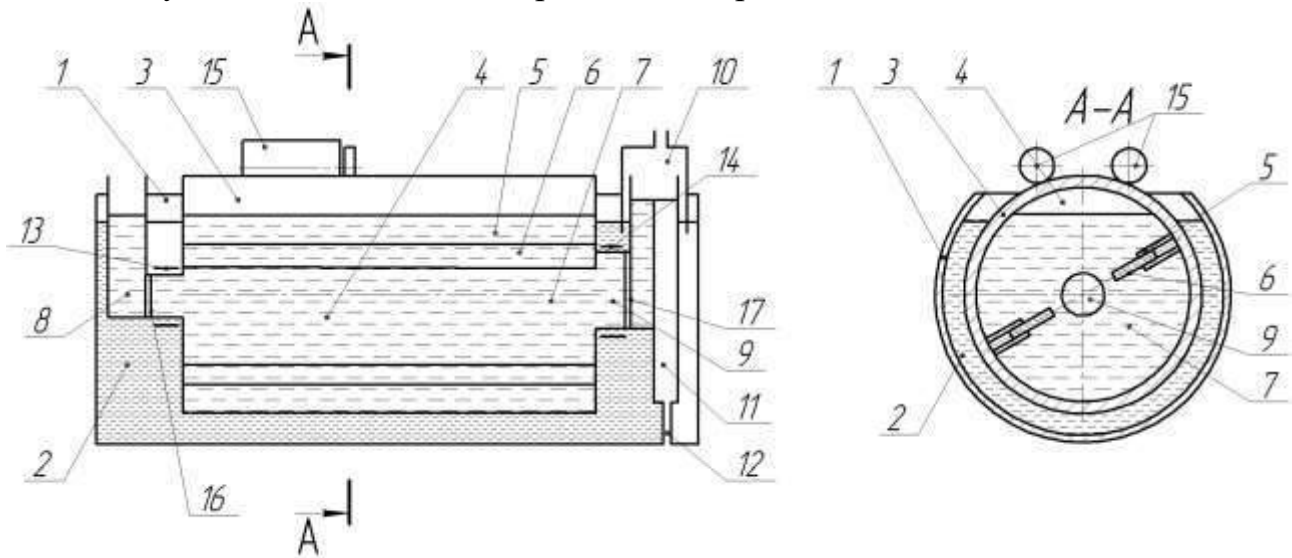
17. Марус О.А. Аналіз конструкцій горизонтальних циліндричних реакторів для виробництва біогазу / О.А. Марус, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: 2016. – Вип. 251. – 408 с. – С. 237-246.

18. Кухарець С.М. Сировинна база та ефективність виробництва біогазу / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: 2015. – Вип. 212, ч. 1. – 335 с. – С. 11-20.

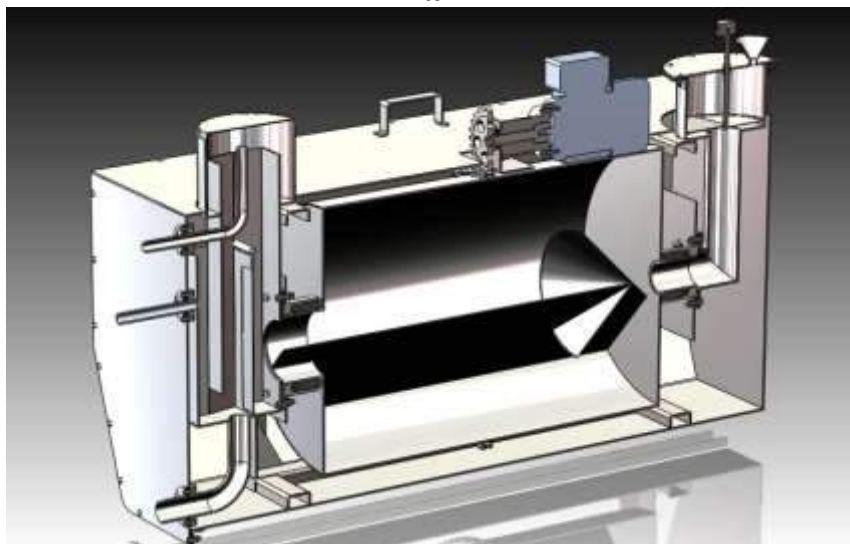
## 7. ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ НА ТЕПЛОВІ ПОТРЕБИ

### 7.1. Енергетичні параметри та конструкція біогазової установки з обертовим реактором

Перемішування за допомогою біогазу можливе при вмісті сухої речовини в біогазі нижче 5%. Механічне перемішування має труднощі при вмісті в сировині більше 10% сухої речовини. Тому нами була розроблена модульна біогазова установка, схема якої приведена на рис. 7.1.



а



б

1 – горизонтальний зовнішній корпус; 2 – рідина; 3 – циліндричний реактор; 4 – камера зброджування; 5 – перегородка; 6 – рухомі пластини; 7 – органічна маса; 8, 9, 12 – патрубки; 10 – газозбірник; 11 – вивантажувальна камера; 13, 14 – підшипникові вузли; 15 – зовнішній привод; 16, 17 – блок-ущільнення

а – схема; б – модель

Рис. 7.1. Установка біогазова модульного типу

У конструкції розробленої модульної біогазової установки розглядаються принципово нові технічні рішення в системі перемішування реагуючого субстрату в метановому реакторі. Вони полягають у використанні зміни напрямку дії гравітаційних сил, що впливають на переміщення органічної і мінеральної фракцій біомаси, які заповнюють внутрішній корпус. Корпус біореактора виконано у вигляді горизонтального циліндра з діаметрально розміщеною перегородкою, який обертається навколо горизонтальної осі, опираючись на протилежно розміщені осьові цапфи. Реактор біогазової установки заповнюється інокульованою біомасою та обертається в рідині, яка знаходиться в зовнішньому корпусі. Така конструкція створює підймальну силу для обертового біореактора, розвантажуючи опорні цапфи, що зменшує сили тертя в них і відповідно зменшує енергію, яка витрачається на обертання і перемішування звантаженої біомасою конструкції. Дана конструкція біореактора забезпечує перемішування реагуючого субстрату по всьому його об'ємі і ліквідує можливість створення плаваючої органічної частини та накопичення зануреного мінерального осаду.

Для того щоб забезпечити обертання реактора необхідно прикласти крутний момент, величина якого становить:

$$M_{KP} = M_{OP} + M_{BT3} + M_{BTV} + M_{PB} - M_{OB} + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (7.1)$$

де  $M_{KP}$  – крутний момент для забезпечення обертання реактора, Н м;  $M_{OP}$  – момент опору підшипникових вузлів, Н м;  $M_{BT3}$  – момент в'язкого тертя зовнішньої поверхні реактора об рідину, в яку занурений реактор, Н м;  $M_{BTV}$  – момент в'язкого тертя внутрішньої поверхні реактора об рідку біомасу, яка знаходиться в реакторі, Н м;  $M_{PB}$  – момент, необхідний для забезпечення підйому біомаси в реакторі під час його обертання, Н м;  $M_{OB}$  – момент, що створюється за рахунок потоків опускання біомаси в реакторі під час його обертання, Н м;  $J$  – момент інерції метантенка відносно осі його обертання, кг м<sup>2</sup>;  $\frac{d\omega}{dt}$  – кутове прискорення обертання реактора, рад./с<sup>2</sup>.

Помноживши кожен член рівняння (7.1) на кутову швидкість обертання реактора отримаємо:

$$P_{KP} = P_{OP} + P_{BT3} + P_{BTV} + P_{PB} - P_{OB} + J\omega \frac{d\omega}{dt}, \quad (7.2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання реактора, рад./с;  $P_{KP}$  – потужність для забезпечення обертання реактора, Вт;  $P_{OP}$  – потужність опору підшипникових вузлів, Вт;  $P_{BT3}$  – потужність в'язкого тертя зовнішньої поверхні реактора об рідину, в яку занурений реактор, Вт;  $P_{BTV}$  – потужність в'язкого тертя внутрішньої поверхні реактора об рідку біомасу, яка знаходиться в реакторі, Вт;  $P_{PB}$  – потужність для забезпечення підйому біомаси в реакторі під час його обертання, Вт;  $P_{OB}$  – потужність, потоків опускання біомаси в реакторі під час його обертання, Вт.

Потужність, яка споживається привідним електродвигуном із електричної мережі, таким чином становитиме:

отриманні електроенергії ( $\eta_T$ ) – 0,38 відн. од. Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва біометану наведені в таблиці 7.3.

**Таблиця 7.3. 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 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 <sup>3</sup>	1,32
Вартість витраченої електричної енергії ( $ЕЛ_{БМ}$ ), грн/м <sup>3</sup>	0,4
Фонд заробітної плати з нарахуваннями, грн/м <sup>3</sup>	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.

#### **Запитання для самоконтролю:**

1. Які основні переваги та недоліки сучасних біогазових установок?
2. Які основні переваги та недоліки обертового біогазового реактора?
3. Як визначається потужність, яка споживається приводним електродвигуном обертового біогазового реактора із електричної мережі?

4. Які є методи зниження споживаної потужності на обертання реакторів?
5. Поясніть вплив коефіцієнта занурення заповненого обертового метантенка на потужність приводного механізму.
6. Чим обумовлено коливання споживаної електричної потужності під час роботи обертового реактора?
7. Як переміщення впливає на вихід біогазу?
8. Які основні елементи конструкції біогазової установки?
9. Які основні методи зниження витрат енергії при роботі біогазової установки?
10. Яка роль інокуляції біомаси при роботі біогазової установки?
11. Яким чином здійснюють інокуляцію біомаси при роботі біогазової установки?
12. Розкажіть про будову та принцип роботи біогазової установки.
13. Як визначити виробничу собівартість виробництва біометану?
14. Який основний технологічний показник виробництва визначає економічну ефективність виробництва біометану?
15. Яка собівартість виробництва біометану без урахування вартості органічних добрив?
16. Які способи отримання теплової енергії із біогазу Ви знаєте?
17. Назвіть види газових пальників.
18. Чим відрізняється пальник котла призначеного для спалювання біогазу?
19. Чим відрізняється кухонна плита, що працює на біогазі?
20. Із яких основних елементів складається газовий котел?
21. Розкажіть про призначення та класифікацію газових котлів.
22. Для чого призначений пальник газового котла?
23. Чим обумовлені відмінності пальників що працюють на біогазі від пальників що працюють на природному газі?

### **Література:**

1. Голуб Г.А. Визначення параметрів руху частинок біомаси під час обертання метантенка / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 212, ч. 2. – С. 254-264.
2. Голуб Г.А. Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнта заповнення біомасою обертового метантенка / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК – 2012. – Вип. 170, ч. 2. – 387 с. – С. 55-61.
3. Голуб Г.А. Особливості конструкції модульної біогазової установки з обертовим реактором / Голуб Г., Кухарець С., Рубан Б. // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2014. – № 9 (60). – С. 10-14.
4. Голуб Г. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Г. Голуб, В. Войтенко, Б. Рубан, В. Єрмоленко // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2012. – № 2 (29). – С. 18-21.

5. Голуб Г.А. Технічне забезпечення виробництва біогазу / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, Б.О. Рубан, В.О. Войтенко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – 186 с. – С. 17-19.

6. Голуб Г.А. Механіка руху частинки по радіальній лопатці обертового барабана / Г.А. Голуб, О.А. Марус // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2016. – Вип. 241. – 396 с. – С. 350–358.

7. Експериментальне визначення питомої потужності перемішування біомаси в обертовому реакторі / Голуб Г.А., Дубровіна О.В., Чуба В.В., Павленко М.Ю. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК – К., 2013. – Вип. 185, ч. 1. – 372 с. – С. 272-277.

8. Кухарець С.М. Дослідження енергетичної ефективності обертових метантенків / С.М. Кухарець, В.Г. Спиридонов // Наук. вісн. НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 212, ч. 2. – С. 248–253.

9. Кухарець С.М. Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки / Кухарець С.М., Голуб Г.А. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр./ ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. – 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 356-365.

10. Кухарець С.М. Дослідження енергетичних показників обертового біогазового реактора / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2015. – Випуск №2 (101). – ННЦ "ІМЕСГ. – Глеваха, 2015. – 348 с. – С.200-206.

11. Механіка руху частинок по обертових лопатках реакторів зброджування / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець, О.А. Марус, Я.Д. Ярош / Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2016. – № 3 (78). – С. 10–13

12. Пат. 110077 Україна, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Метантенк / Голуб Г.А., Кухарець С.М.; заявник і патентовласник Нац. ун.-т. біоресурсів і природокористування України. – №а2014 09259; заявл. 19.08.2014; дата публікації 10.11.2015, Бюл. № 21.

13. Сільське господарство України. Стат. зб.; за ред. Ю.М. Остапчука. – К.: Державна служба статистики України, 2011. – 370 с.

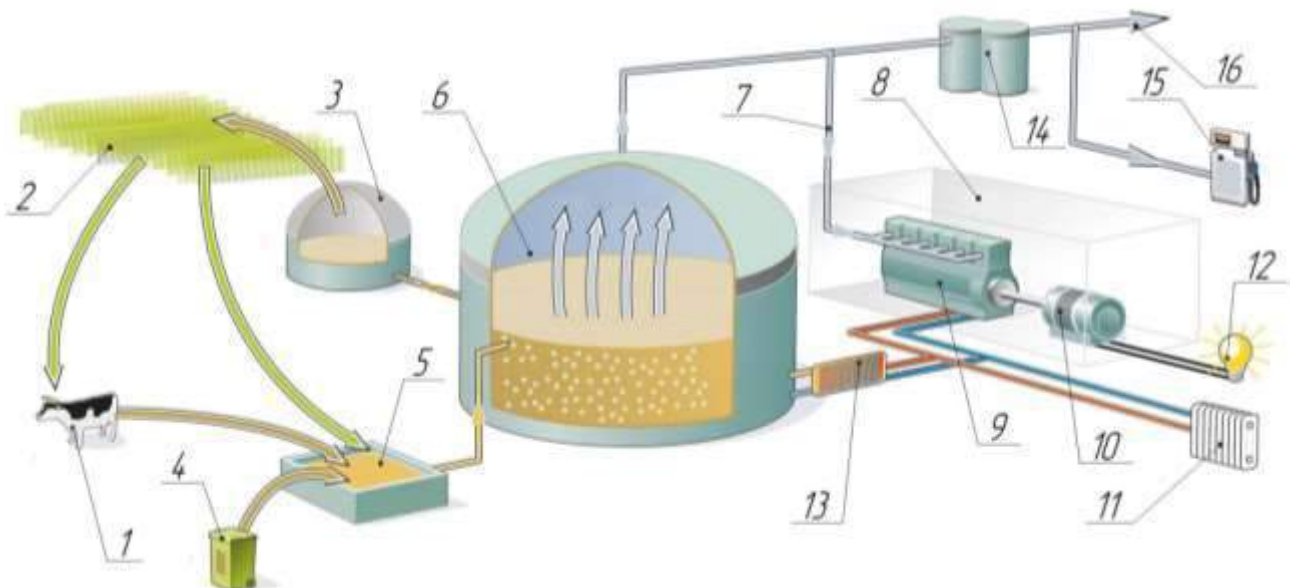
14. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець, В. В. Гох, С. В. Осауленко, О. А. Завадська, Б. О. Рубан, Н. Л. Поліковська, Р. Л. Швець, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко]. – К.: НУБіП України, 2014. – 106 с.

15. Golub G. Biomethane formation in biogas installations / G. Golub, O. Dubrovina // The 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes Proceedings: – Poznan, Puszczykowo, Poland. – Industrial Institute of Agricultural Engineering, 25-28th June, 2013. – 72 p. – P. 55-58.

## 8. ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

### 8.1. Виробництво біометану. Очищення та збагачення біогазу

Біогаз може використовуватися децентралізованими блочними теплоелектроцентралями для електро- і теплопостачання (когенерація) або подаватися як очищений і збагачений біогаз (біометан) в існуючу газотранспортну мережу (рис. 8.1). Крім того, збагачений біогаз може використовуватися як паливо в автомобілях замість природного газу, на великих центральних когенераційних установках або для виробництва тепла у високоефективних газових конденсаційних котлах.



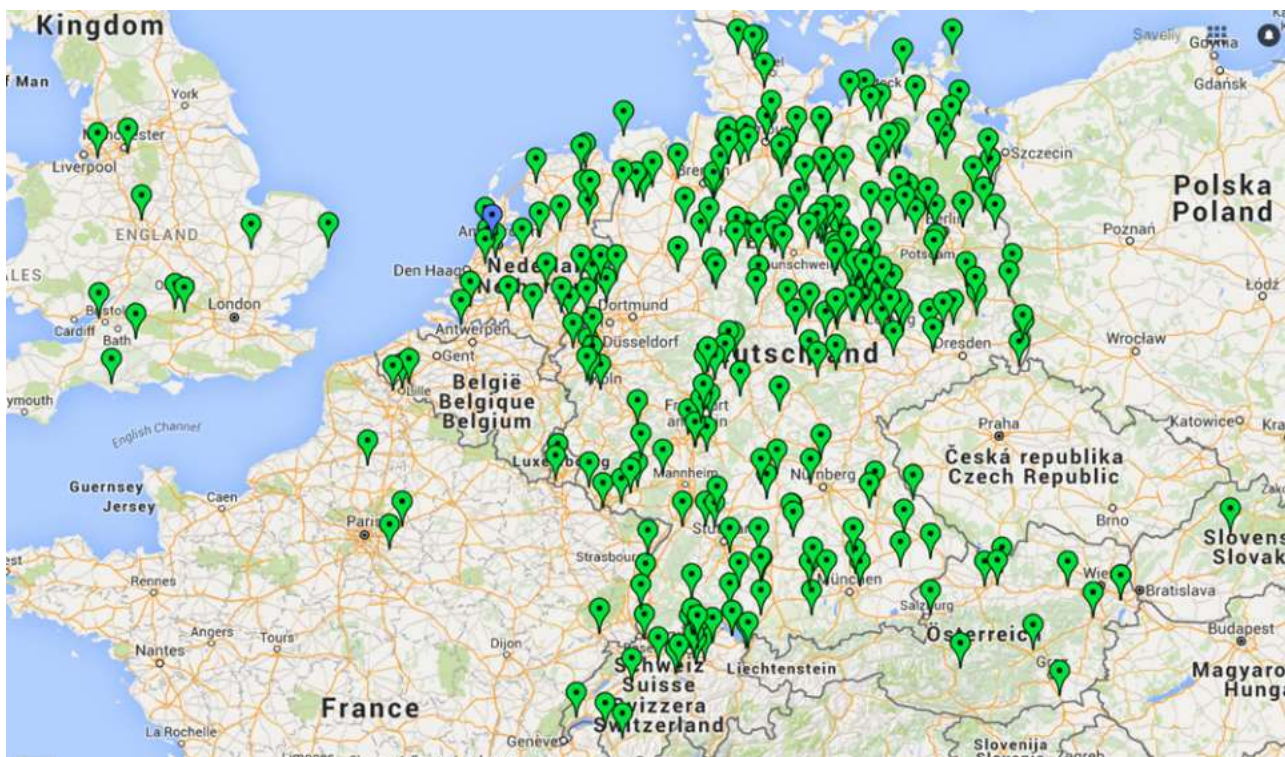
1 – сільськогосподарські тварини та птиця, 2 – сільськогосподарські посіви, 3 – зберігання відпрацьованого субстрату, 4 – органічні відходи, 5 – накопичувач субстрату, 6 – біогазова установка оснащена газгольдером, 7 – біогазова мережа, 8 – когенератор, 9 – двигун внутрішнього згоряння, 10 – електрогенератор, 11 – використання теплової енергії для опалення приміщень, 12 – використання електричної енергії, 13 – підігрівання біогазового реактора, 14 – установка для збагачення і очищення біогазу, 15 – заправна станція, 16 – транспортна мережа природного біогазу

Рис. 8.1. Схема використання біогазу та біометану (джерело Agentur für Erneuerbare Energien, Німеччина)

Застосування біогазу в децентралізованому енергопостачанні сприяє скороченню імпорту енергоносіїв та підвищенню надійності енергопостачання, зокрема, у сільській місцевості. В нинішній час біометан виробляється в п'ятнадцятих європейських країнах (рис. 8.2). Подача біометану в мережу природного газу відбувається в одинадцятих країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Швеція, Великобританія). В дванадцятих європейських країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Угорщина, Ісландія, Італія,



Нідерланди, Швеція, Великобританія) біометан використовується як моторне паливо. На сьогоднішній день загальна кількість біометанових станцій в європейських країнах досягла 250 од., із яких 200 станцій подають біометан в мережу природного газу. Найбільш динамічно виробництво біометану розвивається в Німеччині. Тут перша установка з виробництва біометану почала свою роботу в 2006 р. А до 2014 року кількість біометанових станцій зросла до 169 од. При цьому загальна потужність виробництва біометану збільшилась до 900 млн. м<sup>3</sup> в рік.



**Рис. 8.2. Розташування станцій з виробництва біометану в Європі.**  
(джерело: Google Maps, biogaspartner)

Важливу роль в отриманні біометану відіграє збагачення і очищення біогазу. Для того, щоб вироблений біогаз можна було подавати до мережі, його очищують у декілька етапів (рис. 8.3).

Методи очистки біогазу від домішок (табл. 8.1) залежать від способів його подальшого використання. Так, наприклад, при використанні біогазу для виробництва тепла в котлах, обмеження стосуються лише концентрації H<sub>2</sub>S (не більше 1000 млн.<sup>-1</sup>). При цьому немає необхідності видаляти вологу та вуглекислий газ. У випадку застосування біогазу в кухонних плитах існують більш високі вимоги до очистки від H<sub>2</sub>S. При спалюванні біогазу в двигунах внутрішнього згоряння, також існують певні вимоги до вмісту H<sub>2</sub>S (не більше 200 млн.<sup>-1</sup>) та силіоксанів, а також до надмірного вмісту вологи (не допускається утворення конденсату). Найбільш суворі вимоги до очистки біогазу висуваються у випадку його подачі в мережу природного газу та при прямому використанні в якості моторного палива. В цьому випадку треба збагачувати біогаз до якості природного газу.

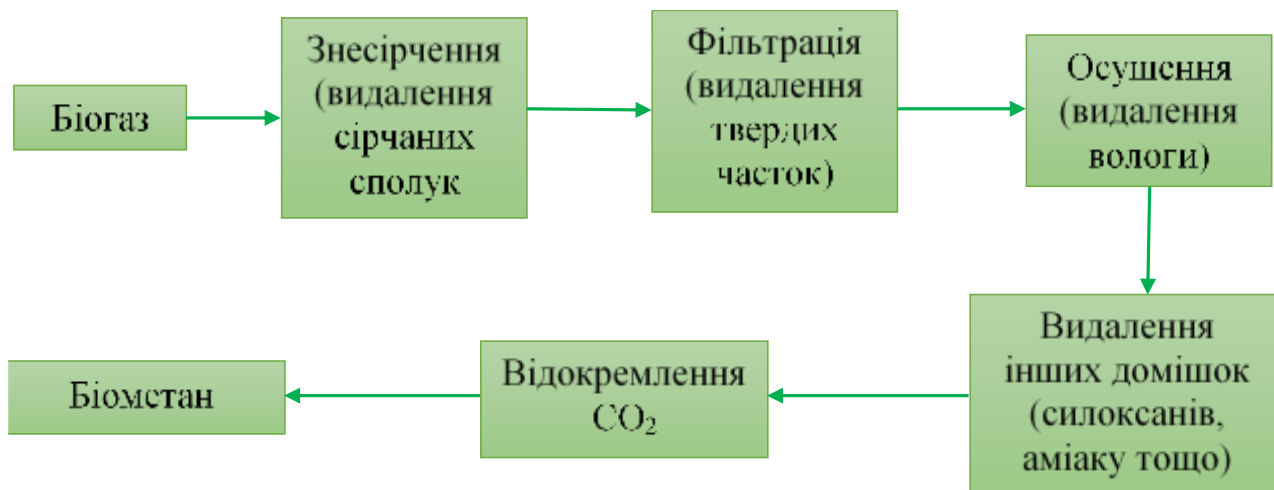


Рис. 8.3. Етапи очищення та збагачення біогазу

Таблиця 8.1. Вміст домішок у біогазі

Назва сполуки (домішки)	Формула сполуки (домішки)	Можлива концентрація, млн. <sup>-1</sup>	Допустима концентрація, млн. <sup>-1</sup>
Сірководень	H <sub>2</sub> S	50000	10
Толуол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	210	100
Ксілол	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	120	100
Етилбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	55	100
Тетрахлоретилен	Cl <sub>2</sub> C-CCl <sub>2</sub>	35	35
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	30	100
Ізопропілбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	30	50
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	25	10
Діхлорметан	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	15	200
Нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	15	-
Хлорбензол	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	12	75
Трихлоретан	Cl <sub>2</sub> HC-CH <sub>2</sub> Cl	10	10
1,1-Діхлоретан	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	10	10
1,2-Діхлоретан	ClCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	8	50
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	7	600
Ізооктан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	5	300
Індол	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	5	-
1,1-Діхлоретілен	Cl <sub>2</sub> C <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub>	2	10
Нафталін	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	0,2	10
Трихлоретилен	Cl <sub>2</sub> C-CHCl	0,2	35

Значна частина домішок міститься у біогазі в концентраціях значно менших допустимих. І навіть якщо їх концентрації перевищують допустимі (бензол, толуол, ксілол), домішки не становлять небезпеки, оскільки не перебувають у прямому контакті з людьми при роботі з біогазом, а при його спалюванні розкладаються. Отже, екологічна небезпека використання біогазу

**Таблиця 8.3 – 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 ( $C_{ГН}$ ), 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 <sup>3</sup>	0,34
Вартість витраченої електричної енергії ( $ЕЛ_{БМ}$ ), грн/м <sup>3</sup>	0,1
Фонд заробітної плати з нарахуваннями, грн/м <sup>3</sup>	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:

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

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.

#### **Запитання для самоконтролю:**

1. Назвіть основні способи використання біометану.
2. Для чого необхідно проводити очищення та збагачення біогазу?

3. Який газ називають біометаном?
4. Назвіть основні вимоги до якості біометану.
5. Назвіть основні етапи очищення та збагачення біометану.
6. Скажіть за яких умов можливе постачання біогазу в загальну мережу природного газу?
7. Яким чином здійснюється видалення сірководню із біогазу?
8. Як відбувається осушення біогазу?
9. Який процес називають збагаченням біогазу?
10. Як відбувається збагачення біогазу?
11. Що називають когенерацією?
12. Що називають когенератором?
13. Що являє собою когенераційна установка для переробки отриманого біогазу?
14. Яким чином можна забезпечити нагрів біомаси у біогазових реакторах?
15. Як визначити виробничу собівартість виробництва електроенергії на основі біометану?
16. Який показник дизель-генератора визначає економічну ефективність виробництва електроенергії на основі біометану?
17. Яка потреба в біомасі для отримання 1 м<sup>3</sup> біометану за час зброджування?
18. Яка потреба в біомасі для отримання 1 кВт год. електроенергії за час зброджування?
19. Яка собівартість виробництва електроенергії на основі біометану?
20. Який орієнтовний термін окупності біогазових установок?
21. Що являє собою "зелений" тариф та яке він має відношення до роботи біогазових установок?
22. Як встановлюється "зелений" тариф?
23. Яка частина теплової енергії біогазу може бути перетворена в електроенергію?

### **Література:**

1. Баадер В. Биогаз: теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного.) / Баадер В., Доне Е., Бренндерфер С. – М.: Колос, 1982 – 148 с.
2. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии / [Геммеке Бурга, Крисста Ригер, Войланд Петер и др.]. – Гюльцов: FNR, 2010. – 118 с.
3. Гелетуха Г.Г. Перспективы виробництва та використання біометану в Україні. / Г.Г. Гелетуха, П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев // Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України №11 – 2014 г. – 42 с.
4. Куріс Ю.В. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти / Ю.В. Куріс, І.Ф. Червоний. – Запоріжжя: ЗДІА, 2010 – 487 с.
5. Руководство по биогазу. От получения до использования / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 5-е издание. – Гюльцов: Германия, 2012. – 213 с.

6. Эдер Барбара. Биогазовые установки. Практическое пособие / Б. Эдер, Х. Шульц // - Zorg Biogas, 2008 – 268 с.
7. Мовсесов Г.Є. Основні положення технології біогазового (анаеробного метанового) зброджування органічних відходів Рекомендації / Мовсесов Г.Є., Ляшенко О.О. // Інститут механізації тваринництва НААН України. – Запоріжжя: ІМТ НААН України, 2010. – 29 с.
8. Шульц Рейнхард. Виробництво і використання біогазу в Україні [Шульц Рейнхард, Юрген Кооп, Жанет Хохі та ін.]. – Рада з питань біогазу (Biogasrat e.V.), 2012 – 74 с.
9. Hacke O. Biogas von A bis Z. / O. Hacke, M. Helm // – Borsig Energy GmbH, 2001. – 47 p.
10. Handreichung. Biogasgewinnung und – nutzung. / [Amon Tomas, fon Bredov Hartvig, Doeler Helmut ets.]. – Gulzow: FNR, 2010. – 234 p.
11. Tasneem Abbasi. Biogas Energy. / T Abbasi, S. Tauseet, S. Abbasi. - New York: Springer, 2012. – 169 p.
12. М. Кузьменко. Фермерський біогаз / М. Кузьменко, Г. Голуб, С. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. – №7 (79). – С. 70-71.
13. Патент на винахід 110077 Україна, МПК С02F 11/04, С02F 3/28. Метантенк / Голуб Г.А., Кухарець С.М.; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокристування України. – № а2014 09259; заявлено 19.08.2014; дата публікації 10.11.2015, Бюл. № 21.
14. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець, В. В. Гох, С. В. Осауленко, О. А. Завадська, Б. О. Рубан, Н. Л. Поліковська, Р. Л. Швець, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко]. – К.: НУБіП України, 2014. – 106 с.
15. Марус О.А. Аналіз конструкцій реакторів для твердофазної ферментації / О.А. Марус, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокристування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2016. – Вип. 241. – 396 с. – С. 380-387.
16. . Голуб Г. Газова автономія / Г. Голуб, С. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. – №3 (75). – С. 181-182.
17. Марус О.А. Аналіз конструкцій горизонтальних циліндричних реакторів для виробництва біогазу / О.А. Марус, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокристування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: 2016. – Вип. 251. – 408 с. – С. 237-246.
18. Патент на винахід 111008. Україна, МПК С02F 11/04, С02F 3/28. Гідрогравітаційний метантенк / Голуб Г.А., Рубан Б.О., Чуба В.В., Гох В.В., Дворник А.В., Захарченко М.М., Швець Р.Л.; заявник і патентовласник Голуб Геннадій Анатолійович. – № а 2014 08080; заявлено 17.07.2014; дата публікації 10.03.2016, Бюл. № 5.
19. Патент на корисну модель 96063 Україна, МПК С02F 11/04, С02F 3/28. Метантенк / Голуб Г.А., Кухарець С.М.; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокристування України. – № u 2014 09261; заявлено 19.08.2014; дата публікації 12.01.2015, Бюл. № 1.

## 9. МЕХАНІЗАЦІЯ ЗАГОТІВЛІ СОЛОМИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ

### 9.1. Загальна структура енергетичного використання соломи зернових культур

Україна щорічно виробляє від 50 до 60 млн. т зернових і зернобобових культур. При цьому, в тих самих обсягах виробляється і солома. Її в основному використовують як добриво для ґрунтів, а також у тваринництві в якості підстилки та корму для тварин.

Але від 20 до 30 % соломи можна щорічно використовувати для альтернативного використання: прямого спалювання та використання в якості сировини для виробництва біопалива (брикети, пелети).

При спалюванні соломи в котлах можна реалізувати гаряче водопостачання та опалення приміщень. Ці процеси забезпечуються автономними системами опалення. Такі системи можуть бути малими або великими та можуть використовуватись для приватних будинків, а також для великих районів або підприємств.

Солома є екологічно безпечним джерелом енергії. У процесі росту соломи поглинається така ж кількість вуглецю, яка виділяється при її спалюванні. Солома є місцевим паливом, досить розповсюдженим у сільськогосподарських районах і відносно дешевим, порівняно з традиційним паливом. Так, верхня теплотворна здатність соломи (суха речовина) складає 4,9 кВт год./кг. Для типової вологості 15 % нижня теплотворна здатність складає 4,1 кВт год./кг. Кількість енергії, що міститься в 1 м<sup>3</sup> ущільненої тюкової соломи, складає до 450 кВт год. (щільність до 130 кг/м<sup>3</sup>). В Україні найбільш перспективними для використання в найближчі роки можна вважати соломоспалюючі фермерські котли та котли для малих тепломереж потужністю від 0,1 до 1 МВт. Але широке використання цих технологій потребує вирішення ряду питань організації збору соломи, пресування тюків, транспортування та зберігання соломи. Також невирішеними залишаються питання, щодо рівномірності горіння соломи в топці котла.

В Україні, найбільшою перешкодою для енергетичного використання соломи є обмеженість досвіду та необхідних інвестицій. Менш значимими перешкодами є:

- необхідність розвитку ринка соломи з привабливими цінами як для споживачів, так і для постачальників;
- у деяких випадках наявність пестицидів може призвести до збільшення вмісту хлору в соломі. Проте якщо солома витримується на полях упродовж певного періоду (зів'янення) то вміст хлору досягає низьких значень.

Ще однією важливою перешкодою для використання соломи в якості палива служить відсутність придатних для її спалювання топків. Суха (вологістю до 25%) солома добре горить у всіляких топках, однак її ККД (особливо при неповному завантаженні) досить низький і не перевищує 45 %. Проте значна неоднорідність біомаси, з точки зору хімічного складу та

фізичних властивостей, викликає певні труднощі, як в процесі спалювання, так і емісії компонентів, які є побічними продуктами процесу. Характеристика соломи в залежності від технології їх підготовки до спалювання наведена в табл. 9.1.

**Таблиця 9.1. Характеристика твердих видів біопалива в залежності від технології їх підготовки до спалювання**

Вид соломи	Об'ємна маса (щільність), кг/м <sup>3</sup>	Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	Питома енергомісткість, МВт/м <sup>3</sup>
Звичайна солома	20-50	20-50	0,7-0,16
Подрібнена солома (січка)	40-60	16-25	0,13-0,19
Великі прямокутні паки	70-130	7,7-14	0,23-0,43
Круглі паки	60-90	11-16	0,19-0,29
В'язанки	50-110	9-20	0,16-0,36
Брикети	300-450	2,2-3,3	0,99-1,48
Пеллети	350-500	1,9-3,0	1,1-1,6

Фізичні особливості соломи, як енергоносія представлені в таблиці 9.2.

**Таблиця 9.2. Вплив вологості на теплоту згорання біомаси**

Матеріал	Спосіб висушування	Вологість, %	Теплота згорання, МДж/кг
Солома зернових	одразу після збирання	15-20	12-15
	висушена на повітрі	14-17	14-15
Солома ріпакова	одразу після збирання	30-40	10-12
	висушена на повітрі	17-20	14-15
Стебло кукурудзи	одразу після збирання	45-60	5-8
	висушена на повітрі	15-18	15-17

Солома – складний вид палива, оскільки забезпечення нею котла ускладнено негомogeneous структурою соломи, відносно великою вологістю і великим об'ємом порівняно з вмістом енергії. Більш того, 70 % компонентів соломи, що згоряють, містяться в летючих газах, які виділяються в процесі спалювання. Велика кількість летючих компонентів потребує спеціальної конструкції топки та організації потоку повітря в ній. Солома містить сполуки хлору, які можуть викликати проблеми з корозією при високих температурах. Температура плавлення попелу соломи низька через високий вміст лужних металів. У результаті можуть виникнути проблеми з видаленням попелу.

Для ефективного енергетичного використання соломи, перш за все необхідно оптимізувати структуру технологічного процесу конверсії (спалювання чи переробки) соломи. Даний процес може бути представлений у



**Практична робота 9:** Розрахувати теплоту згорання соломи в залежності від хімічного складу і вологості.

**Вихідні дані:** Хімічний склад та вологість різних типів соломи.

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

$$Q_g = 339C + 1256H - 109(O - S) \quad (9.1)$$

$$Q_n = Q_g - 25(9H + W) = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25W \quad (9.2)$$

Польова культура – продуцент соломи	Вміст до сухої маси, %							Вища теплота згорання 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

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



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

### **Запитання для самоконтролю:**

1. Які існують технології спалювання твердого біопалива? Охарактеризуйте їх.
2. Охарактеризуйте технологічний ланцюг використання соломи для енергетичного використання.
3. Назвіть способи використання соломи зернових як енергоресурсу.
4. Які типи прес-підбирачів Вам відомі?
5. Назвіть основні характеристики тюків соломи.
6. Навіщо застосовується гранулювання біопалива?
7. Дайте визначення поняття "паливні гранули". Охарактеризуйте паливні гранули.
8. Які існують способи гранулювання біомаси?
9. Охарактеризуйте технологію виробництва паливних гранул (пеллет) із соломи.
10. Охарактеризуйте технологію виробництва паливних брикетів із соломи.
11. Чому тверде біопаливо практично нейтральне щодо зростання парникового ефекту?
12. Який найбільш простий спосіб отримання енергії із біомаси?
13. Назвіть переваги та недоліки основних способів отримання енергії із біомаси.
14. Які види біомаси сільськогосподарського походження доречно використовувати як паливо ?
15. Що є найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси ?
16. Вкажіть середню теплотворну здатність видів біомаси сільськогосподарського походження.
17. Яке основне обладнання входить до складу лінії із виробництва паливних гранул?
18. Яке основне обладнання входить до складу лінії із виробництва паливних брикетів?
19. Якими параметрами характеризуються паливні гранули та брикети.
20. Назвіть умови, що необхідні для ефективного спалювання біомаси.
21. Вкажіть на які групи можна розділити твердопаливні котли виходячи з особливостей технологій спалювання біомаси.

22. Вкажіть особливості традиційних твердопаливних котлів.
23. Які види котлів для спалювання біомаси сільськогосподарського походження виробляють в Україні?
24. Вкажіть особливості роботи автоматичних котлів.
25. Вкажіть із яких міркувань виконується підбір потужності котла для опалення.
26. Які труднощі виникають при спалюванні рослинної біомаси?
27. Для чого призначений газоаналізатор?
28. Від чого залежить вміст СО у димових газах твердопаливного котла?
29. Назвіть основні технологічні операції з підготовки соломи зернових до спалювання.

### 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. Гелетуша, 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. Гелетуша Г.Г. Перспективи производства тепловой энергии из биомассы в Украине [Електронний ресурс] / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железная, Е.Н. Олейник // Аналитическая записка Биоэнергетической ассоциации Украины № 6. – 2013 г. – №6. – 24 с. – Режим доступа: <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. Теплота 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 УкрНДПВТ 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. Жовнір М. Солома обігріє села / Жовнір М., Олійник Є., Чаплигін С. // Агросектор. – 2007. – № 5. – С. 28-31.

9. Кухарець С.М. Аналіз процесів утворення та горіння генераторного газу в котлах для спалювання соломи / С.М. Кухарець // Вісн. Житомир. нац. агрокол. ун-ту. – 2014. – Т. 4 (45), № 2, Ч. 2. – С. 336-344.

10. Кухарець С.М. Обґрунтування основних параметрів котлів із верхнім горінням / С.М. Кухарець // Наук. вісн. НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 196, Ч. 2. – С. 238-250.

11. Кухарець С.М. Використання біомаси сільськогосподарського походження як джерела теплової енергії / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб, О.Я. Переходько // Агро 1. Приложение к журналу «АgroOne». – 2016. - №2. – С. 14-15.

12. Марус О.А. Аналіз конструкцій реакторів для твердофазної ферментації / О.А. Марус, Г.А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК – К., 2016. – Вип. 241. – 396 с. – С. 380-387.

13. Пат. 105346 Україна, МПК F24H1/10, F23B60/00. Котел водогрійний для спалювання рослинної біомаси /Переходько О.Я., Голуб Г.А., Дубровін В.О., Дімітрєв О.Н., Кухарець С.М.; заявник та патентовласник Нац. ун-т. біоресурсів і природокористування України. – № а201310034; заявл. 12.08.2013; опубл. 25.04.2014; Бюл. №8.

14. Посібник. Машини для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 296 с.

15. Посібник. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / За ред. В.І. Кравчука, В.О. Дубровіна. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого. – 2010. – 184 с.

16. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / [В.О. Дубровін, Л.Д. Романчук, С.М. Кухарець, І.Г. Грабар, Л. В. Лось, Г.А. Голуб, С.В. Драгнев, В.М. Поліщук, В.В. Кухарець, І.В. Нездвєцька, В.О. Шубенко, А.А. Голубенко, Н.М. Цивенкова]. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 335 с.

17. Рекомендації щодо створення сільськогосподарського обслуговуючого кооперативу для надання послуг у виробництві та реалізації біопалива у Житомирській області / [Н.М. Головченко, В.С. Данкевич, С.В. Добрякова, В.О. Дубровін, Г.Р. Зіміна, В.В. Зіновчук, Н.В. Зіновчук, В.М. Карпюк, В.В. Кухарець, С.М. Кухарець, А.В. Ращенко]. – Житомир, 2011. – 96 с.

18. Сарана В.В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур і деревини / В.В. Сарана, М.М. Гудзенко, С.М. Кухарець // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – Вип. 144, Ч. 3. – С. 190-197.

19. Справочник потребителя биотоплива / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллин: Таллинский технический университет, 2005. – 183 с.

## 10. ВИРОБНИЦТВО ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

### 10.1. Огляд основних видів енергетичних культур

Енергетичні культури це рослини, які спеціально вирощуються для використання в якості палива та для виробництва біопалива.

Енергетичні культури класифікують за:

- циклом вирощування – однолітні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополя);
- типом – деревоподібні (верба, тополя), трав'янисті (міскантус, просо прутоподібне);
- походженням – класичні, початково призначені для енергетичних цілей (міскантус, двукісточник тростиноподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалива (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз).

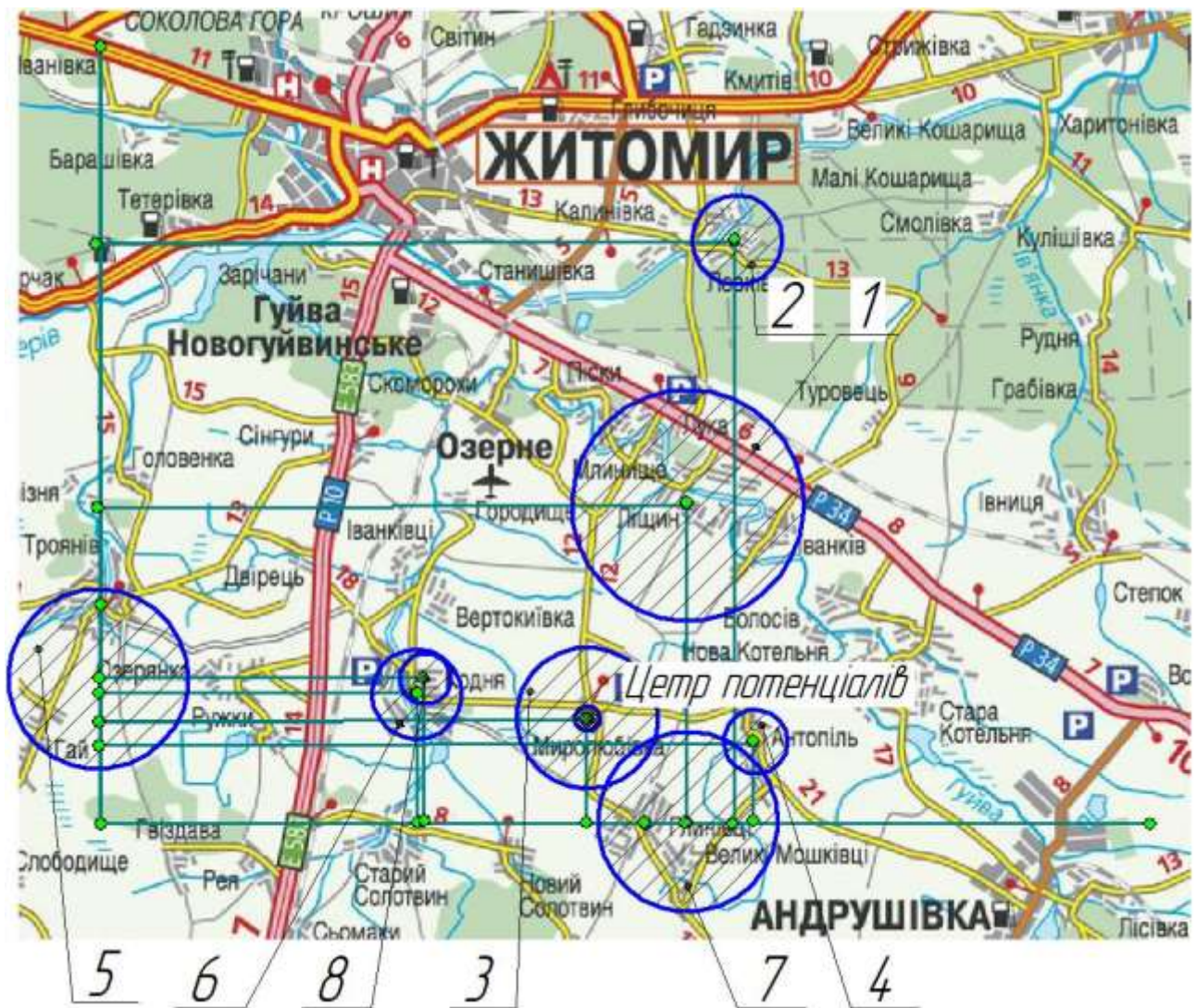
Перспективи до вирощування в Україні мають наступні види енергетичних культур.

**Міскантус** (*Miscanthus giganteus*). Природними місцями походження рослин з родини *Miscanthus* є територія Японії, Південних Курил, Манжурії, Кореї, Таїланду, Полінезії і Східного узбережжя США. Вирощується він також в Південно-Східній Азії та Центральній частині США. Цей рід об'єднує понад двадцять різних морфологічних видів. Особливо швидким ростом і високою якістю характеризується *Miscanthus sinensis*. В природному середовищі ці рослини сягають висоти до 6 м, діаметр стебел – до 6 см, а вегетація може тривати до 30 років (рис. 10.1).



Рис. 10.1. Плянґація міскантуса





**Рис. 10.12. Картограма розміщення потенціалів енергетичної сировини**

Знайдені координати розташування виробництва гранул із енергетичних культур сприятимуть мінімізації транспортних витрат.

#### **Запитання для самоконтролю:**

1. Яка роль енергетичних культур у зменшенні викидів парникових газів?
2. Які види енергетичних рослин Ви знаєте?
3. Як класифікують енергетичні рослини?
4. Які енергетичні культури називають трав'янистими?
5. Які енергетичні культури називають деревоподібними?
6. Які основні характеристики енергетичних культур?
7. Назвіть основні характеристики міскантуса.
8. Назвіть основні характеристики верби енергетичної.
9. Опишіть таку енергетичну культуру як сільфій.
10. Назвіть основні характеристики сорго.
11. У якій кількості оцінюється енергетичний потенціал очерету?
12. Які способи садіння енергетичних культур Ви знаєте?

13. Які машини використовують для садіння енергетичних культур?
14. Які особливості догляду за плантаціями енергетичних культур?
15. Назвіть способи збирання енергетичних культур.
16. Як енергетичні культури впливають на ефективність функціонування аграрного виробництва?
17. Які машини використовують при збиранні енергетичних культур?
18. Назвіть основні напрямки використання енергетичних культур?
19. Які види біопалива можна отримати із енергетичних культур?
20. Які переваги та недоліки вирощування енергетичних культур в умовах аграрного виробництва?
21. Що таке картограма розміщення потенціалів енергетичної сировини?
22. Як розрахувати координати ефективного розміщення підприємства із виробництва паливних гранул?
23. Із яких основних елементів складається гранулятор?
24. Що має вплив на споживану потужність гранулятора?

### Література:

1. Альтернативна енергетика: навчальний посібник 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. Драгнев, 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. Гелетуха, 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. Биомасса как источник энергии : пер с. англ. / под ред. С. Соуфера, О. Забарски. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
4. Гелетуха Г.Г. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, О.В. Трибой // Аналітична записка БАУ №10. – 2014 г. – 33 с.
5. Гелетуха Г.Г. Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине [Электронный ресурс] / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная, Е.Н. Олейник // Аналитическая записка Биоэнергетической ассоциации Украины №6. – 2013 г. – № 6. – 24 с. – Режим доступа: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-6-ru.pdf>.
6. Голуб Г.А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем / Голуб Г.А., Дубровін В.О., Марус О.А. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2 – С. 339-345.
7. Голуб Г.А. Біоенергоконверсія в системі органічного землеробства / Голуб Г.А., Таргоня В.С / Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2007. – Вип. 117. – 400 с. – С. 47-61.

8. Голуб Г.А. Енергетична автономність агросистем / Г.А. Голуб // Вісник аграрної науки. – 2010. – № 3. – С. 50-54.
9. Голуб Г.А. Інженерні проблеми виробництва і використання біопалив в АПК / Голуб Г.А., Дубровін В.О. // Вісник аграрної науки. – 2010. – Спеціальний випуск, травень. – С. 82-87.
10. Енергоавтономність виробництва на основі біологічних видів палива / Молодик М.В., Голуб Г.А., Лук'янець В.О., Рубан Б.О., Віршовка М.І. // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 11. – С. 39-44.
11. Кухарець С.М. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб // Вісник Житомир. нац. агроєкологічного університету. – 2012. – № 1, т. 1. – С. 345-352.
12. Кухарець С. Н. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплива в агропромышленном комплексе / С.Н. Кухарець, Г.А. Голуб, С.В. Драгнев // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, No 4. – P. 69-76.
13. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / [В.О. Дубровін, Л.Д. Романчук, С.М. Кухарець, І.Г. Грабар, Л. В. Лось, Г.А. Голуб, С.В. Драгнев, В.М. Поліщук, В.В. Кухарець, І.В. Нездвєцька, В.О. Шубенко, А.А. Голубенко, Н.М. Цивенкова]. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 335 с.
14. Рекомендації щодо створення сільськогосподарського обслуговуючого кооперативу для надання послуг у виробництві та реалізації біопалива у Житомирській області / [Н.М. Головченко, В.Є. Данкевич, С.В. Добрякова, В.О. Дубровін, Г.Р. Зіміна, В.В. Зіновчук, Н.В. Зіновчук, В.М. Карпюк, В.В. Кухарець, С.М. Кухарець, А.В. Ращенко]. – Житомир, 2011. – 96 с.
15. Справочник потребителя биотоплива / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллин: Таллинский технический университет, 2005. – 183 с.
16. Технічні та технологічні пропозиції отримання енергії із сировини сільськогосподарського походження / С.М. Кухарець, Г.А. Голуб, О.В. Скидан, О.Ю. Осипчук // Вісник ЖНАЕУ. – 2015. – № 2 (50), т. 1. – С. 369-385.
17. Цивенкова Н.М. Быстрорастущие плантации тополя – новая энергетическая сырьевая база / Н.М. Цивенкова, А.А. Самылин // ЛесПромИнформ. – 2005. – № 8 (30). – С. 58-63.