

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

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Навчальний посібник

*для студентів вищих навчальних закладів зі спеціальностей 208 – агроінженерія
та 133 – галузеве машинобудування*

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.)

Рекомендовано Вченою радою Житомирського національного агроекологічного університету (протокол № 7 від 30 березня 2016 р.)

Рецензенти:

Миرونенко 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: навч. посіб. / 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

© Голуб Г.А., Кухарець С.М., Марус О.А.,
Павленко М.Ю., Сера К.М., Чуба В.В., 2017

© НУБіП України, 2017

© Житомирський національний агроекологічний університет, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1.БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ	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
2. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА	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
3. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА	58
3.1. Основні властивості дизельного біопалива на основі рослинних олій як моторного палива	58
3.2. Експлуатаційні параметри роботи дизельного двигуна при застосуванні дизельного біопалива	61

3.3. Кінематична в'язкість дизельного біопалива	64
3.4. Підвищення ефективності використання дизельного біопалива	66
3.5. Виробнича перевірка роботи МТА із застосуванням системи двоступеневого підігріву дизельного біопалива	74
3.6. Організаційні аспекти використання дизельного біопалива	76
3.7. Економічна ефективність використання дизельного біопалива	78
Лабораторна робота 3: Визначити витрату палива при роботі дизельного двигуна на дизельному паливі та дизельному біопаливі.	80
Практична робота 3: Визначити річну потребу в дизельному біопаливі та розрахувати економічну ефективність застосування дизельного біопалива при роботі МТА.	83
4. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ	89
4.1. Загальні відомості про біоетанол	89
4.2. Сировинна база та основи процесу виробництва біоетанолу	92
4.3. Основи біотехнологічного процесу отримання біоетанолу	94
4.4. Технологічні схеми виробництва біоетанолу	96
4.5. Отримання біоетанолу із целюлозовмістних матеріалів	99
4.6. Технічна реалізація виробництва біоетанолу	101
Лабораторна робота 4: Визначити вміст біоетанолу в складі сумішевого бензину А-95 біо.	103
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.	105
5. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕТАНОЛУ	109
5.1. Основні властивості біоетанолу як моторного палива	109
5.2. Світовий досвід використання біоетанолу	111
5.3. Перспективи використання біоетанолу в Україні	113
5.4. Використання біоетанолу, як палива для двигунів внутрішнього згорання	114
5.5. Дослідження роботи двигуна MeM3-245 на паливних сумішах з біоетанолом	118
Лабораторна робота 5: Визначити витрату палива при роботі ДВЗ на суміші бензину із біоетанолом (E10).	121
Практична робота 5: Розрахувати економічну ефективність заміщення бензину біоетанолом.	124

6. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	128
6.1. Сучасні тенденції розвитку технологій видалення та використання гною	128
6.2. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок	131
6.3. Аналіз метаноутворення в біогазових установках.....	138
6.4. Кінетика збродження органічної маси в біогазових установках	142
6.5. Розрахунок питомого виходу біометану	144
Лабораторна робота 6: Визначення параметрів похилого транспортера для зневоднення біомаси при підготовці до аеробного та анаеробного збродження	146
Практична робота 6: Розрахувати основні технологічні параметри біогазової установки для збродження гною.	148
7. ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ НА ТЕПЛОВІ ПОТРЕБИ.....	153
7.1. Енергетичні параметри та конструкція біогазової установки з обертовим реактором	153
7.2. Технологічний процес отримання біогазу за допомогою біогазової установки з обертовим біореактором	156
7.3. Отримання теплової енергії на основі біогазу	159
7.4. Собівартість виробництва біометану в аграрному виробництві	164
Лабораторна робота 7: Визначення потужності обертового реактора біогазової установки в залежності від рівня занурення барабана у воду.....	166
Практична робота 7: Визначити собівартість виробництва біометану при анаеробному збродженні гноївки скотарських та свинарських ферм.....	167
8. ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	171
8.1. Виробництво біометану. Очищення та збагачення біогазу.....	171
8.2. Когенераційні установки	177
8.3. Техніко-економічна оцінка виробництва електроенергії на основі біометану.....	179
Лабораторна робота 8: Визначення зміни температури біомаси упродовж встановленого проміжку часу та витрат енергії на її нагрів під час аеробного та анаеробного збродження у біогазовій установці проточного типу.	183
Практична робота 8: Визначити собівартість виробництва електроенергії на основі біометану при анаеробному збродженні гноївки скотарських та свинарських ферм.	186

9. МЕХАНІЗАЦІЯ ЗАГОТІВЛІ СОЛОМИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ.....	190
9.1. Загальна структура енергетичного використання соломи зернових культур.....	190
9.2. Термінологія щодо заготівлі соломи для енергетичного використання	192
9.3. Технологія заготівлі соломи	192
9.4. Технології виробництва паливних гранул та брикетів	197
9.5. Використання котлів для спалювання соломи	202
Лабораторна робота 9: Визначення параметрів роботи твердопаливного котла при спалюванні рослинної біомаси.	207
Практична робота 9: Розрахувати теплоту згоряння соломи в залежності від хімічного складу і вологості.....	209
10. ВИРОБНИЦТВО ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	214
10.1. Огляд основних енергетичних культур	214
10.2. Механізація вирощування та збирання енергетичних культур	218
Лабораторна робота 10. Визначення питомих енергетичних витрат на виробництво гранул із рослинної біомаси.....	223
Практична робота 10. Визначення оптимального географічного розташування підприємства із виробництва паливних гранул.	224

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 ³	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 ³	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 аббревіатурою 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/м³ на початок 2015 року зросте до прогнозованих 7670 грн/м³ 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 ³	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 ³	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

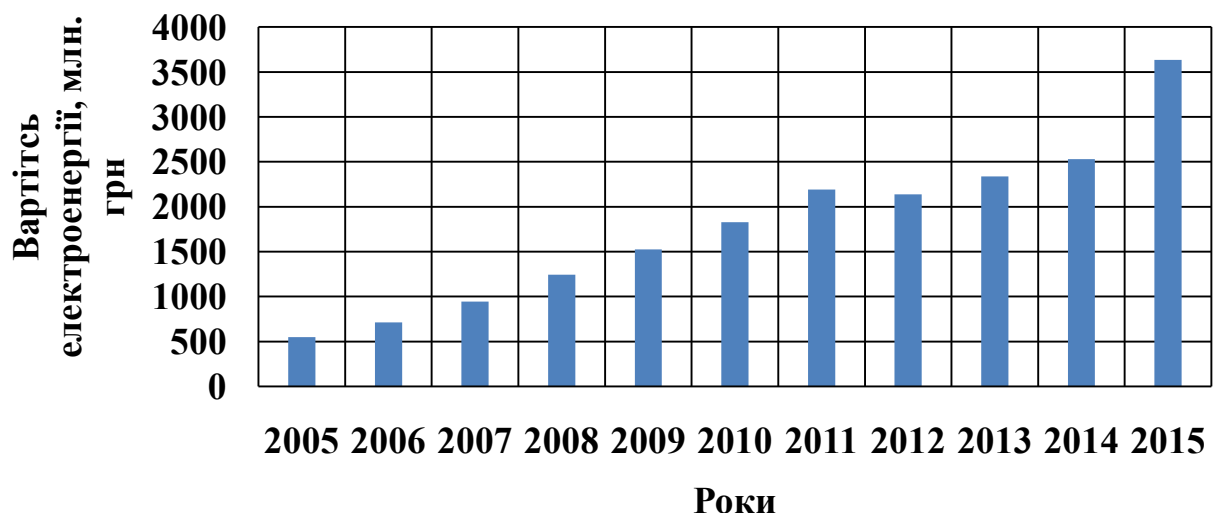


Рис. 1.2. Динаміка зміни вартості електроенергії спожитої у сільськогосподарському виробництві

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.

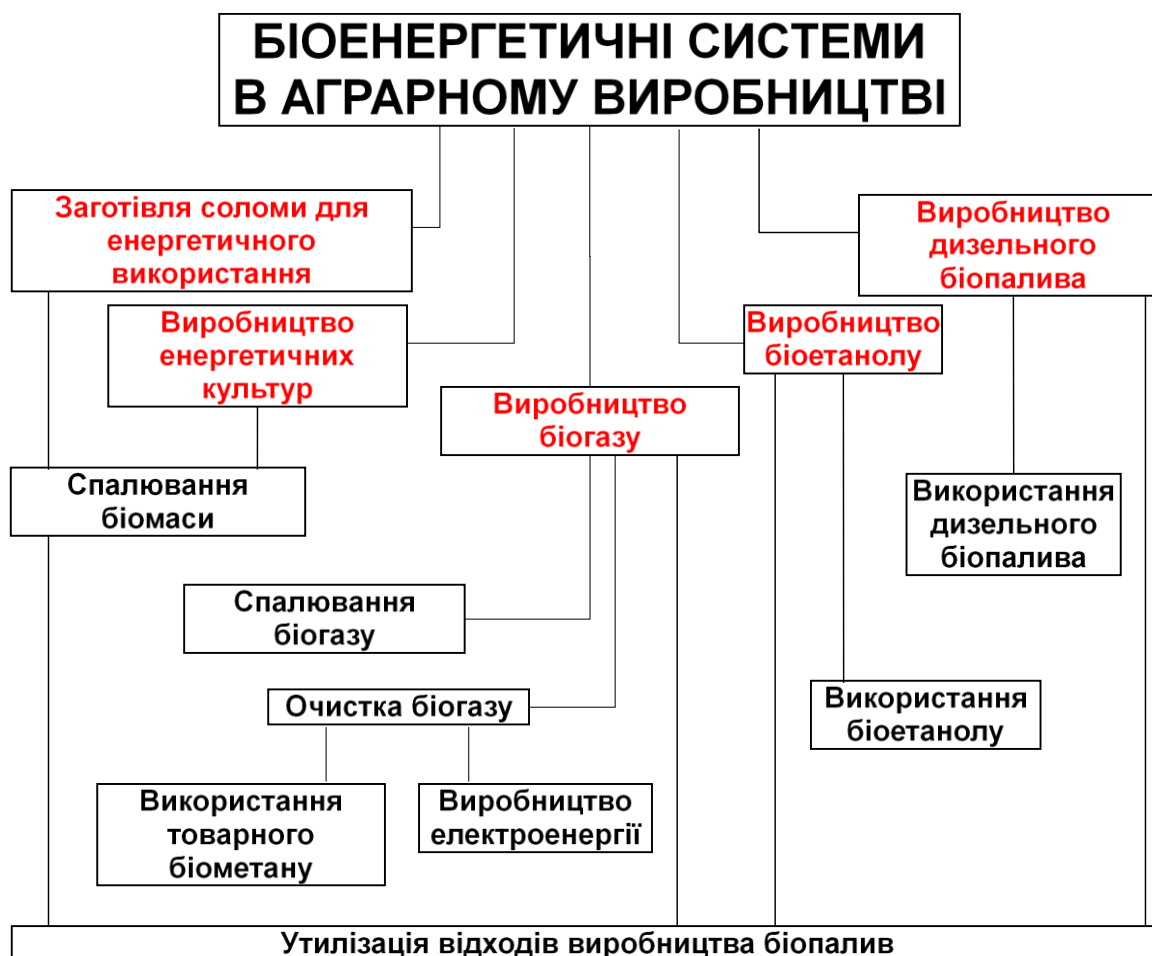


Рис. 1.3. Об'єкти біоенергетичних систем в аграрному виробництві

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 CO₂ 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.

Обертовий 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 (багатопротильне) виробництво натуральних продуктів харчування із широким застосуванням органічних та помірним застосуванням мінеральних добрив, біологічних засобів захисту та сортів культур районуваних 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 багатопротильних сільськогосподарських підприємств, а відповідно і платежів у бюджет.

Відповідно до концепції екологічно безпечного, багатопротильного 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.

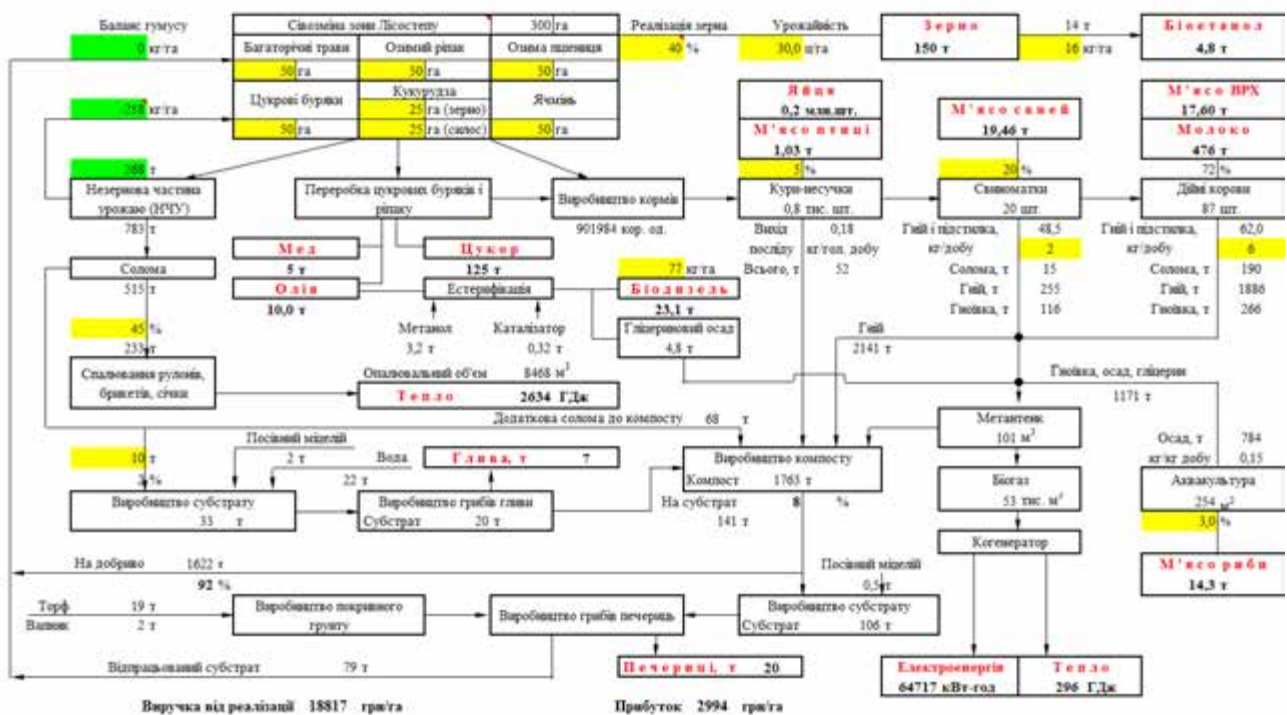


Рис. 1.4. Структурна схема диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та біопалива в агроєкосистемах

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

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, дїб; 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, m^3 ; k_{BG} – коефіцієнт використання гною в біогазових установках; k_{BV} – коефіцієнт виходу біогазу в біогазових установках, $m^3/т$; 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, m^3 ; k_{BGG}^i – коефіцієнт виходу генераторного газу із біомаси соломи i -ї культури, $m^3/т$.

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 сівозміни – 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 агроєкосистеми:

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
Виробництво продукції рослинництва				
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			5759,72	1072,11
Виробництво продукції рослинництва, тваринництва та грибівництва				
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			17070,60	2189,88
Виробництво продукції рослинництва, тваринництва, грибівництва, біопалив та біоенергії				
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			18817,32	2993,74

- 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	3335,91	555,30
Тваринництво	9053,45	394,73
Грибівництво	3149,28	895,28
Олія	666	348,90
Дизельне біопаливо	1281	116,12
Біоетанол	267	32,80
Електроенергія	186	64,72
Теплоенергія	879	585,89

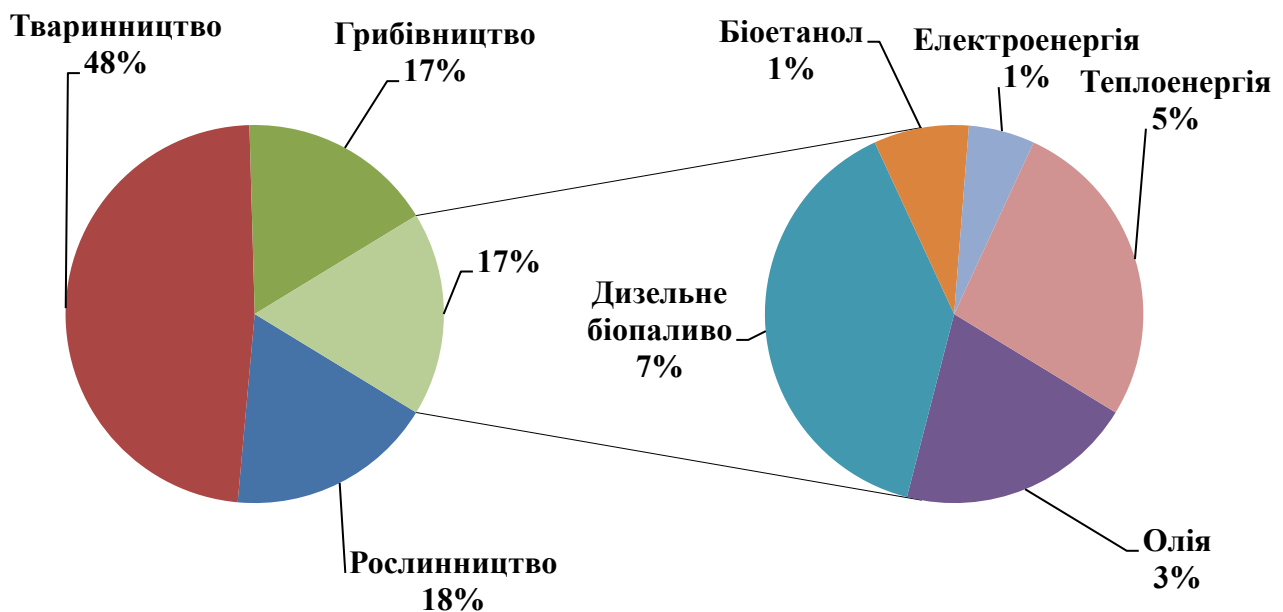


Рис. 1.5. Структура надходжень коштів від виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив

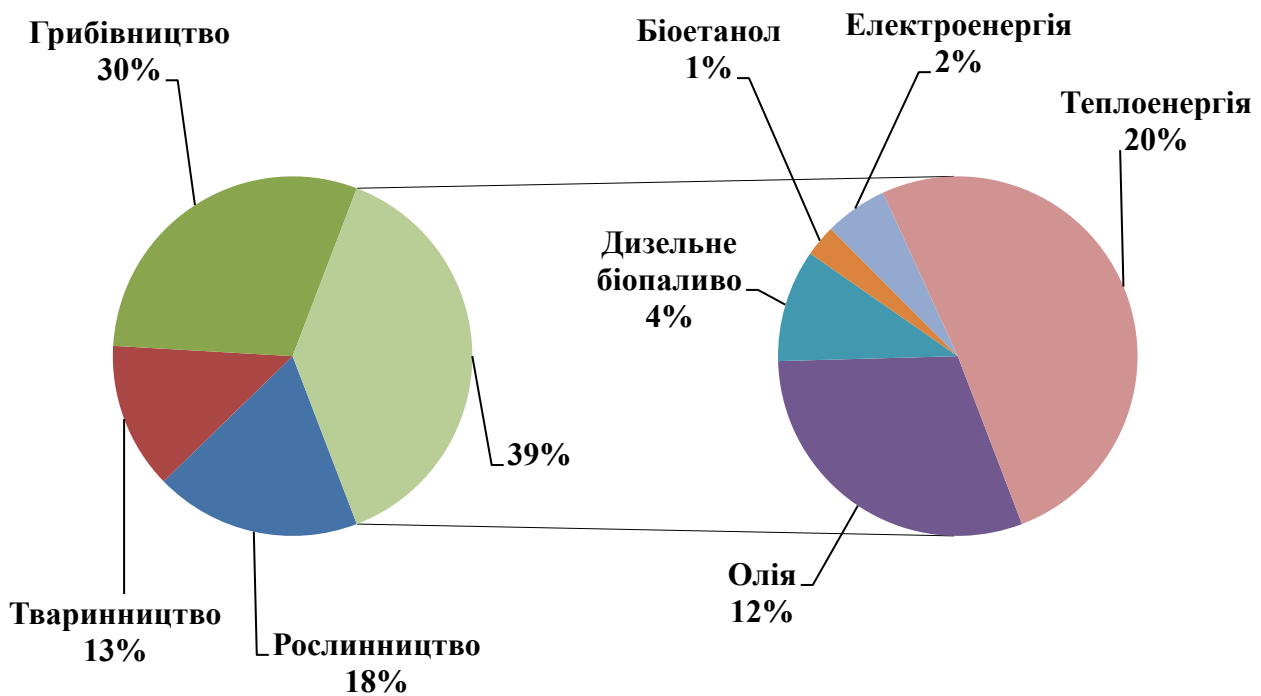


Рис. 1.6. Структура прибутків від виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив

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 $M=1033$ кг/га, середнє значення величини надходження гумусу в сівозміні за рахунок рослинних решток $H_1=407$ кг/га, середнє значення величини надходження гумусу в сівозміні за рахунок біомаси сидератів $H_2=150$ кг/га. Обсяг біомаси бур'янів, втрат соломи під час збирання, незернової частини кукурудзи, що залишається на полі їх вологості та коефіцієнти гуміфікації згідно табл. 1.7.

Баланс гумусу в сівозміні при використанні рослинних решток та біомаси сидератів, B_1 (кг/га):

$$B_1 = -M + H_1 + H_2 = -1033 + 407 + 150 = -476 \text{ кг/га.}$$

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

$$H_3 = \frac{1}{S} \sum_j^m OB_j \left(1 - \frac{W_j}{100}\right) k_{Гj} = \frac{1000}{300} \left[750 \cdot \left(1 - \frac{85}{100}\right) \cdot 0,2 + \right. \\ \left. + 268 \cdot \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot 0,2 + 1622 \cdot \left(1 - \frac{72}{100}\right) \cdot 0,14 + 79 \cdot \left(1 - \frac{72}{100}\right) \cdot 0,13 \right] = \\ = 75 + 143 + 212 + 10 = 440 \text{ кг/га.}$$

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 2,5 т/га), т	OB_B	750
Вологість біомаси, бур'янів, %	W_B	85
Коефіцієнт гуміфікації біомаси, бур'янів, відн. од.	$k_{ГБ}$	0,2
Дефіцит гумусу при використанні біомаси бур'янів, кг/га	H_B	-401
Загальний вихід рослинної біомаси, що залишається на полі, т	$OB_{РБ}$	268
Вологість рослинної біомаси, %	$W_{РБ}$	20
Коефіцієнт гуміфікації рослинної біомаси, в т.ч. соломи, відн. од.	$k_{ГРБ}$	0,2
Дефіцит гумусу при використанні біомаси бур'янів та рослинної біомаси, кг/га	$H_{РБ}$	-258
Внесення компосту, т	$OB_{П}$	1622
Вологість компосту, %	$W_{П}$	72
Коефіцієнт гуміфікації компосту, відн. од.	$k_{ГП}$	0,14
Дефіцит гумусу при використанні біомаси бур'янів, рослинної біомаси та компосту, кг/га	$H_{РБК}$	-46
Внесення субстрату, т	$OB_{П}$	79
Вологість компосту, %	$W_{П}$	72
Коефіцієнт гуміфікації компосту, відн. од.	$k_{ГП}$	0,13
Баланс гумусу при використанні біомаси бур'янів, рослинної біомаси, компосту та субстрату, кг/га	$H_{П}$	-36

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

$$B_2 = -M + H_1 + H_2 + H_3 = -1033 + 407 + 150 + 440 = -36 \text{ кг/га.}$$

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:

$$C = \frac{B_2 S}{1000 \left(1 - \frac{W_C}{100}\right) k_{ГC}} = \frac{36 \cdot 300}{1000 \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot 0,2} = 68 \text{ т.}$$

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	783
Обсяг незернової частини урожаю, що залишається на полі, т	268
Обсяг соломи на підстилку, т	205
Обсяг соломи для потреб грибівництва, т	10
Додатковий обсяг соломи для компенсації втрат гумусу, т	68
Солома на теплові потреби, т	233
Солома на теплові потреби від біологічного урожаю, %	30

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

$$K = 4 C_{KT} = 4 \cdot 68 = 272 \text{ т};$$

$$CB = 3 C_{KT} = 3 \cdot 68 = 204 \text{ т}.$$

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 30 % 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. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Шелудченко Б.А. Вступ до конструювання природно-техногенних геоекосистем / Б.А. Шелудченко // – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2014. – 170 с.
18. 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>.