МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технології виробництва і переробки продукції тваринництва, стандартизації та біотехнології

Кафедра біотехнології та біоінженерії

Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики

Курс лекцій

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти ОПП «Біотехнології та біоінженерія» спеціальності G 21 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми здобуття вищої освіти



Миколаїв
2026

УДК 620.92:631.5
Т38

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії факультету ТВППТСБ Миколаївського національного аграрного університету від 25.11.2026 р., протокол № 3

Укладачі:

О. І. Каратєєва – канд. с -г. наук, доцентка, доцентка кафедри біотехнології та біоінженерії, Миколаївський національний аграрний університет.

А.С. Каратєєв – аспірант кафедри технології виробництва продукції тваринництва, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

В. П. Ярошевський – канд тех. наук, директор ІТІ «Біотехніка» НААН України.

Л. В. Вахоніна – канд. фіз.-мат. наук, доцентка, доцентка кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики : курс лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти ОПП «Біотехнології та біоінженерія» спеціальності G 21 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми здобуття вищої освіти / уклад. О. І. Каратєєва, А. С. Каратєєв. Миколаїв : МНАУ, 2026. 73 с.

Т38

У курсі лекцій викладено зміст дисципліни «Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики» – науки яка спрямована на формування у здобувачів вищої освіти системного розуміння технологічних процесів отримання біоенергетичних ресурсів із сільськогосподарської сировини. У процесі вивчення курсу лекцій здобувачі ознайомлюються з основними видами сировини, її властивостями та вимогами до якості, технологіями заготівлі, зберігання, підготовки та переробки, а також сучасними способами отримання біогазу, біоетанолу, біодизеля, твердого біопалива та інших енергетичних продуктів. Особливого значення набуває вивчення технологій переробки зернових, олійних, цукрових та інших сільськогосподарських культур, рослинних решток, відходів тваринництва та переробної промисловості. Раціональне використання таких ресурсів сприяє формуванню замкнених виробничих циклів, підвищенню економічної ефективності аграрного виробництва та розвитку відновлюваної енергетики.

УДК 620.92:631.5

© Миколаївський національний аграрний університет, 2026
© Каратєєва О.І., Каратєєв А.С., 2026

Зміст

Тема 1. Загальна характеристика стану альтернативної енергетики, проблеми та перспективи 4

Тема 2. Сировина для виробництва нетрадиційної енергетики 10

Тема 3. Відновлювальні джерела енергії 17

Тема 4. Науково-обґрунтовані сівозміни для ефективного вирощування біомаси 27

Тема 5. Виробництво твердого та рідкого біопалива 35

Тема 6. Виробництво дизельного та газоподібного біопалива 38

Тема 7. Вирішення екологічних проблем 50

Тема 8. Нормативно-правова база виробництва та використання альтернативних видів палива в Україні та світі 61

Список використаної літератури 71

Лекція 1

Загальна характеристика стану альтернативної енергетики, проблеми та перспективи

1. Основні терміни та визначення понять.
2. Основні напрями альтернативної енергетики.
3. Проблеми та перспективи біоенергетики.

1. **Основні терміни та визначення понять.** Сучасна енергетика переважно базується на невідновлюваних джерелах енергії, які, мають обмежені запаси, майже вичерпані та не можуть гарантувати сталого розвитку світової енергетики в довгостроковій перспективі, а їх використання є одним із головних факторів, що призводять до глобального погіршення світового довкілля та його кризовий стан

Альтернативна енергетика – галузь енергетики, що забезпечує виробництво електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії.

Альтернативні джерела енергії – це відновлювані джерела енергії, які включають сонячну, вітрову, геотермальну, енергію хвиль і припливів, гідроелектроенергію, енергію біомаси, газ з органічних відходів, газ з очисних споруд, біогаз, а також вторинні енергетичні ресурси, які включають газ доменних печей і коксівний газ, газ метан від дегазації вугільних родовищ, перетворення потенційної енергії відходів технологічних процесів.

Біомаса – біологічно відновлювана речовина органічного походження, а також органічна частина промислових і побутових відходів і як альтернативний вид палива і альтернативне та відновлюване джерело енергії.

Виробництво тепла з енергії біомаси, як альтернативного джерела енергії, здійснює альтернативна енергетика. Сільськогосподарські культури та продукція сільськогосподарського виробництва, є джерелом енергії, і їх відносять до нетрадиційних джерел і різновидів енергетичної сировини. Паливо з біомаси, називають *біопаливом*.

2. Основні напрями альтернативної енергетики.

1. *Вітроенергетика*. Створення автономних вітрогенераторів.

2. *Геліоенергетика*. Сонячні водонагрівачі, колектори, фотоелектричні елементи.

3. *Альтернативна гідроенергетика*. Припливні електростанції, хвильові електростанції, міні-та мікро-ГЕС (встановлюються в основному на малих річках), водоспадні електростанції.

4. *Геотермальна енергетика*. Теплові електростанції і (принцип відбору високотемпературних ґрунтових вод та використання їх у циклі). Грунтові теплообмінники (принцип відбору тепла ґрунту по засобом теплообміну).

5. *Космічна енергетика*. Отримання електроенергії у фотоелектричних елементах, розташованих на орбіті Землі. Електроенергія буде передаватися на землю у формі мікрохвильового випромінювання.

6. *Воднева енергетика і сірководнева енергетика*. Водневі двигуни (для отримання механічної енергії). Паливні елементи (для отримання електрики).

7. *Розподілене виробництво енергії*. Нова тенденція в енергетиці, пов'язана з виробництвом теплової та електричної енергії.

8. *Грозова енергетика*. Спосіб отримання енергії шляхом затримання і перенаправлення енергії блискавок в електромережу.

9. *М'язова сила людини*. Хоча м'язова сила є найдавнішим джерелом енергії, і людина завжди прагнула замінити її чимось іншим, в даний час її значення зростає разом із зростанням використання велосипеда.

10. *Біопаливо*. Отримання біодизеля, метану і синтез-газу, біогазу.

3. Проблеми та перспективи біоенергетики. Енергетика спричиняє не лише хімічне забруднення, а й інші забруднення: термічне, аерозольне, електромагнітне, радіоактивне. Тому не буде перебільшенням те, що вирішення енергетичних проблем визначає вирішення основних екологічних проблем. Енергетика, як галузь виробництва, розвивається дуже швидкими темпами, тому забезпечення енергетичної безпеки та зменшення антропогенного впливу енергетики на навколишнє середовище є актуальним завданням сьогодення.

Найактуальнішою стала проблема забезпечення ресурсами енергетики. З одного боку, загальні запаси паливних ресурсів на сьогодні досить великі,

щороку відкриваються нові родовища викопного палива. Крім того, сучасні технології забезпечують доступ до використання нетрадиційних джерел енергії. Тому абсолютної нестачі енергетичних ресурсів на планеті поки що немає. З іншого боку, існує відносна ресурсна обмеженість, яка зумовлена можливістю швидкого виснаження найбільш доступних родовищ і переходу до розробки більшої кількості комплексів, що призводить до зростання цін на носії енергії та спонукає до використання більшість паливних ресурсів не мають прибутку. Загострилися проблеми, пов'язані з негативним впливом енергетики на стан навколишнього середовища [18, 21, 22]. Викиди під час таких робіт складають 30% усіх твердих часток, що потрапляють в атмосферу в результаті господарської діяльності людини. За цим показником вплив електростанцій та металургійних підприємств однаковий порівняно з іншими галузями промисловості, найбільший. Крім того, в результаті діяльності енергетики утворюється до 63% діоксиду сірки і більше 53% оксидів озону, які потрапляють в повітря від стаціонарних джерел забруднення. Вони є основним джерелом кислотних дощів в Україні. Рослини та океан більше не в змозі поглинати кількість вуглекислого газу, який виробляється спаленою органікою. Це призводить до поступового збільшення його концентрації в атмосфері, посилюється «парниковий ефект», спричиняючи потепління клімату [18].

Враховуючи це, а також враховуючи необхідність збереження екологічної рівноваги, найважливішим завданням є пошук нових ефективних, а головне, відновлюваних джерел енергії. Один із найперспективніших з цього погляду відновлюваних джерел енергії – це енергія біомаси. Енергію відновлювальних джерел, особливо біомаси активно використовують, більшість розвинених країн світу. У деяких країнах частка біомаси значно перевищує загальне споживання первинних енергоносіїв, в Центральній Європі та, наприклад, у Фінляндії становить понад 25%, у Швеції – 20%. За умови недостатнього забезпечення України власними ресурсами (нафта, газ), відходи рослинного походження є одними з найважливіших – це доступні та

перспективні альтернативні джерела енергетичних ресурсів. Найбільш ефективним може бути комбіноване використання біомаси рослин.

Пряме використання біомаси для виробництва енергії більше екологічно безпечніше, ніж, наприклад, вугілля. Від спалювання біомаси виділяється менше 0,2% сірки і 3-5% золи порівняно з 2-3% і 10-15% для при спалюванні вугілля, решта в основному вуглекислий газ. Крім того, зола біомаса може повертатися в ґрунт, що забезпечує замкнутий цикл кругообігу біогенних елементів. З точки зору обліку вуглекислого газу, біомаса є майже нейтральною, тобто в період росту рослини засвоюють сонячну енергію, воду, вуглекислий газ, виділяють кисень і утворюють вуглець у процесі фотосинтезу; при горінні процес відбувається у зворотному напрямку: поглинається кисень, а тепло, вода і вуглекислий газ виділяються. У цьому процесі кількість вуглекислого газу що поглинається і виділяється абсолютно однаково. У процесі формування 1 кг сухої біомаси (деревини) поглинається 1,83 кг CO_2 і стільки ж виділяється при її розкладанні (окислення, горіння). Що стосується нафти, вугілля і газу, то та ж властивість спостерігається для CO_2, але час, необхідний для відновлення балансу CO_2, може досягати кількох мільйонів років. Середня теплота прямого спалювання біомаси становить 7-9 МДж/кг.

В даний час визнано, що всі технології, які використовують енергетичну енергію біомаси, не збільшують викиди CO_2, а запобігають її виробленню в кількості електричної та теплової енергії.

Під час піролізу біомаси неконденсовані гази CO, CO^2, H^2, CH_4, C^2 H_4, вміст яких залежить від виду біомаси та теплового режиму обробки. Вихід неконденсованого піролізного газу може досягати до 70% сухої біомаси, а теплота згоряння 12,5-13,3 МДж/м ^{3}. До складу продуктів піролізу входять різні речовини: кислоти, спирти, ацетон, формальдегід, вода та ін. Це залежить від типу та якості біомаси та умов процесу; теплота згоряння рідких продуктів досягає 20-25 МДж/кг. Коксовий залишок піролізу містить близько 95-97% вуглецю, а його вихід може досягати до 25-30% сухої біомаси, теплотворна здатність залишку становить до 35 МДж/кг.

Під час метанового бродіння отриманий біогаз містить 60-70% метану, 30-40% вуглекислого газу, невелику кількість сірководню, а також суміш водень, аміак і оксид азоту, теплота згоряння біомаси – 22-26 МДж/кг. Залишок, що утворюється в процесі метанового бродіння містить значну кількість поживних речовин (особливо азоту) і може бути використаний як відмінне добриво.

Виробництво та використання рідкого палива з біомаси не тільки сприяє підвищенню енергетичної безпеки держави, але й покращує екологічну ситуацію.

Паливний етанол, отриманий з біомаси як добавка до бензину дозволяє підвищити октанове число і поліпшити експлуатаційні суміші, при вмісті етанолу в бензині до 15% не потрібні структурних змін конструкцій сучасних двигунів внутрішнього згоряння. Під час роботи на суміші бензину з етанолом, вміст CO_2 у вихлопних газах зменшується на 25%, а вуглеводнів і NOx – на 5%, що особливо важливо для зниження забруднення навколишнього середовища у великих містах зі значним використанням автомобільного транспорту.

Біодизель (*biodiesel*) – продукт переробки рослинної олії (ріпакова, соняшникова, пальмова олія). Біодизельне паливо для автомобільного транспорту на основі ріпакової олії має такі переваги порівняно з нафтовим паливом:

• не впливає на парниковий ефект, оскільки ріпак, як і вся біомаса, нейтральний відносно CO_2;

• створює меншу концентрацію шкідливих речовин у вихлопних газах (концентрація CO, вуглеводнів і твердих часток зменшується на 25-50%, задимність газів зменшується вдічі);

• не містить канцерогенних речовин (поліциклічні ароматичні вуглеводи, особливо бензпірен);

• для горіння потрібно менше повітря;

• має високий ступінь біологічного розкладання (протягом 21 дня його біорозкладаність становить близько 90%).

У той же час недоліками біодизеля, порівняно, з нафтовим пальним є менша теплота згоряння, що призводить до збільшення витрати палива і зниження потужності двигуна на 16%; велика в'язкість ріпакової олії погіршує розпилювання, сумішоутворення і процес згорання в дизелі; необхідність частої заміни масляних фільтрів і регулярного обслуговування форсунок за рахунок сильного закоксовування отворів розпилювачів.

У результаті збільшення виробництва біомаси покращується мікроклімат, завдяки використанню води та механізмів рециркуляції. Виробництво і використання компосту з біомаси покращує структуру ґрунту та зменшує забруднення підземних вод.

Ряд технологій отримання біогазу на полігонах, з відходів тваринництва, з відходів харчової промисловості сприяють захисту навколишнього середовища, оскільки запобіганню забрудненню води, землі та повітря цими відходами.

Лекція 2

Сировина для виробництва нетрадиційної енергетики

1. Перспективи використання рослинних відходів для виробництва твердого біопалива.
2. Енергетичні ресурси біомаси.
3. Класифікація біомас, придатних для використання, як поновлювальне джерело енергії.
4. Способи отриманні енергії з біомаси.

1. Перспективи використання рослинних відходів для виробництва твердого біопалива. Розподіл біомаси по територіям країни нерівномірний. У північно-західних областях України переважає деревна біомаса, а відходи сільського господарства незначні. Південно-східні та центральні регіони, там, де розвинене сільське господарство, обсяги біомаси з його відходів значні. Економічно зручно використовувати рослині і деревні відходи, що базується здебільшого на використанні дешевих неліквідних відходів, яких в Україні достатньо: зернові висівки та лушпиння – до 6% маси зернового бункера; очищена кукурудза в качанах – до 20% бункерної маси зерна; абрикосові кісточки і горіхова шкаралупа – 100-120 тис. т на рік; яблучні вижимки – 0,5-0,9 млн т за рік; виноградні вижимки – близько 200 тис. т на рік; лушпиння соняшнику – 1,5-2 млн т на рік.

Спалювати солому для отримання тепла досить важко, оскільки вона неоднорідна за вологістю, має низьку енергоємність та малу температуру плавлення золи [76, 77]. Перспективи використання соломи зернових культур, пшениці та соняшнику полягають у виробництві паливних брикетів.

Останнім часом в Європі запроваджденні нові технології, при використанні яких як паливо використовується солома [5]. Солому спалюють, газифікують та піддають піролізу [5]. Слід зазначити, що солома є одним із найдешевших відновлюваним джерелом енергії з високою теплотворною здатністю [62,63].

Для виробництва твердого біопалива використовується кукурудза, яка

збирається у фазі воскового дозрівання звичайним кормозбиральним комбайном. При такому способі збирання качанів і стрижнів, їх відразу подрібнюють, що дозволяє використовувати їх для виробництва твердого біопалива – брикетів, пелет, гранул.

Соняшник збирають [74, 78] за допомогою зернових комбайнів зі спеціальними пристосуваннями, що дають змогу зрізати стебла на висоті 10-20 см, та подрібнювати на частини і розкидати по полю, а насіння, намолочене з качанів, потрапляє в бункер. Качани також подрібнюють і розкидують по полю, або збирають в накопичувач і використають як корм для тварин.

Коноплі промислові (технічні або ненаркотичні) – однорічна волокниста рослина родини коноплевих, яку культивують для отримання (*Cannabis)* яку вирощують для отримання волокна і насіння. З усіх частин рослини найціннішим є стовбур, який становить близько 60-70% від загальної сухої маси.

Конопля є найбільш відновлюваним джерелом енергії. Його головна функція – велике накопичення деревини: з 1 га дає багато більше деревини, ніж лісові породи за рік. Так, річний приріст сосни це 2,5 $м^3$ з 1 га, а для конопель – за середньої врожайності 50 ц/га соломи, 5-6 $м^3$, а за великого врожаю – двічі більше[81].

Як і деревина, стебла конопель є різновидом твердого палива. Як енергетичне паливо конопляна сировина має ряд переваг, оскільки основна її частина – органічні речовини, які мінімально забруднюють середовище порівняно з мінеральними та іншими різновидами палива. За хімічним складом стебла конопель здебільшого складаються з целюлози – 30-60%, лігніну – 20-30%, воску – 1-1,5%, цукристих речовин до 8: азотистих (4-5%) і пектинових (6-16%).

Важливим джерелом сировини з відходів для виробництва брикетів є стебла *бавовнику* і *багаття*. *Багаття* є відходами первинної переробки стебла коноплі та льону після пропускання їх через коноплемельні машини, де відокремлюють подрібнену частину стебла від пенька. Подрібнені стебла

бавовнику залишаються після збору бавовни. Відходи бавовни, так само як і деревина, містять багато органічних речовин та сполуки.

Опале листя і скошена трава, яке прибираються у містах та селах, теж можна переробляти на біопаливо.

Аграрне виробництво є потужним джерелом утворення відходів, які є біомасою, придатною для виробництва енергії [44]. Основними різновидами цієї біомаси є солома різних культур, соняшник, пшениця та деякі інші відходи. Енергетичний потенціал біомаси має солома зернових культур та ріпаку, стебла, кошики та лушпиння соняшників, стебла та стрижні кукурудзи на зерно.

2. Енергетичні ресурси біомаси. Енергетичні ресурси біомаси, або біоенергетичні ресурси (БЕР) визначені в просторі та часі відновлювані енергетичні ресурси біогенного походження, вони характеризуються певним потенціалом і для яких необхідні технології видобутку/виробництва та використання.

Електроенергетичний потенціал певного виду БЕР (біоенергетичні ресурси) це здатність виробляти відповідну кількість електроенергії на рік на основі даного типу чи виду БЕР.

Види енергетичних ресурсів біомаси:

- відходи до яких відносяться: тверді побутові відходи; осад станцій очищення комунальних стічних вод; відходи тваринництва; відходи рослинництва; органічні відходи промисловості; відходи деревини;
- енергетичні культури: водорості; сільськогосподарські культури для виробництва біопалива; швидкоростучі деревні насадження.

***Технології використання біоенергетичних ресурс*ів**. До основних технологій використання біоенергетичних ресурсів включають наступне:

- *анаеробне бродіння* (бродіння без доступу кисню, під час якого за допомогою певних видів метаноутворюючих бактерій виробляється біогаз – газ, що містить метану до 60-70%);
- *термохімічні процеси* (спалювання, піроліз, газифікація – відрізняються кінцевим продуктом і ступенем доступу кисню).

3. Класифікація біомас, придатних для використання, як поновлювальне джерело енергії. Біомаса, яка зараз використовується для виробництва енергії, або нових видів палива, за походженням поділяється на три види: тваринного походження, рослинного походження та мікроводорості.

Біомаса тваринного походження в більшій частині своїй являє собою відходи тваринництва у вигляді гною великої рогатої худоби та посліду птахів, а також відходи бійні в місцях м'ясозаготівлі.

Біомаса рослинного походження утворюється з рослин природного та сільськогосподарського походження, а також з відходів деревообробної промисловості. Основним джерелом біомаси рослинного походження є: трава, силос зеленої маси, солома, що утворилася після збирання врожаю зернових культур, енергетичні культури, що вирощуються для отримання нових видів біопалива, відходи інших сільськогосподарських культур у вигляді стебла, лушпиння, качанів, бадилля. Значний потенціал рослинної біомаси становлять відходи деревообробної промисловості у вигляді полін, гілля, тирси, тріcок та кори з деревини.

Мікроводорості – мікроскопічні одноклітинні організми, схожі на рослини через перетворення сонячної енергії за допомогою процесу фотосинтезу в хімічну енергію внутрішньої біомаси. Мікроводорості відносяться до широкої групи фотосинтезуючих організмів, яка включає ціанобактерії, діатомові, одноклітинні зелені та інші види водоростей. Вони можуть розвиватися в складних агрокліматичних умовах і продукувати широкий асортимент корисних продуктів: жири, білки, вуглеводи, барвники, біологічно активні сполуки та ін. Особливий інтерес з точки зору відновлюваної енергетики проявляється до використання мікроводоростей як організмів, здатних до зберігання сонячної енергії шляхом фотосинтезу, оскільки ефективність перетворення енергії від мікроводоростей значно вища, ніж від вищих рослин.

4. Способи отриманні енергії з біомаси. Загалом енергію з біомаси можна отримати трьома основними способами: фізичним, фізико-хімічним та фізико-біохімічним.

Фізичний метод отримання енергії з біомаси заснований на процесі механічного пресування. Залежно від специфіки реалізації розрізняють гарячий і холодний прес.

У процесі *гарячого пресування* олійних культур насіння піддається попередньому нагріву. Отримана олія має яскравий колір і більший термін зберігання (наприклад, для соняшникової олії від 4 до 10 місяців).

При *холодному віджимі* біосировини насіння після збору піддають безпосередньому механічному пресуванні при кімнатній температурі навколишнього середовища. Цей процес є менш енерговитратним, але термін зберігання отриманої олії трохи менший (наприклад, для соняшникової олії 3-4 місяці).

В основі ***фізико-хімічного методу*** отримання енергії з біомаси лежать процеси спалювання, піроліз, газифікація, екстракція, переестерифікація.

Спалювання – це екзотермічна реакція окислення біомаси, що супроводжується появою полум'я і світіння, виділенням теплової енергії і димових газів. Надалі отриману енергію можна використовувати безпосередньо при наявності теплового навантаження, або перетворювати в інші види енергії: механічну, електричну та ін. Цей спосіб є одним із найдавніших за рівнем розвитку, оскільки людство як тільки навчилося отримувати вогонь майже відразу освоїло цю технологію перетворення біомаси, яка була найбільш зручним і доступним енергоресурсом.

Піроліз – це процес розкладання складних органічних сполук речовини в більш прості сполуки без доступу повітря за високого температурного режиму (300-850 °С). Ефективність піролізу визначається відношенням теплоти спалюваної сировини до теплоти згоряння вхідної біомаси, сучасні параметри установок дозволяють отримати значення 80-90%. Необхідна для піролізу теплова енергія отримується в наслідок спалювання газів і частини коксу, які утворюється в результаті хімічної реакції. Продукти піролізу – рідке піропаливо, гази і вугілля (кокс і напівкокс).

Газифікація – це процес часткового окислення вуглецю сировини (біомаси, торфу або вугілля) з отриманням газоподібного енергоносія –

газогенераторного газу. Газ, що утворюється, складається з оксиду вуглецю (CO), водню (H_2), метану (CH_4), вуглекислого газу (CO_2), невеликої кількості вуглеводневих сполук вищого порядку, водяної пари (H_2O), азоту (N_2) та різних домішок (смоли, частинки вуглецевих речовин і золи). В якості окислювача при газифікації використовуються повітря, кисень, водяна пара або суміші цих речовин. Максимальна температура процесу становить 800-1300°C.

Переестерифікація – це процес перетворення біомаси в біодизельне паливо за використання каталізаторів при температурі не вище 60 ° С. В деяких випадках для інтенсифікації процесу можна використовувати надмірний тиск та перемішування реакційної суміші. Суть процесу переестерифікації полягає в тому що відбувається обмін між радикалами тригліцеридів та спиртом. В наслідок цього процесу отримують біодизельне паливо (складний ефір жирної кислоти) і гліцерин.

Екстракція – процес отримання олії з олійних культур. Отриману при цьому методі олію можна використовувати безпосередньо в спеціалізованих двигунах внутрішнього згоряння як паливо, або переробляти на біодизельне паливо, яке використовується як паливо в класичних дизельних двигунах. Екстракція – це процес дифузії, в якому завдяки різниці концентрацій відбувається виведення олії із рослинної сировини.

Фізико-біохімічне виробництво енергії з біомаси базується на процесах бродіння і ферментації.

Ферментація біомаси – це процес перетворення біомаси під дією ферментів, тобто біохімічних каталізаторів, які можуть прискорити асиміляція і дисиміляція органічних сполук. Як ферменти для розщеплення крохмалю використовуються амілази, для розщеплення білків – протеази. В кінцевому результаті процесу ферментації утворюється горючий газ, що містить у різних співвідношеннях CO, CO_2, O_2, H_2, N_2, H_2S, H_2O, CH_4, C_nH_m.

Бродіння біомаси – це процес розкладання органічних речовин за участю мікроорганізмів без доступу кисню (або повітря), який реалізується в герметичних резервуарах – метантенках. Процес складається з двох стадій: на

першій стадії відбувається розщеплення мікроорганізмами біополімерів в мономери, а на другому – перетворення мономерних біомолекул мікроорганізми в найпростіші сполуки. У процесі анаеробного бродіння складні органічні речовини розкладаються на CO_2 і CH_4 з утворенням біогазу у вигляді суміші вуглекислого газу і метану, з частиною метану до 70%.

Лекція 3

Відновлювальні джерела енергії

1. **Відновлювальні джерела енергії**
2. **Вітроенергетика.**
3. **Гідроенергетика.**
4. **Сонячна енергетика.**
5. **Сонячна теплоенергетика.**
6. **Геотермальна енергетика.**
7. **Біопаливо, біоенергетика.**

1. Відновлювальні джерела енергії. *Відновлювана енергетика* – галузь енергетики, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії. До відновлюваних джерел енергії належать періодичні або постійні потоки енергії, які поширені в природі та обмежені лише стабільністю Землі як космопланетного елемента: променистa енергія Сонця, вітер, гідроенергія, природна теплова енергія тощо.

Розвиток відновлюваної енергетики має велике значення для майбутнього людства, оскільки горючі копалини, які є основою виробництва енергії на початку 21 століття, мають обмежені запаси, які раніше чи пізніше будуть вичерпані. Ідеальним для виживання людини був би сталий розвиток, концепція, згідно з якою виробництво та споживання в суспільстві збалансовані таким чином, щоб не залежати від ресурсів, які є лише тимчасово доступними.

2. Вітроенергетика. ***Вітроенергетика*** – це галузь альтернативної енергетики, яка базується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну.

Стрімкий розвиток світових ринків вітроенергетики обумовлюється економічними перевагами вітроенергетики та її зростаючою конкурентоспроможністю порівняно з іншими джерелами електроенергії, а також нагальною необхідністю використання екологічних технологій без шкідливих викидів, щоб зменшити вплив на клімат і уникнути забруднення повітря.

Джерелом енергії вітру є сонце, оскільки саме сонце має вплив на утворення вітру. Через неоднорідність земної поверхні і тому що кут падіння світла на різних широтах у різні пори року неоднаковий земна атмосфера поглинає сонячну радіацію нерівномірно. Щільність повітря змінюється і піднімається в атмосферу, утворюючи потоки. Там, де повітря нагрівається сильніше, ці потоки піднімаються вище і вони зосереджені в областях низького тиску. Холодне повітря піднімається вгору нижче, утворюючи області високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря рухатися з області високого тиску в область низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря є феноменом, який ми називаємо вітром.

Для використання енергії вітру необхідно враховувати добову і сезонна зміну вітру, його швидкість, яка залежить від висоти розташування над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також статистичні дані за певний період, наприклад за останні 20 років.

Повітряні потоки можна використовувати для приведення в рух вітрових турбін. Принцип роботи всіх вітрових турбін однаковий: під напором вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутний момент через систему передачі вала генератора, що виробляє електроенергію. Реальний ККД кращих вітроколес досягає 45% при стабільній роботі за оптимальної швидкості вітру. Існують дві принципово різні конструкції вітроенергетичних установок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Сучасні вітрові турбіни мають номінальну потужність приблизно від 600 кВт до 5 МВт. В даний час найбільш поширеними в промисловому використанні є повітряні турбіни з номінальною потужністю в межах 1,5-3 МВт. Потужність вітрового потоку пропорційна площі його поперечного перерізу і має кубічну залежність від швидкості вітру, тобто його потужність зростає навіть швидше, ніж швидкість вітру. Райони з сильними та постійними вітрами, такі як прибережні смуги та вершини гір, є найкращими місцями для вітрових електростанцій.

3. Гідроенергетика. ***Гідроенергетика*** – це галузь відновлюваної енергетики, в основу якої полягає перетворення енергії течії води в електричну

енергію. Сьогодні у світі активізувалося будівництво та використання малих гідроелектростанцій (МГЕС).

На цих гідроелектростанціях, як джерело енергії використовується потенційна енергія водного потоку, першоджерелом якої є Сонце, що випаровує воду, яка потім, на височинах, випадає у вигляді атмосферних опадів і стікає, утворюючи річки.

Гідроелектростанції зазвичай будують на річках шляхом будівництва дамб і водосховищ. Також можливе використання кінетичної енергії потоку води в так званих гідроелектростанціях вільного потоку.

Оскільки щільність води приблизно в 800 разів більша за щільність повітря, навіть повільний потік води або слабка океанська течія може виробляти значну кількість енергії.

В останні десятиліття проводяться широкомасштабні дослідження практичного використання значного потенціалу течій в морях і океанах, які поділяються на неперіодичні, мусонні (пасатні) і приливновідпливні. Серед них розглядається можливість використання енергії основних неперіодичних течій (Гольфстрім, Куросіо та ін.), сумарний енергетичний потенціал яких оцінюється за різними методами від 5 до 300 млрд кВт.

Україна має достатній науково-технічний потенціал для вирішення проблеми розвитку «малої» гідроенергетики та значний досвід у галузі проектування та розробки конструкцій гідротурбінного обладнання. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для оснащення малих гідроелектростанцій вітчизняним обладнанням.

Вода не забруднює атмосферу. Гідроелектроенергетична галузь виробляє 8% енергії від загальної встановленої потужності об’єктів енергогенерації нашої країни. Нові об'єкти можна розміщувати в будь-якому регіоні, де є наявність малих чи великих річок. В Україні понад 22 тис. річок, але тільки 110 з них мають протяжність понад 100 км, тому основні ресурси гідроенергетики зосереджені на малих річках. При цьому під час будівництва гідроелектростанцій можуть бути затоплені великі території, що призводить до зникнення цінних видів риб і втрати родючих земель.

4. Сонячна енергетика. ***Сонячна енергетик***а – альтернативний енергетичний напрямок, заснований на безпосередньому використанні сонячної радіації для отриманняя енергії в будь-якому вигляді [18, 21, 22, 39].

Сонячна енергія безпечна для навколишнього середовища. Її можна виробляти поки Сонце буде світити. Рекомендується використовувати сонячне випромінювання для виробництва теплової та електричної енергії, що можна здійснювати на всій території України [14, 39].

Сонячну енергію можна перетворити на електрику двома основними способами: термодинамічним і фотоелектричним.

При *термодинамічному методі* електричну енергію для використання сонячної енергії можна отримати за традиційними схемами в теплових установках, в яких тепло від згоряння палива замінюється потоком концентрованої сонячної радіації.

Існує три види сонячних теплових електростанцій:

- баштового типу з центральним ресивером-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів;
- параболічного (лоткового) типу, де вакуумні ресивери-трубки з теплоносієм розміщені у фокусі параболоциліндричних концентраторів;
- тарілкового типу, коли приймач сонячної енергії з робочим тілом розташований у фокусі параболічного дзеркала.

*Сонячна фотоенергі*я – це пряме перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Принцип дії фотоелектричного перетворювача заснований на використанні внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках і ефекту поділу фотогенерованих носіїв заряду (електронів і дірок) електронно-дірковим переходом або потенційним бар'єром метал-діелектрик-напівпровідник.

У цьому контексті «сонячна енергія» може означати енергію, отриману від сонячного випромінювання. Існує багато способів використання енергії сонячного випромінювання, зокрема:

- Виробництво електроенергії за допомогою сонячних батарей.

- Виробництво електроенергії за допомогою концентраторів сонячного випромінювання.
- Виробництво електроенергії шляхом нагрівання стисненого повітря для обертання турбін.
- Виробництво електроенергії на геосинхронній орбіті за допомогою штучних супутників – орбітальна енергетична система.

Використовуючи енергію сонця, можна частково забезпечити електроенергією мешканців приватного сектору (паралельно з роботою електричної мережі). Для цього використовуються фотоелектричні елементи, які розміщені на даху будинку. Фотоелектричне обладнання можна ефективно використовувати протягом року, але ефективніше – протягом семи місяців на рік – з квітня по жовтень.

В умовах України сонячна енергія перетворюється на електричну в основному через фотоелектричні пристрої. Значні запаси сировини, наявність виробничої та науково-технічної бази для виробництва фотоелектричних пристроїв дозволяє не тільки задовольнити потреби внутрішнього споживача, а й понад дві третини виробленої електричної продукції експортувати.

5. Сонячна теплоенергетика. У сучасному світі сонячна енергія широко використовується для теплопостачання, в тому числі гарячого водопостачання та опалення, а також для охолодження, кондиціонування, сушіння та інших технологічних процесів.

Приклади прямого використання теплової енергії від сонячного світла:

- Обігрівання будівель через систему пасивного обігріву.
- Нагрівання продуктів харчування в сонячних печах.
- Нагрівання води або повітря для господарчих потреб в геліоколекторах.
- Нагрівання та охолодження повітря із використанням сонячних каменів.
- Кондиціонування повітря.

6. Геотермальна енергетика. ***Геотермальна енергети***ка заснована на виробництві електроенергії та теплової енергії, використовуючи теплову енергію, що міститься в надрах землі [35].

Геотермальна енергія – теплова енергія Землі, яка виробляється внаслідок розпаду радіоактивних речовин у земній корі та мантії, тобто це промислове виробництво енергії, особливо електроенергії, з гарячих джерел, підземних термальних вод. Основним джерелом цієї геотермальної енергії є постійний потік тепла від насичених розжарених надр, спрямований на поверхню Землі. Земна кора отримує тепло через тертя ядра, радіоактивного розпаду елементів і хімічних реакцій.

Практичним проявом геотермального тепла є запаси гарячої води і пари у відносно неглибоких підземних глибинах і гейзерах, що піднімаються на поверхню.

Основним показником придатності геотермальних джерел до використання є їх природна температура, за якою вони поділяються на слаботермальні води з температурою 40-70 °С, середньотермальні води з температурою 70-100 °С, високотермальні води і пари з температурою 100-150 °С, парові гідротерми і рідини з температурою вище 150 °С.

*Гідротермальні джерела енергі*ї поділяються на термальні води, пароводяні суміші та природна пара.

Щоб отримати тепло, накопичене в надрах землі, по-перше його необхідно підняти на поверхню. Для цього бурять свердловини і, якщо вода досить гаряча, вона піднімається на поверхню природним шляхом, при більш низькій температурі температури може знадобитися насос.

Геотермальні води є екологічно чистим джерелом енергії, яке постійно відновлюється. Воно значно відрізняється від інших альтернатив джерел енергії тим, що його можна використовувати незалежно від умов клімату та пори року.

Геотермальна енергія в ряді країн (Угорщина, Ісландія, Італія, Мексика, Нова Зеландія, США, Японія) широко використовується для теплопостачання

та виробництва електроенергії. Наприклад, геотермальна енергія забезпечує більше чверті виробництва електроенергії в Ісландії.

7. Біопаливо, біоенергетика. ***Біоенергетика*** – галузь енергетики, що базується на використанні біопалива, яке виробляють із біомаси. ***Біомаса*** – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу.

Біомаса є одним з найдавніших джерел енергії, але її використання до недавнього часу обмежувалося прямим спалюванням на відкритому вогні або в топках і печахх з відносно низьким ККД. Біомаса відноситься до органічних речовин, які утворюються в рослинах шляхом фотосинтезу і можуть бути використані для отримання енергії, включаючи всі види рослинності, рослинні відходи сільського господарства, деревообробної та інших видів промисловості, побутові відходи.

Біомаса відіграє значну роль в енергетичному балансі індустріально розвинутих країн: у США її частка становить 4 %, у Данії – 6 %, у Канаді – 7 %, в Австрії – 14 %, у Швеції – 16 % від загального споживання первинних енергетичних ресурсів цих країн.

Значним ресурсом відновлюваної енергії є використання хімічної енергії біомаси. Перевага біомаси полягає в тому, що її можна безпосередньо перетворювати на паливо для автомобілів та інших машин. Біомасу можна безпосередньо вирощувати для потреб виробництва енергії, тоді її називають біомасою третього покоління, або можна використовувати біомасу відходів, призначену для інших потреб, тоді її називають біомасою другого покоління.

Біопаливо, яке можна використовувати в транспортних засобах, виготовляють з олії, тваринного жиру та жирових відходів.

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямів розвитку сектора відновлюваних джерел енергії, оскільки залежність країни від імпортних енергоносіїв, зокрема, природнього газу, та великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, є значними [30, 32, 91-108].

В той же час, слід зазначити, що темпи розвитку біоенергетики в Україні значно менші порівняно з європейськими.

Лекція 4

Науково-обґрунтовані сівозміни для ефективного вирощування біомаси

1. **Поняття сівозміни. Типи та види сівозмін.**
2. **Біологічні основи сівозміни.**
3. **Схеми сівозмін вирощування біосировини для виробництва біологічних видів палив.**

1. Поняття сівозміни. Типи та види сівозмін. Для економічно ефективного ведення сільського господарства в сучасному агропромисловому виробництві застосовується почергове (сівозмінне) вирощування рослин.

Сівозміною називають раціональне науково-обгрунтоване ротація посівів культур і пару у часі і на полях. Ротація у часі означає, що на одному полі відбувається послідовна щорічна заміна сільськогосподарських культур. Так, культура, яка займала поле в минулому році, є попередником для культури, яка висівається в цьому році. Перелік культур або їх груп у порядку чергування у сівозміні *називається схемою сівозміни*. Необхідність чергування посівів культур викликано низкою факторів, які поділяються на хімічні, фізичні та біологічні.

Хімічні фактори – це вплив вірної ротації рослин на умови їх живлення. Так, сільськогосподарські рослини з врожаєм виносять з грунту різну кількість елементів живлення, тому тривале вирощування або вирощування подібних за по глинанням певних елементів культур на одному місці призводить до однобічного збіднення грунту на певні елементи і, як результат, до зниження врожайності.

Фізичні фактори – це вплив сівозміни на фізичні властивості грунту та його структуру й вологість. Наприклад, багаторічні трави покращують структуру та фізичні властивості грунту, просапні – меншою мірою. Сильно висушують грунт люцерна, цукрові буряки, кукурудза.

Біологічні фактори – це коли почергова зміна культур зменшує можливість забур'янення посівів, ураження хворобами та шкідниками.

Типи сівозмін. За використанням визначають такі типи сівозміни:

- польові (вирощують переважно польові зернові й технічні культури, на долю яких у цих сівозмінах припадає понад 50% усієї площі);
- кормові (вирощують переважно кормові культури, до таких сівозмін відносяться прифермські та лукопасовищні сівозміни);
- спеціальні (вирощують переважно певні специфічні культури, які не доцільно вирощувати в польових сівозмінах – овочеві, рисові, льонові, а також грунтозахисні).

Види сівозмін визначають за наявністю провідних культур у сівозмінах. За вирощування переважно зернових і просапних культур таку сівозміну називають зернопросапною. Виділяють також зернопарову, зернопарокартопляну, просапну та інші сівозміни. За кількістю полів сівозміни бувають десяти-, дев'яти-, восьми-пільними.

2. Біологічні основи сівозміни. Ротація культур, яка сприяє зменшенню можливості появи бур'янів на посівах, пошкодження культур шкідниками та ураження хворобами. Наприклад, багаторічне вирощування вівса на одному місці призводить до забруднення грунту вівсюгом, озимої пшениці – до зараження іржею, картоплі – до появи фітофтори, нематоди та ін.

Різні культури порізному реагують на їх постійне вирощування на одному місці. За реакцією на чергування вирощування їх поділяють на: слабочутливі, помірночутливі, високочутливі і несумісні.

Слабочутливі (умовно сумісні) – кукуруда, просо, коноплі, гречка, картопля (при відсутності наявності нематоди). Ці посіви можна повторно або протягом кількох років вирощувати на одному полі без істотного зниження їх продуктивної врожайності.

Помірночутливі – горох, цукровий буряк, пшениця, ячмінь, овес, жито, вика. Ці культури негативно реагують на повторні посіви і відзначаються помітним збільшенням урожаю при вірному розміщенні у сівозміні.

Високочутливі – люпин, льон, соняшник, капуста, конюшина, люцерна. Дуже негативно реагують на повторні посіви. Високу продуктивність цих

культур можна забезпечити тільки при правильному розміщенні в сівозміні з урахуванням допустимої періодичності їх висіву на одному і тому ж місці.

Несумісні культури – до них відносяться культури, які практично неможливо вирощувати на одному місці більше однієї сівозміни через їх біологічні характеристики, що обумовлено наявністю спільниї захворювань та шкідників. Наприклад, не підходить для послідовного вирощування різні бобові культури, посів пшениці після ячменю, вівса – після ячменю і навпаки, буряк – після ріпаку та вівса тощо.

Впровадження та використання сівозміни включає ряд послідовних етапів, а саме встановлення схеми почергової зміни культур та ротаційної таблиці сівозміни, розробка системи обробітку та удобрення грунту, розробка та реалізація плану переходу до запровадженої сівозміни.

План переходу на сівозміну повинен відповідати ряду вимог: врахувати правильність чергування сільськогосподарських культур; не викликати зменшення кількості продукції; основні культури повинні висіватися після кращих попередників; у разі забур'янення дані поля відводити під пар; на одному місці висівати одну культуру, що важливо для використання техніки та підготовка поля до наступної сівозміни; перехідний період повинен тривати більше 2-3 років.

Перехідний період вважають закінченим, а сівозміну освоєною, коли всі культури висіяні після попередників, які намічені схемою запровадженої сівозміни.

3. Схеми сівозмін вирощування біосировини для виробництва біологічних видів палив. З метою ефективного вирощування біосировини для виробництва біологічних видів палива на сучасних сільськогосподарських підприємствах впроваджуються різні варіанти схем науково-обґрунтованих сівозмін.

Слід зазначити, що використання окремих видів виробленої сільськогосподарської продукції, яка використовується в харчуванні населення, для виробництва біопалива є досить вагомою проблемою, якою маніпулюють противники впровадження відновлюваних джерел енергії для

забезпечення енергетичної безпеки країни, особливо нафторейдери – з метою запобігання розвитку конкуренції, які не хочуть мати конкурентів на ринку та втрачати прибуток. А також іноземні виробники альтернативних джерел енергії воліли б бачити Україну як проміжним постачальником дешевої біомаси.

Приклад одиного із багатьох варіантів схем науково-обгрунтованих сівозмін для виробництва біологічних видів палив наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Схема науково-обгрунтованої сівозміни для виробництва біологічних видів палив

Роки використання										
№ Поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза
2	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця
3	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк
4	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь
5	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця
6	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак
7	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь	Соя, горох
8	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі	Оз. ячмінь
9	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз. ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн	Соняшн, ярі
10	Соняшн, ярі	Оз.ячмінь	Соя, горох	Оз ріпак	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Ц.буряк	Озима пшениця	К-дза	Пар зайн

1-й рік: пар → соняшник → озимий ячмінь → соя, горох → озимий ріпак → озима пшениця → ярий ячмінь → цукровий буряк → озима пшениця → кукурудза.

2-й рік: кукурудза → пар → соняшник → озимий ячмінь → соя, горох → озимий ріпак → озима пшениця ярий ячмінь цукровий буряк озима → пшениця.

3-й рік: озима пшениця → кукурудза → пар → соняшник → озимий ячмінь → соя, горох → озимий ріпак → озима пшениця → ярий ячмінь → цукровий буряк.

4-й рік: цукровий буряк → озима пшениця → кукурудза → пар → соняшник → озимий ячмінь → соя, горох → озимий ріпак → озима пшениця → ярий ячмінь.

5-й рік: ярий ячмінь → цукровий буряк → озима пшениця → кукурудза → пар → соняшник → озимий ячмінь → соя, горох → озимий ріпак → озима пшениця.

Слід зазначити, що у випадку виробництва біосировини відповідно до науково-обгрунтованої сівозміни, економіка країни від переробки енергетично багатих культур на біопаливо, отримає значна кількість супутніх продуктів, використання яких в годівлі тварина поповнить значний обсяг продовольства.

Крім того, все більше країн світу починають надавати перевагу створенню плантацій високопродуктивних енергетичних культур з високою врожайністю біомаси і високим вмістом целюлози як сировини для виробництва біопаливо. До таких культур належать міскантус і світчграс, енергетична верба, тополя. Невимогливість їх до ґрунтово-кліматичних умов вирощування дозволяє вирощувати ці багаторічні фітоенергетичні рослини на малопродуктивних грунтах на місцевостях з нерівним рельєфом. Окрім власне енергетичної вигоди, оскільки дані культури мають низьку собівартість, це сприяє збереженню ґрунту від водної ерозії, зменшенню втрат поживних речовин із поверхневим змивом та деградації ґрунту. Крім того, ці рослини характеризуються невисокою вартістю вирощування, не мають значної потреби використання добрив і пестицидів. Це дозволить вирощувати енергетичні рослин на землях, вилучених із сівозміни.

Найбільш вживаним є визначення енергетичних культур як рослин, які вирощені спеціально для використання безпосередньо як паливо або для виробництва біопалива [2, с. 34; 10].

Енергетичні культури поділяються на такі категорії:

- цикл росту – однорічні (ріпак, соняшник) та багаторічні (верба, тополі);

- тип – дереоподібні (верба, тополя, павловнія), трав'янисті (міскантус, просо прутоподібне (свічграс);

- характеристики а, отже, отриманий кінцевий продукт – масло (ріпак/соняшник для біодизеля), крохмаль- і цукровмісні (цукоровий буряк/кукурудза для біоетанолу), лігноцелюлозні (верба/тополя для безпосереднього виробництво теплової та електричної енергії, виробництва твердого біопаливо або отримання рідкого біопалива 2-го покоління);

- «походження» - класичні культури, тобто призначені тільки для енергетичних цілей (міскантус, тростинник дводольний) і сільськогосподарські культури, що вирощуються, як для отримання продуктів харчування, так і для виробництва біопалива (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз) [10].

Таими чином, біоенергетичні культури є важливою складовою біоенергетичного потенціалу України. Їх вирощування матиме низку позитивних ефектів, серед яких: заміщення природного газу, що сприятиме покращенню платіжного балансу нашої держави; можливість зниження тарифу на тепло для населення на 10%; рекультивація земель та їх відновлення; декарбонізація економіки та початок переходу до біоекономіки, що базується на використанні біологічних ресурсів у ролі енергоносіїв; економічне зростання в сільській місцевості завдяки створенню нових робочих місць, зростання надходжень до місцевих бюджетів у вигляді податків підприємств, які займаються вирощуванням енергетичних культур та їх переробкою на біопаливо тощо.

Лекція 5

Виробництво твердого та рідкого біопалива

1. **Характеристика паливних гранул, сировина, переваги використання паливних гранул.**
2. **Технологія виробництва деревних паливних гранул та агропелет.**
3. **Основні види та характеристики твердого біопалива з рослинних відходів.**
4. **Види рідкого біопалива та його використання.**
5. **Характеристика біоетанолу. Технології одержання біоетанолу .**
6. **Характеристика біобутанолу. Технології одержання біобутанолу.**

1. Характеристика паливних гранул, сировина, переваги використання паливних гранул. Деревні паливні гранули (пеллети, ДТГ) – це невеликі циліндричні пресовані вироби з деревини діаметром 4-12 мм і довжиною 20-50 мм, перероблені з сухих залишків деревообробного і тирсового виробництва: тирси, стружки, деревної муки, тріски , деревного пилу. Гранули використовуються в котлах для отримання теплової та електричної енергії для спалювання.

Сировина (тирса, солома та ін.) надходить у дробарку, де подрібнюється на борошно. Отримана маса надходить в сушарку, з неї в прес-гранулятор, де деревне борошно пресується у гранули або пелети. Стиснення при пресуванні підвищує температуру матеріалу, лігнін, що міститься в деревині, пом'якшується і склеює частинки в щільні циліндри. Для виробництва однієї тони гранул потрібно 3-5 кубічних метрів деревних відходів природної вологості.

Перевагами використання деревних пелет або гранул перед іншими видами палива є:

- Зменшення шкідливих викидів в атмосферу: деревне біопаливо визнано CO_2-нейтральним, тобто за його спалювання кількість вуглекислого газу, що виділяється в атмосферу, не перевищує кількість викидів, які утворилися б у результаті природного розкладання деревини;

- Висока теплотворна здатність: порівняно з деревною тріскою та кусковими деревними відходами. Енергетична щільність одного кілограма

деревних пелет відповідає 0,5 л рідкого дизельного палива; деревні гранули за теплотворною здатністю не поступаються вугіллю та мазуту;

- Низька вартість порівняно з дизельним і електричним опаленням;
- Чистота приміщення, де встановлений котел,
- Можливість автоматизації котелень.

2. Технологія виробництва деревних паливних гранул та агропелет. Технологія виробництва паливних пелет, як і паливних брикетів, заснована на процесі пресування відходів подрібненої деревини, соломи, кори та ін.

Розташування обладнання в кожній компанії може бути різним. Проте принципи є загальними з початку технології виробництва гранул у 1947 році. Сам процес гранулювання-пелетування відбувається в спеціальних кільцевих штампах (прес-формах) з обертовими роликами, які запресовуються в численні отвори – бочки прес-форми, для активації сировини подрібненої деревини використовують пару, після чого гранули, зрізані з зовнішньої сторони штампа спеціальним ножем, необхідно охолодити і відокремити від дрібних частинок.

Весь процес виробництва можна розділити на кілька етапів: подрібнення, сушка, до подрібнення, водопідготовка, пресування, охолодження, фасування та упаковка.

Подрібнення. Подрібнювачі подрібнюють деревну сировину на фракції розміром не більше 25х25х2 мм для подальшого сушіння. Краще подрібнювати до більш дрібної фракції, щоб зменшити витрати енергії на сушку.

Сушка. Деревна сировина перед пресуванням повинна мати вологість 10% ± 2%. Сировина з більшою або меншою вологістю вимагає додаткового зволоження або додаткового сушіння.

До подрібнення. Для стабільної роботи преса вхідна фракція не повинна бути більше 4 мм.

Водопідготовка. Сировина з вологістю менше 8% погано піддається пресуванню, тому необхідний пристрій додаткового зволоження сировини.

Оптимальним варіантом є шнековий змішувач, який має можливість подачі води або пари. Для зниження міцності і підвищення пластичності деревної сировини використовують пару.

Пресування. Прес є основою всього процесу гранулювання. Під час пресування деревний матеріал ущільнюється до 3 разів. Питома витрата електроенергії становить від 30 до 50 кВт/год на тонну. За рахунок сил тертя і адіабатичних процесів, що виникають при сильному стисненні сировини, температура в робочій зоні преса досягає 100 °С.

Охолодження. Чим вище сила пресування і чим вище температура сировини, тим краща якість гранул. При підвищенні температури преса вище 120 ° С в гранульованій сировині відбуваються незворотні процеси, що призводять до погіршення якості гранул. Охолодження необхідно для кондиціонування гранул після пресування. Сучасне обладнання в технологічному процесі, після охолоджувача, маює системи очищення готових гранул від пилу, що значно підвищує якість продукції, що випускається.

Фасування та пакування. Фасування та пакування паливних пелет залежить від системи зберігання, яка є у споживача.

- У вільному вигляді – насипом.
- У біг-бег мішках від 500 до 1200 кг.
- У дрібній упаковці по 10- 20 кг.

3. Основні види та характеристики твердого біопалива з рослинних відходів. ***Паливні брикети*** **-** технологія виробництва паливних брикетів заснована на шнековому пресуванні відходів сільського господарства (лушпиння соняшнику, гречки та ін.) і дрібно подрібнених відходів деревини (тирси) під високим тиском, а в деяких випадках і при нагріванні від 250 до 350° С. Отримані паливні брикети не містять ніяких зв'язуючих речовин, крім природного – лігніну, що міститься в клітинах рослинних відходів. При використанні сільськогосподарської сировини можливе додавання сполучних елементів. Присутня температура під час пресування сприяє плавленню

поверхні брикетів, яка завдяки цьому стає міцнішою, що важливо для транспортування брикетів.

Сировиною для виробництва брикетів є той же матеріал, що і для виробництва гранул – тирса різних порід деревини, тріска, лушпиння соняшнику, гречка, солома та багато інших рослинних відходів. Технологія виробництва брикетів схожа на технологію гранулювання, але простіша. Брикети бувають різної форми – цеглиноподібні, циліндричні або шестикутної форми з отвором всередині. Для цього товару немає стандартних розмірів.

Паливні брикети широко поширені і можуть використовуватися для всіх видів печей, котлів центрального опалення та ін. Великою перевагою брикетів є стабільність температури при горінні протягом 4 і більше годин.

4. Види рідкого біопалива та його використання. Основними видами рідкого біопалива, виробленого з біомаси в результаті її газифікації, є біометанол, біоетанол, біобутанол, біодизель, біонафта, біобензин.

Біометанол, або метиловий спирт, виробляється із синтез-газу або в результаті бродіння сільськогосподарських культур, які містять сахарозу або крохмаль. Використовується в багатьох галузях народного господарства, в тому числі як розчинники, антифризи, інгібітори гідратоутворення, у виробництві високооктанових присадок до палива, формальдегіду та інших речовин. Біометанол не використовується як самостійна добавка до моторного палива, оскільки він має небажані властивості, такі як гігроскопічність, токсичність, корозійна активність.

Біоетанол – спирт етиловий. Його виробляють кількома способами: (1) бродіння або ферментація органічної сировини, що містить крохмаль або цукор; (2) газифікація біомаси з подальшою ферментацією синтез-газу бактеріями в етанол; (3) газифікація біомаси з подальшим отриманням метанолу та виробництво етанолу методом каталітичного перетворення.

Біоетанол використовується як добавка до автомобільного палива, що дозволяє підвищити октанове число та знизити рівень токсичності вихлопних газів. Біоетанол змішують з автомобільним бензином.

Біобутанол, або бутиловий спирт. Його можна отримати тими ж методами, що й біоетанол. Використовується як компонент моторного палива. Він має більшу щільність енергії, ніж етанол, менш летючий і агресивний, що дозволяє транспортувати його по трубопроводах. Крім використання біобутанолу як добавки до паливних сумішей, його використовують як розчинник, сировину для отримання гліколів і проведення синтезу різних органічних сполук.

Біодизель – багатокомпонентне рідке паливо, яке складається з ефірного спирту (метилового, етилового) ненасичених кислот і вищих жирів, отриманого в процесі етерифікації жирів (олії).

Біонафта – це суміш вуглеводнів, отриманих з рослинної сировини. Біонафта – назва умовна, оскільки лише незначну частину (5-15%) складається з вуглеводнів, решту складають спирти, альдегіди, ароматичні речовини тощо.

Біобензин з твердого біопалива отримують за допомогою синтезу Фішера-Тропша. Його перевага перед бензином з традиційних вуглеводнів полягає в тому, що він не містить сірки, азоту і важких металів. Але собівартість виробництва біобензину висока, тому сьогодні його практично не виробляють.

5. Характеристика біоетанолу. Технології одержання біоетанолу.

Біоетанол – це звичайний етанол, який отримують в процесі переробки рослинної сировини для використання в біопаливо. Його виробництво схоже на виробництво харчового спирту.

Сучасна промислова технологія отримання етилового спирту з харчової сировини включає наступні стадії:

- Підготовка та подрібнення крохмалистої сировини – зерна (жито, пшениця та ін.)

- Ферментація. У більшості спиртових виробництв у світі відмовилися від ферментативного розщеплення крохмалю в спирті за допомогою дріжджів. Для цих цілей використовують отримані біоінженерним шляхом препарати рекомбінантної альфа-амілази – глюкамілазу, амілосутілін.

- Брагоректифікація. Здійснюється на розгінних колонах. Відходами бродильного виробництва є олії барди та райграсу. Барда використовується для виробництва кормів.

Справжньою альтернативою етанолу сьогодні є біобутанол, оскільки він має вищий енергетичний потенціал, менш летючий і може використовуватися в автомобілях без змін конструкції їх двигунів. Так, гібридне паливо BIO100 являє собою суміш 65% біоетанолу з додаванням трет-бутилового ефіру. Таке паливо знижує теплове навантаження на двигун на 1/3, тим самим збільшуючи термін його служби.

7. Характеристика біобутанолу. Технологія одержання біобутанолу. Біобутанол – це бутиловий спирт, отриманий з біомаси, що використовується як біопаливо або біокомпонент.

Перспективний вид палива в біоенергетиці, який може використовуватися в карбюраторних і інжекторних двигунах внутрішнього згоряння в чистому вигляді і в сумішевому паливі. Може використовуватися в стаціонарному бензиновому двигуні.

На відміну від етанолу, біобутанол містить більше калорій і є менш дорогим у виробництві, і, як і біоетанол, біобутанол можна виробляти з кукурудзи, пшениці, цукрової тростини, сорго, маніоки, ячменю тощо.

Біобутанол одержують, іноді з біоводнем, із рослинної сировини ферментацією (зброджуванням), зокрема, бактеріями *Clostridium acetobutylicum*.

Виробництва біобутанолу це біотехнологічний процес, який складається з ряду стадій. Все починається з того що з сировини на заводах готують сусло. Потім вся ця маса зброджується за участю спеціальних бактерій. З метою більш ефективного бродіння вчені вивели нові штами бактерій. В процесі бродіння утворюються три основних продукти: бутанол, ацетон і етиловий спирт, і ряд інших побічних продуктів в незначній кількості. В середньому співвідношення цих продуктів можна визначити в процентах 60:30:10. Але це співвідношення може дещо змінюватись, це залежить від компонентів

сировини. Наступною стадією іде перегонка зброженого продукту. Цей процес відбувається в спеціальних апаратах. Далі слідує процес зневоднення і заключний етап – денатурація. Органічні культури, що містять крохмаль і цукор виступають в якості сировини не тільки для виробництва біопалива, але для виробництва кормів і харчових продуктів. Тому виробництво біобутанолу другого покоління, що б уникнути брак сировини, використовує целюлозу. Використання целюлози енергетично більш вигідне. Але є проблема, як виділити целюлозу з рослин. У природному стані целюлоза знаходиться в нерозчинному комплексі з іншими речовинами. До цих пір ведуться розробки пошуку оптимального способу відділення целюлози від інших компонентів. Поки що найбільш ефективним методом є фізичний розмел сировини.

Лекція 6

Виробництво дизельного та газоподібного біопалива

1. **Характеристика біодизеля. Технології виробництва біодизеля.**
2. **Різновиди газоподібного біопалива та їхня характеристика.**
3. **Загальна характеристика технологічного процесу виробництва біогазу.**
4. **Особливості анаеробного метанового бродіння.**
5. **Біоводень як перспективний вид біопалива.**
6. **Біопаливо з мікроводоростей Переваги та недоліки мікроводоростей як енергетичних культур.**

1. Характеристика біодизеля. Технології виробництва біодизеля.

Біодизель – багатокомпонентне рідке паливо, яке складається зі спиртових ефірів. Сировиною для отримання біодизеля є рослинні олії. Біодизель найчастіше виробляють з ріпакової олії (84%), але в залежності від географічного положення та природно-кліматичних умов виробників, вякості сировини може бути соняшникова оля (13%), конопляна олія, ятрофи (пляшкове дерево). Технологія виробництва біодизеля заснована на реакції каталітичної переетерифікації рослинної олії в присутності надлишку метанолу. Як каталізатор використовується метоксид натрію. При цьому рослинна олія під дією каталізатора перетворюється на суміш метилових ефірів.

Процес складається з таких основних стадій:

- реакція переетерифікації;
- сепарації ефірної та гліцеринової фракцій;
- розділення рециклового метанолу та гліцерину;
- промивка та очистка біодизелю;
- дегідратація біодизелю.

Процес одержання біодизельного палива є досить простим. Рослинна олія є сумішшю тригліцеридів, ефірів, сполучених з молекулою гліцерину. Основне завдання при одержанні біодизелю полягає в тому, щоб видалити гліцерин, замінивши його на спирт. Цей процес називають переетерифікацією. Переетерифікація є найпоширенішим способом отримання біодизелю з

рослинної олії та тваринних жирів спиртами (етиловим, метиловим, ізопропіловим, бутанол). В результаті етерифікації утворюються ефіри жирних кислот (біодизель) та побічний продукт переетерифікації – триатомний спирт гліцерин в складі гліцеролової фази (в неочищеному стані його називають гліцерилом, а саму гліцеролову фазу – так званим «чорним» гліцерином).

Якщо отриманий біодизель має низьку температуру спалаху, це свідчить про недостатність очищення від метанолу. [12] Для запобігання мікробному псуванню біодизеля на стадії очищення і стабілізації біопалива використовують паливні присадки (біоциди), та проводять докладне зневоднення готового продукту, обробку ультразвуком.

При використанні етанолу буде отримано етилові ефіри біодизелю. Етанолова та ізопропанолова технології складніші (вимагають наяності каталізаторів та апаратури, яка б могла працювати при високому тиску).

Найпоширенішим для виробництва метилових ефірів є використання метанолу, оскільки він є найдешевшим зі спиртів. Під час реакції переетерифікації олії та жири вступають у реакцію з метиловим (етиловим) спиртом у присутності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються складні ефіри (біодизель), а також гліцеролова фаза, що містить 45-56% гліцерину, 4% метанолу, що не прореагував, 13% жирних кислот, 8% води, 9% неорганічних солей, 10% ефірів. Одержану в результаті реакції суміш розділяють в сепараторах або ємностях-відстійниках. Очищений гліцерин використовується для виробництва миючих засобів, а після глибокої очистки використовується в фармації.

2. Різновиди газоподібного біопалива та їхня характеристика. Газоподібні види біопалива – газові суміші з чадним газом, метаном або воднем, одержувані при термічному розкладанні сировини в присутності кисню (газифікація), без кисню (піроліз) або при зброджуванні під впливом бактерій. До цієї групи відноситься – синтез-газ, генераторний газ, біогаз, біоводень.

Синтез-газ – це суміш газів монооксиду вуглецю і водню з домішками вуглеводнів. Отримання синтез газу здійснюється трьома способами:

1. *Газифікація вугілля, біомаси.* Основна реакція процесу – це взаємодія вугілля з водяною парою (повітрям або насиченим паром).

2. *Конверсія метану*. Реакція взаємодії метану з водяною парою проводиться в присутності нікелевих каталізаторів при підвищених температурах (800-900 ºС) і тиску. В якості сировини замість метану може бути використано будь-яку вуглеводневу сировину.

3. *Часткове окислення вуглеводнів*. Процес грунтується на неповному термічному окисленні вуглеводнів при температурах вище 1300 ºС. Спосіб застосовують до будь-якої вуглеводневої сировини, але найбільш часто в промисловості використовують висококиплячу фракцію нафти – мазут.

Таким чином, синтез-газ є проміжним продуктом при послідовних перетвореннях в ланцюжку отримання палива і різних сировинних рідких і газоподібних речовин.

Генераторний газ – газова суміш, що містить оксид вуглецю CO та молекулярний водень H_2.

Отримують генераторний газ шляхом пропускання повітря над різними видами палива (наприклад, розпеченим кам'яним вугіллям або коксом) у спеціальних печах – газогенераторах (ККД процесу 65-70%). Вихід із коксу 4,65 м³/кг. Далі оксид вуглецю змішується з водяною парою, і виходить воднева складова генераторного газу.

Теплотворна здатність генераторного газу становить 800-1000 ккал/м³, причому заміна повітря на кисень при його отриманні веде до значного збільшення частки оксиду вуглецю і, відповідно, збільшення теплотворної здатності.

Генераторний газ застосовується як паливо у металургійній, скляній, керамічній промисловості, для двигунів внутрішнього згоряння, а також для синтезу аміаку.

До недоліків використання генераторного газу можна віднести взаємодію з металевими деталями установок, через які вони стають значно тендітнішими.

Біогаз виробляється з біомаси. В якості сировини використовуються цілі рослини та рослинні рештки, рідка гноївка та твердий гній, а також органічні відходи, як осади стічних вод, харчові продукти та біовідходи.

Для виробництва біогазу з біомаси органічна речовина піддається процесам ферментації у спеціальних біогазових установках. В процесі зброджування утворюється газоподібний метан, горючий газ, який спочатку очищається від сторонніх газів, а далі перетворюється на енергетичні джерела відповідно до потреб.

Біоводень є різновидом біопалива. Сировиною для його виробництва є біомаса. Використання біоводню дає втричі більше енергії, ніж при використанні традиційного палива. Враховуючи сучасні проблеми з екологією, використання біоводню є цілком екологічним, оскільки при його спалюванні не утворюються шкідливі речовини.

3. Загальна характеристика технологічного процесу виробництва біогазу. ***Біогаз*** – газ, який містить 50-80 % метану та 20-50 % діоксину вуглецю. З однієї тонни сухої речовин біомаси шляхом біоконверсії отримують 350-500 $м^3$ біогазу. Теплотворна здатність одного кубометра біогазу становить залежно від вмісту метану 20-25 МДЖ / м3, що еквівалентно згорянню 0,6-0,8 літри бензину, 1,3-1,7 кг дров або використанню 5-7 кВт електроенергії.

Технологія виробництва біогазу полягає в наступному. Біомаса (відходи або зелена маса) періодично подається в реактор за допомогою насосної станції або завантажувача. Реактор являє собою теплоізоляційну ємність, обладнану змішувачами. Конструкційним матеріалом промислового резервуара найчастіше служить залізобетон або сталь з покриттям. Композитні матеріали іноді використовуються в невеликих установках. У реакторі живуть корисні бактерії, які харчуються біомасою. Біогаз є продуктом життєдіяльності бактерій. Для підтримки життєдіяльності бактерій необхідні

підживлення, нагрівання до 35-38 ° С і періодичне перемішування. Утворений біогаз накопичується в сховищі (газгольдер), потім проходить через систему очищення і подається до споживачів (котла або електрогенератора). Реактор працює без доступу повітря, він герметичний і безпечний.

Ферментація деяких видів сировини в чистому вигляді вимагає спеціальної двофазної технології. Наприклад, пташиний послід і спиртові відходи не перетворюються на біогаз у звичайному реакторі. Для переробки такої сировини необхідний додатковий реактор гідролізу. Такий реактор дозволяє контролювати рівень кислотності, оскільки бактерії не гинуть через збільшення вмісту кислот або лугів. Ці ж субстрати можна обробляти за одностадійною технологією, але з коферментацією (сумішками) з іншими видами сировини, наприклад, з гноєм або силосом.

Розрізняють промислові та кустарні установки. Промислові установки відрізняються від кустарних установок наявністю засобів механізації, систем опалення, гомогенізації та автоматизації. Найпоширенішим промисловим способом є анаеробне бродіння в метантенках.

Принципова схема виробництва біогазу передбачає:

- Нагромадження і підготовку біомаси;
- Трансформацію біомаси у біогаз (безпосередньо метанове бродіння);
- Раціональне використання продуктів метанового бродіння (біогазу та органо-мінеральних добрив.

4. Особливості анаеробного метанового бродіння. Основою біотехнології утилізації біомаси з отриманням біогазу є анаеробне метанове зброджування біомаси за участю метаноутворюючих архей (метаногенів). Метаногени (метаноутворюючі археї) – найдавніші бактерії. Серед відомих видів метаноутворюючих бактерій є види, які розвиваються при низьких значеннях окисно-відновного потенціалу середовища; метаногени, життєдіяльність яких протікає при високих концентраціях солей (галобактерії). Метаногени черпають необхідну для життя енергію в реакціях, що супроводжуються біосинтезом метану. Субстратами для утворення метану є діоксини вуглецю і водню, ацетат, метанол, метиламін. Близько 70%

метаногенних перетворень проходять по «ацетатному шляху», 25-30% – по «водневому шляху». Метаногени належать до домену Archaea, типу Euryarchaeota. Археї здійснюють ряд біохімічних процесів, які не властиві іншим живим організмам і існують в екстремальних умовах. На основі цього було зроблено висновок, що археї є самостійним таксоном. В даний час виявлено понад 25 родів метаногенів, що належать до 10 родин, 5 порядків і 3 класів. Здатність до метаногенезу виявлена лише у архей.

Метанове бродіння є багатоступінчастим процесом, у якому біополімери біомаси перетворюються на газоподібні продукти багатовидовою мікробною асоціацією. Обов'язковими компонентами асоціації є первинні анаероби гідролітичної мікрофлори (здійснює гідроліз біополімерів), ферментативної мікрофлори (молекул мономерів бродіння), ацетогенної мікрофлори (перетворює різні продукти бродіння в субстрати метаногенезу) і анаероби вторинної – метаноутворюючі бактерії (метаноутворювачі археї). Варто відзначити такий компонент асоціації, як бактерії гомо ацетатні. Для отримання енергії та росту вони використовують метаногенні субстрати (суміш водню вуглекислого газу, форміату, оксиду вуглецю, метанолу) для утворення кінцевих продуктів – ацетату та бутирату.

У зв’язку з тим, щ близько 90 % вуглецю біомаси трансформується у вуглець біогазу, метанове бродіння є найбільш ефективним способом очищення стічних вод, а близькість відновлюваних джерел сировини до установок вироблення біогазу підвищують конкурентоспроможність біотехнологій його виробництва і збільшують автономність цього джерела енергії. Усього в світі використовується або розробляється близько 60 різних технологій виробництва біогазу. Найбільш поширений метод – анаеробне зброджування в метантенках або анаеробних колоннах.

5. Біоводень як перспективний вид біопалива. ***Біоводень*** – газоподібний різновид біологічного палива. Біоводень часто називають паливом майбутнього. Це газ, що легко займається, його можна використовувати у побуті замість природного, злегка змінивши пальники та розподільчу мережу; як автомобільне паливо, дещо модифікувавши

карбюратор тощо. Недоліком є те, що водень практично не зустрічається на Землі у вільному вигляді: він весь окиснився до води. Біоводень отримують трьома основними методами:

1. Термохімічний метод заснований на тому, що біомаса піддається термічній обробці при температурі 500-800º. Нагрівання відбувається за відсутності кисню. Температурний режим процесу нижче температури газифікації вугілля. В результаті цього процесу виділяється водень та інші газоподібні продукти.

2. *Біохімічний метод* – це отримання біоводню з біомаси за допомогою спеціальних бактерій. Якщо біомаса багата на крохмаль або містить значну кількість целюлози, доцільно використовувати спеціальні ферменти, які прискорюють процес перетворення біомаси. Для ефективного проходження процесу необхідно підтримувати стабільні параметри (температура 30º і нормальний тиск).

3. *Виробництво біоводню методом ферментації* – в результаті використання біологічних процесів та відповідних технологій, менш енергоємних і більш екологічних з точки зору глобального скорочення викидів CO_2. Біоводень може утворюватися під впливом як автотрофних, так і гетеротрофних мікроорганізмів.

У автотрофних перетвореннях, сонячна енергія безпосередньо перетворюються на водень внаслідок фотосинтетичних реакцій фотосинтезуючих мікроорганізмів, використовуючи середовища мікроводоростей, протистів та фотосинтезуючих бактерій. У гетеротрофних умовах органічні субстрати перетворюються на простіші органічні сполуки з одночасним виробництвом молекулярного біоводню. Є два типи гетеротрофних перетворень: фотоферментація, що здійснюється фотосинтезуючими бактеріями, і анаеробна ферментація, в якій анаеробні бактерії фактично перетворюють вуглеводні сполуки, наприклад глюкозу, на біоводень та органічні кислоти.

Анаеробна ферментація є найбільш вивченою біологічною технологією та завдяки високій продуктивності і чистоті отриманого біоводню є надзвичайно перспективною.

Останнім часом набуває поширення двостадійна ферментація в процесі якої використовуються два біореактора. У першому біореакторі відбувається отримання біоводню на основі гідролізу органічної біомаси (субстрату) та органічних кислот, а в другому відбувається подальше розкладання органічних кислот із отриманням метану.

Виробництво біоводню відбувається переважно за рахунок розкладу гідролізованої біомаси глюкози із подальшим отриманням оцтової та масляної кислоти.

Двостадійні процеси, що поєднують отримання біоводню на першій стадії та біометану на другій стадії, не тільки підвищують стійкість процесу ферментації, а й гарантують повне перероблення органічних відходів.

Одним із напрямів використання біоводню, що активно розвивається останнім часом є його використання у автомобільному транспорті. Кількість водневих заправних станцій у світ постійно зростає. Однією із причин активного використання водню, як енергоресурсу обумовлено необхідністю зменшення викидів парникових газів. Так, наприклад, за інформацією Міжнародного енергетичного агентства, додавання 20% біоводню до європейської газової мережі скоротить викиди CO_2 на 60 млн. тон на рік.

Ще один перспективний напрямок використання біоводню – опалення житлових будинків. Наприклад, у Англії, японії, США вже почали використовувати суміш із 20% водню та природного газу для опалення будинків.

В Україні також розвивають використання біоводню. Так, наприклад, наприкінці лютого 2019 року масштабний експеримент почала готувати "Регіональна газова компанія", що вперше в Україні розпочала тестове транспортування суміші водню та природного газу на закритих ділянках газорозподільної системи.

7. **Біопаливо з мікроводоростей Переваги та недоліки мікроводоростей як енергетичних культур.** Третє покоління біопалива, варто виробляти з водоростей, переробка яких дасть змогу отримати різні види палива з накопиченої біомаси.

Мікроводорості – одноклітинні «фабрики» з переробки сонячної енергії та вуглекислого газу в біопаливо. ***Водорості*** – найбільш швидкоростучі рослини у світі, вони можуть подвоювати свою масу декілька разів на день. Містять рекордну кількість олії (до 80%) та не мають аналогів в рослинному світі за цим показником. Можуть використовуватись для виробництва моторних палив, що не відрізняються від традиційних.

Від рослин, що вирощуються на твердому ґрунті вони відрізняються рядом переваг:

- високою врожайністю;
- здатністю розвиватися у воді, а не на орній землі, що може бути використана під посіви інших продовольчих культур;
- здатністю засвоювати промислово значиму кількість вуглекислоти;
- найменшими затратами води на вирощування.

Існують водорості (генетично-модифіковані), які здатні подвоювати свою масу декілька разів на день. Більше того, в деяких видах кількість тригліцеридів (основи рослинної олії) складають більше половини їх маси.

Стає очевидним, що не один вид з існуючих наземних рослин не здатен конкурувати з водоростями за ефективністю фотосинтезу, що лежить в основі урожайності, та за вмістом олій а, відповідно, енергії в них.

Потенціал виробництва олії з інших сільськогосподарських культур характеризується наступними показниками: «виробництво» кукурудзи становить 172 л з гектара в рік, пальмової олії – 5950 л на гектар, а типових «енергетичних» водоростей – до 95000 л на гектар в рік за умови вирощування їх у відкритих водоймах.

Водорості у виробництві енергоносіїв перетворюють вуглекислий газ з проблеми у фактор прибутку. При цьому вуглекислий газ перетворюється на

найважливіший ресурс зв'язаного вуглецю – ресурс, що можна поставити на промислову основу.

Вирощуючи водорості з вуглекислоти з фотосинтетичною ефективністю 5-10% та мінімальних затратах води, на землях, що непридатні для сільськогосподарського використання, можна отримати або біопаливо, або сировину для хімічної промисловості.

Переваги водоростей:

• виробляють в 15-100 разів більше олії з гектара, ніж ріпак, пальмова олія чи соя; • вони є непродовольчою біомасою, тому їх переробка на біопаливо не являє собою продовольчої загрози для країни;

• ростуть в 20-30 разів швидше, ніж наземні рослини (деякі види можуть подвоювати свою масу декілька разів на добу);

• відсутність твердої оболонки і практично лігніна, робить їх переробку на рідкі види палива більш технологічно простішою та ефективнішою, ніж переробка будь-якої наземної біомаси;

• можуть вирощуватись в прісних, солоних водоймах, промислових стічних водах, що використовуються для їх очищення;

• можна вирощувати в промислових масштабах в біореакторах та фотобіореакторах, що будуть освітлюватись штучними джерелами світла, або у відкритих ставках на непридатних для вирощування с/г культур землях, включаючи пустелі;

• фотобіореактори вмонтовуються в технологічні лінії уже існуючих промислових підприємств (ТЕЦ, нафтохімічні виробництва, цементні заводи);

• зменшують емісію СОг (поглинають до 90% СО2 з виділенням кисню)

• виробництво і використання біопалива не потребує зміни українського законодавства, на відміну від виробництва біоетанолу;

• являються джерелами олій, протеїнів, вуглеводів.

Технологічний процес виробництва моторних палив з водоростей практично безвідходний. Після отримання дизельного палива сухі відходи біомаси водоростей зберігають усі необхідні вітаміни і цінні речовини, тому можуть бути використані, як кормові добавки в рибних господарствах та

тваринницьких фермах. Крім того є можливим перетворення відходів ще в один з видів енергоносіїв – паливні брикети.

Наша держава має багатий досвід вирощування водоростей. Україна першою почала промислове вирощування синьо-зеленої водорості хлорели. В 70-90 рр. минулого сторіччя було збудовано глибинні установки на 70-ти тваринницьких фермах. Також Україна є 151-ою в ряду країн, що освоїли вирощування спіруліни. Впровадження в Україні водоростевого палива гальмується через відсутність штамів. Штами промислово використовуваних водоростей коштують недешево.

Лекція 7

Вирішення екологічних проблем

1. **Пріоритетні напрями розвитку природоохоронних біотехнологій.**
2. **Методи біохімічного очищення стічних вод.**
3. **Компостування. Аеробна стабілізація. Біодобрива.**
4. **Вермикультивування та вермикомпостування.**
5. **Очищення повітря від мікроорганізмів.**
6. **Очищення газових викидів за допомогою мікроводоростей.**
7. **Біотестування та біоіндикація обєктів природного середовища**

1. Пріоритетні напрями розвитку природоохоронних біотехнологій. Сучасний розвиток природоохоронних біотехнологій з використанням безпечних для навколишнього середовища біологічних методів, спрямованих на розв'язання прикладних завдань системи захисту довкілля, свідчить про безальтернативність застосування й необхідність подальшого удосконалення екологічних біотехнологій в умовах потужного антропогенного впливу на біосферу та вказує на потребу збереження генетичного, видового та екосистемного біорізноманіття і безпечних умов для здоров'я людини та її еволюції.

Реалізація природоохоронних біотехнологій не передбачає використання значної кількості природних ресурсів, не потребує застосування екологічно-небезпечних технологічних процесів (механічної обробки, великих концентрацій реагентів, високих температур чи тиску, як факторів активації процесів), не викликає утворення значної кількості газоподібних, рідких або твердих відходів. Вся сучасна біоенергетика базується на принципах екобіотехнології, в основу якої покладено перетворення і переміщення речовин, енергії та інформації в екосистемах, що властиво живим організмам, біологічним системам і природним комплексам та відповідає законам екологічної рівноваги. Таким чином екобіотехнології та біоенергетика є екологічно безпечними для навколишнього середовища та здоров'я населення і водночас є енергозберігаючими та енерговідновлювальними технологіями.

Ґрунтуючись на вищенаведеній інформації, можна запропонувати наступне визначення та тлумачення екобіотехнології: екобіотехнологія – це синтетичний міждисциплінарний напрям сучасних наукових досліджень, який утворився як результат перетину інтересів, підходів, принципів та методів прикладних напрямків екологічної науки та класичних і сучасних біотехнологій або, інакше кажучи, це технологічні процеси, які здійснюються за рахунок використання живих організмів та інших біологічних агентів і спрямовані на покращення, захист і відновлення порушеного людиною довкілля, збереження функціональної стійкості біосфери в цілому або її певних компонентів (природних екосистем) і в решті решт – забезпечення сталого і гармонійного розвитку ноосфери.

Однією з важливих складових такої системи є розробка та застосування відповідних методів оцінки якості навколишнього середовища загалом та рівня конкретних забруднень. На даний момент, найбільш широко використовувані методи контролю якості довкілля – це фізико-хімічні технології, які є досить точними і дозволяють об'єктивно визначити вміст забруднювачів. Вони базуються на різноманітних аналітичних хімічних, фізичних і фізико-хімічних методах. Однак, альтернативними методами оцінки якості довкілля можуть бути і біологічні методи, такі як біотестування, які використовують живі організми для визначення рівня забруднення.

2. Методи біохімічного очищення стічних вод. Негативним наслідком господарської діяльності людини є порушення природної рівноваги в багатьох водоймищах та зниження якості води в них. Промислові та побутові відходи, які потрапляють до природних водойм, містять велику кількість забруднюючих речовин та токсичних сполук. В таких умовах самостійне відновлення водних ресурсів стає неможливим, тому виникає нагальна потреба в розробці та впровадженні сучасних екологічно безпечних та ефективних методів очищення стічних вод, особливо тих, що повертаються до водних джерел, а також тих, які підлягають повторному використанню.

Очищення стічних вод – це багатоступеневий складний процес, спрямований на відтворення якісної характеристики забрудненої води для

можливості її подальшого господарського використання. Очищення води, перш за все, передбачає зменшення вмісту або видалення з неї забруднювальних компонентів: органічних речовин, колоїдних чи завислих твердих частинок, а також знищення хвороботвірних бактерій та ін.

Серед усіх сучасних методів знешкодження промислових і побутових стічних вод найбільш екологічно безпечними визнано біологічні. По-перше, біологічне очищення базується на природних процесах, тобто в ньому важливу роль відіграє здатність гетеротрофних мікроорганізмів використовувати для живлення поряд з органічними речовинами в стічних водах (це спирти, білки, вуглеводи та ін.), і деякі неорганічні (аміак, нітрати, фосфати, солі або ін.). Контактуючи з цими сполуками, мікроорганізми в процесі отримання енергії частково їх руйнують, перетворюючи на воду, діоксид карбону, аніони (сульфатні іони) та катіони деяких металів, а частково вони споживають названі речовини для власної репродуктивності, тобто нарощення біомаси. По-друге, мікроорганізмам притаманна властивість швидкого скупчення та утворення колоній, що дає можливість легко відділяти їх від очищеної води.

До ефективних біологічних методів відноситься фільтрація стічних вод через біоінженерні очисні споруди (БІС) – біоплато або біоставки. Такі споруди заселяють різними групами вищих водних рослин (ВВР), які, споживаючи розчинні у воді забруднювачі (сульфати, нітрати, нафтопродукти та ін.), здатні використовувати їх у процесі життєдіяльності. При цьому в даних гідроспорудах формується активний штучний біогеоценоз, продуктивність якого залежить від особливостей морфологічної структури представників водних рослин (висока розгалуженість кореневої системи, значна кількість вегетативної маси тощо), а також їх толерантності до різного роду ксенобіотиків. Використовуючи біологічні ставки, можна очищувати побутові й промислові стоки, у тому числі гірничої промисловості.

Поля фільтрації являють собою спеціалізовані земельні ділянки, виділені для скидів забруднених стічних вод і заселені ґрунтовими аеробними мікроорганізмами, які біохімічно перетворюють шкідливі органічні речовини на воду й вуглекислий газ. Масштабне використання біологічних ставків і

полів фільтрації обмежується сезоним характером їх роботи, малою пропускною здатністю, а також необхідністю у відведенні значних земельних площ і постійним контролем рівня ґрунтових вод. У зв’язку з цим на практиці набули поширення штучні споруди типу резервуарів (біофільтри, аеротенки). Біологічні фільтри (біофільтри) – спеціальні типи біореакторів з об'ємним завантаженням фільтрувального елемента, на якому іммобілізована (зафіксована на нерухомому носії) біомаса має вигляд плівки.

Очищення води в аеротенку відбувається в процесі протікання через нього аерованої суміші стічної води й активного мулу. Активний мул характеризується пластинчастою структурою, являючи собою сукупність мікроорганізмів (нитчастих бактерій і бактерійнітрифікаторів) і найпростіших (інфузорій), що мають набір ферментів для видалення забруднювачів із стоків. Процес очищення в аеротенку – це безперервна ферментація шкідливих речовин. Частинки активного мулу, утворені нитчастими бактеріями, з одного боку, формують адсорбційний скелет, навколо якого виникають флокули, з іншого – запобігають утворенню піни та стимулюють осадження. Найпростіші, поглинаючи бактерії, знижують мутність стоків.

3. Компостування. Аеробна стабілізація. Біодобрива. Усі процеси перетворення (переміщення) матеріалів, енергії та інформації у біотехнології базуються на принципі раціонального використання природних ресурсів. Екологічні проблеми виникають через накопичення органічних відходів в окремих ділянках (наприклад, від сільськогосподарських підприємств, деревообробних заводів, підприємств харчової промисловості, а також від комунально-побутових відходів у вигляді вологого активного мулу, гною, листя тощо), кількість яких постійно зростає. Такі органічні матеріали складаються з різних речовин вуглецевого складу (зокрема, це можуть бути суміш вуглеводів, білків, ліпідів, полісахаридів, лігніну) та неорганічних солей і можуть стати цінною сировиною для компостування.

Компостування - це процес екзотермічного біологічного окиснення органічного матеріалу (відходів), який відбувається за підвищених температур та вологості в умовах аеробної біодеградації. Цей процес залучає багато видів

живих організмів, серед яких більше 2000 видів бактерій і понад 50 видів грибів. У процесі компостування під впливом абіотичних чинників (вологість, температура, термін експозиції) спостерігається зниження патогенності вірусів, а органічні речовини субстрату біохімічно перетворюються на стабільний гуміфікований кінцевий продукт, який можна використовувати в сільському господарстві як органічне добриво і засіб покращення структури ґрунту.

Кінцева продукція описаного процесу – *біокомпост*, являє собою джерело стабільного органічного й неорганічного комплексу продуктів розпаду високомолекулярних сполук, біомаси відмерлих мікроорганізмів, продуктів взаємодії названих компонентів і певної кількості живих організмів.

Стабілізація **–** попередження загнивання осаду, що базується на зміненні фізико-хімічних характеристик осадів та супроводжується знищенням мікроорганізмів кислотного бродіння. Стабілізація досігається мінералізацією органічної речовини (анаеробне бродіння, аеробна стабілізація, теплова обробка, біотермічний розпад); зміненням активної реакції середовища (додаванням вапна, луг); нагріванням при пастеризації, тепловій обробці; зневодненням осадів (при видаленні вологи фільтруванням); введенням хімічних речовин і сполук, що подавляють розвиток мікроорганізмів.

Процес аеробної стабілізації являється подібним до процесу очистки стічної води в аеротенках з активним мулом. На початку процесу органічна речовина осаду метаболізується активним мулом, що призводить до зменшення маси органічної речовини осаду та приросту активного мулу. Після повного використання органічних речовин починається стабілізація власне активного мулу. Отже, в процесі аеробної стабілізації відбувається біохімічне окиснення ендогенного субстрату в аеробних умовах, що супроводжується нітрифікацією амонійного азоту.

Тривалість аеробної стабілізації активного мулу пов’язана із часом його аерації в аеротенках, тобто віком мула. Чим більший вік активного мулу, тим менший період стабілізації. Тривалість стабілізації суміші мулу з осадом

первинних відстійників залежить від кількості субстрату для живлення. Процес аеробної стабілізації може здійснюватись у мезофільній зоні при t=10-42°, у термофільній при t=42°, затухає при t=8°С.

Критерієм закінчення процесу стабілізації є розпад беззольної речовини, який для надлишкового активного мулу повинен становити 20-30%, для його суміші із сирим осадом первинних відстійників – 30-40%. Такий розпад забезпечується при тривалості перебування в аеробному стабілізаторі за температури 20 ºС.

4. Вермикультивування та вермикомпостування. Вагомою альтернативою традиційним технологіям є безвідходна біоконверсія утилізації та переробки органічних відходів за допомогою вермикультури, тобто використання дощового черв’яка (vermes), або вермикультивування.

Деякі види дощових черв’яків з роду Lumbricidae є придатними для процесу вермикультури у природних популяціях. Ці черв'яки є невибагливими до їжі та можуть перетравлювати різноманітні органічні матеріали, такі як гній різних тварин, солома, сіно, харчові відходи (включаючи рибні та м'ясні), опале листя, а також залишки рослин у садах та на городах, розмелюючи їх до мікроскопічних розмірів. Ця здатність черв’яків до руйнування біополімерних речовин, що містяться в органічних відходах, забезпечується їхньою унікальною травною системою та активністю ферментів. Результатом проходження ґрунту та рослинних матеріалів через травну систему черв’яків є виділення продуктів метаболізму у вигляді копролітів. Цей процес призводить до глибоких змін у рослинних залишках та ґрунті, збагачуючи їх мікроелементами, такими як кальцій, фосфор та магній, а також ферментами та іншими сполуками, що сприяють утворенню біологічно активних речовин, зокрема гумінових кислот.

Різноманітна мікрофлора (актиноміцети, бактеріїамоніфікатори, нітрифікатори, деструктори целюлози тощо), розчинні органічні та мінеральні фосфати, присутні в біогумусі, нормалізують розвиток властивих здоровому ґрунту мікробних асоціацій та забезпечує пригнічення патогенних мікроорганізмів, зокрема, сальмонел. Біогумус містить біологічно активні

речовини – лумбрицини, що виробляються черв'яками, ауксини, гібереллiни та інші фітогормони. Біогумус не має канцерогенних, мутагенних або тератогенних властивостей.

Останнім часом значного поширення набуває технологія промислової переробки різних видів органічних відходів за допомогою популяцій гнійного черв'яка Esenia foetida в приміщеннях або на відкритих майданчиках.

Вермикомпостування та знезараження можна застосовувати для сільськогосподарських відходів, гною та пташиного посліду, побутового сміття, осадів стічних вод, відходів харчової, целюлознопаперової, деревообробної, шкіряної, гідролізної, фармацевтичної та інших галузей промисловості, різноманітних матеріалів, забруднених токсичними речовинами.

Вермикультуру запропоновано використовувати для ремедіації ґрунтів, забруднених радіонуклідами. Внесені у ґрунти черв'яки покращують дренування, що сприяє переведенню радіонуклідів у більш глибокі підґрунтові горизонти. Також за допомогою черв'яків радіонукліди можна вилучати із ґрунту, які накопичуються у масі черв'яків. Вони збираються за допомогою приманки, та спалюються, золу, що залишилася, пресують та захоронюють.

4. Очищення повітря від мікроорганізмів. Мікробіологічних забруднювачів існує величезна різноманітність – від пилку і спор рослин до бактерій, грибків, водоростей та деяких найпростіших, що потрапляють повітрям із довкілля, а також до мікроорганізмів і алергенів, які передаються від людини до людини. Для усунення з повітря спор грибків і бактерій зазвичай використовуються методи фільтрації та дезінфекції.

Фільтрація повітря – це один з найпоширеніших і ефективних методів очищення повітря від мікроорганізмів та інших забруднювачів. Основна ідея полягає у використанні спеціальних фільтрів, які затримують частки забруднень, такі як пил, бактерії, віруси, грибки, дим, алергени та інші забруднювачі, перешкоджаючи їх проходженню через систему вентиляції або повітряний потік.

1. **HEPA-фільтри (High Efficiency Particulate Air)**: Ці фільтри є одними з найефективніших для утримання найдрібніших частинок, включаючи алергени, бактерії та віруси. Вони можуть утримувати частинки розміром до 0,3 мікрон.
2. **ULPA-фільтри (Ultra-Low Penetration Air)**: Ці фільтри ще більш ефективні за HEPA-фільтри і здатні утримувати навіть менші частинки, такі як віруси та бактерії.

Проте метод фільтрації, навіть при використанні HEPA-фільтрів (HEPA, High Efficiency Particulate Air – різновид високоефективного повітряного фільтра, який може вилучати з повітря дуже дрібні частинки завбільшки з кілька мікрон), тільки затримує бактерії та спори на фільтрах, де вони можуть розмножуватись і за певних умов потрапляти до приміщень.

Останнім часом розвиваються фотокаталітичні методи знешкодження мікроорганізмів у повітрі, які не призводять до утворення шкідливого озону, та їхня ефективність доволі низька. З огляду на це, у традиційних очищувачах повітря використовується послідовний набір фільтрів – фотокаталітичний, плазмовий, вугільний, HEPA-фільтри, – що суттєво здорожчує фільтрувальну систему та збільшує її розміри. Отже, існує проблема розміщення максимальної кількості ефективних засобів знищення мікроорганізмів у мінімальному об’ємі фільтру й підвищення ефективності матеріалів фільтру.

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання використовується для ефективного усунення бактерій, вірусів, грибків та інших мікроорганізмів у повітрі. Цей метод базується на властивостях УФ-світла, яке може пошкоджувати генетичний матеріал організмів, перешкоджаючи їхньому розмноженню та руйнуванню.

Озонова обробка є одним із методів очищення повітря від мікроорганізмів та запахів. Озон (O3) - це хімічний сполук кисню, який має сильні властивості окислення і може бути використаний для знищення бактерій, вірусів, грибків та інших органічних забруднень у повітрі.

Обробка озоном ефективна (знищує 99% мікроорганізмів), швидка та при правильному проведенні абсолютно безпечна. Час, необхідний для

дезінфекції даного приміщення, розраховується на основі його розміру та ефективності генератора. Зазвичай обробка озоном потребує трохи більше кількох годин.

6. Очищення газових викидів за допомогою мікроводоростей. Найбільш перспективною та актуальною є проблема очистки відпрацьованого повітря від вуглекислого газу, сполук сірки та оксидів азоту. Серед біологічних методів, фотосинтез мікроводоростей Chlorella має ряд переваг, таких як вища швидкість фіксації CO2, ніж у наземних рослин, також необхідності в подальшій утилізації захопленого CO2 немає. Біологічна фіксація CO2 за допомогою мікроводоростей розглядається як потенційна тактика не тільки зменшити викиди CO2, але і отримати біомасу мікроводоростей з високим вмістом ліпідів (джерело регенеративної енергії). Включення CO2 в компоненти запасу енергії в біомасі, такі як вуглеводи і ліпіди, заснована на фотосинтезі і фіксації CO2 є найбільш перспективним шляхом для вловлення вуглекислого газу з газових викидів.

Хлорофілсинтезуючі мікроводорості мають ряд суттєвих переваг. Вони не потребують добрив, не потребують багато місця на відміну від наземних культур. Фактично вони створюють потужну конкуренцію традиційним культурам. До того ж, водорості швидко ростуть. Вони можуть рости будь-де, якщо отримують достатньо світла, води і вуглекислого газу, який поглинають. Водночас самі нейтралізують речовини, які забруднюють воду при їх культивуванні. Отож вирощування водоростей вважається екологічно чистим виробництвом.

7. Біотестування та біоіндикація обєктів природного середовища. Використання біотестів дозволяє не лише оцінювати ступінь забруднення водних джерел, але й визначати якість атмосферного повітря, стан ґрунтів та навіть якість певних промислових виробів. Суттю процедури біотестування є використання живих організмів як біоіндикаторів, що дозволяє виявляти антропогенні впливи на навколишнє середовище. Такий підхід можна розглядати як технологію контролю забруднення довкілля або

людського впливу на природу, що ґрунтується на використанні живих організмів як індикаторів забруднення.

Основні вимоги до аналізів полягають у їх простоті, доступності та низькій вартості. Для досягнення цих цілей необхідне використання електронних пристроїв з певними характеристиками, серед яких особливе місце займають біосенсори. Вони включають різні біоселективні елементи, такі як ферменти, клітинні рецептори, антитіла, нуклеїнові кислоти, клітинні органели, мікроорганізми, тканини тощо. Ці елементи розміщуються на спеціальній фізичній поверхні та поєднуються з фізико-хімічним перетворювачем. Під час взаємодії біоселективного елемента з аналітичним розчином виникає певний сигнал, який перетворювач змінює на такий, що можна легко виміряти. Такий підхід дозволяє швидко та ефективно проводити аналізи з мінімальними витратами часу та коштів.

У теорії, будь-яка біомолекула або біохімічна реакція можуть стати основою для створення біодатчиків, оскільки в їх функціонуванні відображається принцип структурно-функціонального взаємозв'язку. Це означає, що будь-які специфічні взаємодії між молекулами супроводжуватимуться структурними змінами, які можна використовувати для виявлення. При виборі біологічної системи впізнавання слід враховувати, що реакція має бути високоспецифічною та ефективною.

Біосенсори на основі ферментів мають високу селективність, у них ефективно поєднуються ферментативно-каталітичні та електрохімічні реакції, що проходять на занурених у розчин електроліту електропровідних матеріалах – електродах. Такі пристрої широко використовуються в медицині для визначення вмісту в клітинах живих організмів глюкози, амінокислот, лактози, пірувату, ацетилхоліну, сечовини та інших метаболітів.

Клітинні біосенсори, конструкція яких передбачає іммобілізацію живих клітин у полімери або тверді носії різної природи, використовуються для оцінювання стану довкілля (виявлення токсичних речовин в об’єктах середовища, діагностування наявності токсикантів в організмі людини, у продуктах харчування, у повітрі тощо). Це досить чутливі прилади,

ефективність яких забезпечує швидкість отримання результатів (за декілька хвилин), що мають унікальну специфічність.

Успіх біосенсорів обумовлений наявністю переваг порівняно з іншими аналітичними приладами: висока чутливість і селективність, висока специфічність і швидкість (кілька секунд або хвилин) аналізу, що дає змогу виключити попередню підготовку досліджуваних зразків, спрямовану на виділення та очищення досліджуваних речовин; широкий діапазон речовин, що можуть бути детектовані; можливість аналізувати малі обсяги досліджуваних зразків; здатність до мініатюризації та високого рівня інтеграції; можливість створення мультисенсорів; можливість розміщення на одному кристалі біосенсора зі схемою обробки інформації; можливість використання в польових умовах; можливість контролювати результати аналізу за принципом “зворотного зв’язку” завдяки мікропроцесорам, які поєднані з біосенсором; низька собівартість за масового виробництва; простота у проведенні аналізів, що знижує вимоги до висококваліфікованої підготовки персоналу.

Проте існують сучасні проблеми розробки сенсорів: забезпечення стабільності функціонування та зберігання сенсора за різних умов; забезпечення умов створення та інтеграції чутливого матеріалу з поверхнею фізичного перетворювача в одному технологічному циклі; вирішення проблеми впливу інтерферуючих речовин на роботу сенсора; забезпечення калібрування сенсора при багаторазовому використанні; адаптація лабораторних технологій до масового виробництва дешевих, надійних і чутливих сенсорів; створення сенсорів, що можуть функціонувати безпосередньо в живому організмі протягом тривалого часу, так званих *in vivo* сенсорів.

Лекція 8

Нормативно-правова база виробництва та використання альтернативних видів палива в Україні та світі

1. **Політика країн світових лідерів щодо стимуляції використання енергії біомаси.**
2. **Законодавча база біоенергетичної галузі в Україні.**
3. **Регулювання та стимулювання інноваційної діяльності у виробництві біопалива.**

1. Політика країн світових лідерів щодо стимуляції використання енергії біомаси. Світова спільнота розглядає використання місцевих альтернативних джерел енергії як один із перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Невичерпність ресурсної бази та її екологічна чистота є визначальними перевагами за умов зменшення ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля.

Місцева біомаса є одним з найбільш потужних і доступних альтернативних джерел енергії на Землі. Протягом останніх 20 років постачання первинної енергії з біомаси та біопалив у світі збільшилося на третину із середньорічним зростанням 2% і сягнуло близько 10 % загального постачання первинної енергії, або майже 70% загального постачання первинної енергії з відновлюваних джерел. Загалом за рахунок біомаси (традиційної та сучасної) покривається близько 14% кінцевого споживання енергії.

Лідерами серед розвинених країн по розвитку біоенергетики є в даний час Німеччина, Фінляндія, Швеція, Австрія, Данія, США та Китай. Основними рушійними силами розвитку біоенергетики в цих країнах є різні податки на викопне паливо, а також реалізація спеціальних енергетичних програм і планів.

Стало збільшуються обсяги виробництва рідких біопалив, біогазу та гранул з біомаси. У 2020 р. у світі було вироблено 160 млрд л рідких біопалив, 59,3 млрд м3 біогазу і 36,6 млн т гранул, що, відповідно, у 1,5, 1,6 і 2,5 раза більше за показники 2010 р. Серед рідких біопалив превалює біоетанол з

кукурудзи та цукрової тростини (62% загального обсягу), основними виробниками якого є США та Бразилія. Частка біодизелю першого покоління в загальному обсязі виробництва – 26%. Більше половини загального обсягу біогазу та гранул з біомаси виробляється в Європі.

Європейський Союз є провідним виробником і споживачем відновлюваної енергії, який багато років успішно рухався в напрямі досягнення цілі 2020 р. щодо частки відновлювальних джерел енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні на рівні 20%. Наразі ЄС докладає максимальних зусиль для виконання цілей та завдань Європейського зеленого курсу, прийнятого наприкінці 2019 р. Європейський зелений курс – комплексна стратегія переходу Європи до сталої економіки, чистої енергетики і кліматичної нейтральності до 2050 р.

Основними видами стимулювання розвитку біоенергетики в основі політики ЄС є:

1) капітальні субсидії, гранти або знижки, які передбачають одноразові платежі урядів на покриття відсотків від капітальних витрат на інвестиції;

2) інвестиційні або виробничі податкові кредити;

3) зниження податків, котре застосовується до купівлі (або виробництва) технологій використання відновлювальних джерел енергії;

4) державні інвестиції, позики або гранти на розвиток інфраструктури і реалізацію проектів в області біоенергетики.

Нова версія Директиви ЄС щодо сприяння використанню відновлюваної енергії (Директива ЄС 2018/2001, або Директива RED II78) вийшла у 2018 р. Основні обов’язкові цілі, поставлені Директивою до 2030 р., такі: щонайменше 32% відновлювальних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії ЄС і 14% відновлюваної енергії у секторі транспорту. При цьому поняття відновлюваної енергії на транспорті охоплює рідкі біопалива (у т. ч. другого покоління), біогаз, електроенергію з відновлювальних джерел енергії, а також відновлювані рідкі та газоподібні палива небіологічного походження. Для виконання цілі Директиви RED II – 3,5 % біопалив другого покоління на транспорті у 2030 р. країни – члени ЄС

докладають значних зусиль щодо розширення виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини.

Так, у Фінляндії у 2018 р. було запущено завод з виробництва біоетанолу з тирси річною потужністю 10 млн л з планами її збільшення до 50 млн л. Ще один завод потужністю 50 млн л/рік мали запустити в цій країні у 2020 р. Крім того, було заплановано реалізувати у 2020 р. проєкти з виробництва біоетанолу з соломи у Словаччині та Румунії потужністю 65 млн л/рік кожний. Наразі всі ці заводи перебувають на стадії будівництва.

Розвивається також виробництво дизельного біопалива другого покоління. Наприклад, в Італії у 2019 р. запущено завод з виробництва гідрогенізованої рослинної олії (HVO) – сучасного виду біопалива для дизельних двигунів, який отримують за допомогою гідроочищення олій та жирів. У 2020 р. завод повністю переведено на сировину, що відповідає біопаливам другого покоління та біопаливам, отриманим з сировини з високим потенціалом сталості (використана харчова олія, тваринний жир, побічні продукти переробки рослинної олії, водорості). Виробнича потужність становить до 750 тис. т/рік за сировиною.

У США також розгорнуто роботи з розроблення, упровадження сучасних технологій та організації виробництва біопалива другого покоління. Ряд американських підприємств концентрує зусилля на розробленні технологій з виробництва 40 біобутанолу, який можна використовувати в суміші з традиційними бензинами обсягом до 16% (для біоетанолу цей показник становить 10%). В США діє закон «Emergency Economic Stabilization Act of 2008», що регламентує порядок оподаткування у сфері відновлюваних джерел енергії, згідно з яким у цілому по країні податкові пільги для відповідних суб'єктів оподаткування можуть перевищити 18 млрд дол.

Рушійними силами розвитку біоенергетики в Німеччині є передусім Закон по поновлюваним джерелам енергії та План розвитку біоенергетики. Сьогодні на порядку денному уряду Німеччини в енергетичній сфері стоїть завдання зробити Німеччину першою країною у світі, яка до 2050 р. повністю перейде на енергію, що отримується з екологічно чистих джерел. Для

реалізації цього завдання розроблена Енергетична Стратегія Німеччини, котра передбачає повну відмову від використання атомної енергії до 2022 р. Реалізація цього плану почалася з зупинки 8 найстаріших АЕС. Поновлювані джерела енергії були визначені Стратегією як основна складова структури енергопостачання країни в майбутньому. Також були розроблені законодавчі механізми стимулювання розвитку поновлюваних джерел енергії та енергоефективності. Ці механізми (в цілому 7) прописані в програмі «Енергетичний перехід».

Сучасні успіхи Німеччини у сфері біоенергетики досягнуто в першу чергу за рахунок упровадження відповідних правових норм. Так, згідно Закону «Про нове регулювання законодавства поновлюваних джерел енергії в системі енергопостачання» мережні оператори повинні закуповувати електроенергію, вироблену з використанням поновлюваних джерел енергії. З боку держави виробникам «чистої» електроенергії надається підтримка у вигляді компенсацій, обсяги яких залежать від виду джерел енергії (енергія сонця, вітрова енергія, біомаса, геотермальна енергія, енергія води, енергія припливів). Розвиток галузі підтримується державою, у першу чергу, шляхом пільгового кредитування і відповідних субсидій. Закон вважається головним інструментом, що дав поштовх інтенсивному розвитку в країні біоенергетики. Основні підходи, викладені в цьому законі стали зразком для систем заохочення у сфері розвитку та використання поновлюваних джерел енергії більш ніж в 60 країнах світу.

З відомих реалізованих програм з розвитку біоенергетики Швеції слід відзначити програму «Енергія з деревини». Результатом виконання якої стало збільшення внеску біомаси в загальне постачання первинної енергії до 19%. Причина такого успіху в тому, що податок на викопне паливо був збільшений на 30-160% в залежності від виду палива. Практика підвищення податку на викопне паливо широко також застосовують такі країни, як Фінляндія, Австрія, Данія. Крім вищезазначених інструментів в цих країнах широко використовуються і так звані зелені сертифікати.

Щоб посилити власну енергетичну безпеку та зменшити антропогенний вплив господарської діяльності на навколишнє середовище, Китай активно стимулює розвиток біоенергетики. До 2030 р Китай планує використовувати мінімум 16% поновлюваних джерел енергії від загального обсягу енергоспоживання. Крім того, в Китаї для регулювання паритету цін на традиційну і поновлювану енергію використовується ПДВ:

- відшкодування 50% ПДВ при продажу вітрової енергії, а також електроенергії власного виробництва;

- відшкодування 100% ПДВ при продажу біодизельного топлива, що утворюється при переробці відходів тваринних жирів і рослинних масел.

Так за державної підтримки реалізовано національну програму розвитку сільської біогазової енергетики. Уряд КНР розглядає біогаз як істотне джерело електроенергії для сільських районів. У рамках окремої Програми побудовано близько 4000 великих біогазових станцій, що функціонують на основі перероблення відходів тваринницьких ферм, при цьому частка сільгосппідприємств, що використовують біогазові технології, зросла до 52%. Біогазовими установками користуються понад 31 млн китайських домогосподарств, їхнє число продовжує зростати, збільшуючись щорічно на кілька мільйонів. Річні обсяги виробництва та використання біогазу доведено до 10,2 млрд м3 (13,5 млн т у. п.), що сприяло виходу КНР на перше місце у світі з цього показника.

2. Законодавча база біоенергетичної галузі в Україні. Явний прогрес у розвитку біотехнологій, що спостерігається останнім часом, потребує державної координації, формування надійної законодавчої бази і створення відповідної інфраструктури. Україна має можливість, використовуючи власні природні ресурси, сировинну базу, спираючись на багатий досвід фундаментальних і прикладних досліджень, одержувати прибуток від упровадження науково-технічних розробок та від продажу біотехнологічних продуктів. Досягнувши максимальної біоутилізації твердих,

рідких і газоподібних відходів наша держава може посісти гідне місце на міжнародному ринку.

Однією з умов активного використання біологічних видів палива є наявність необхідного законодавчого підґрунтя, норми якого спрямовані на досягнення цілей та завдань, зазначених у національних концепціях, стратегіях і програмах, шляхом правового стимулювання розвитку біоенергетичної галузі.

Таблиця 1

Нормативно-правова база у сфері енергетичної ефективності

№ з/п	Нормативно – правовий акт	Короткий зміст документа
1.	Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX	Цей Закон визначає правові, економічні та організаційні засади відносин, що виникають у сфері забезпечення енергетичної ефективності під час виробництва, транспортування, передачі, розподілу, постачання та споживання енергії.
2.	Про альтернативні види палива: Закон України від 14.01.2000 р. № 1391-XIV	Цей Закон визначає правові, соціальні, економічні, екологічні та організаційні засади виробництва (видобутку) і використання альтернативних видів палива, а також стимулювання збільшення частки їх використання до 20 відсотків від загального обсягу споживання палива в Україні до 2020 року
3.	Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV	Цей Закон визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання уПЕК
4.	Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання виробництва бензинів моторних сумішевих: Закон України від 23.02.2006 р. № 3502-IV	В частині використання податкового векселя на отриманнябіоетанолу нафтопереробними заводами (чи іншими суб'єктами підприємницької діяльності) на суму акцизного збору, нарахованого на обсяг біоетанолу
5.	Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р	Забезпечення економіки і соціальної сфери країни основними видами енергоносіїв (електричною та тепловою енергією, моторними і котельнопічними видами палива), і сировинними ресурсами для потреб хімії, нафто- та вугле-хімії, металургійної промисловості (коксівним вугіллям, продуктами нафто- та газопереробки) покладається на ПЕК
6.	Про затвердження програми розвитку виробництва дизельного біопалива / Постанова Кабінету Міністрів України від 22.12.2006 р. № 1774	Затвердження Програми розвитку виробництва дизельного біопалива
7.	Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву і використанню біологічних видів палива: Закон України від 21.05.2009 р. № 1391-VI	Розкрито порядок стимулювання виробників і споживачівбіопалива

До яскравих програмних документів, спрямованих на подальший розвиток біоенергетики належать: Державна програма розвитку внутрішнього виробництва, затверджена постановою КМУ від 12 вересня 2011 року № 1130; Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року,

затверджений розпорядженням КМУ від 1 жовтня 2014 року № 902-р та Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням КМУ від 18 серпня 2017 року № 605-р.

З метою вдосконалення законодавчої бази біоенергетики та усунення багатьох проблем системи її підтримки, які виникли у зв'язку зі зміною протекційних умов функціонування галузі, було прийнято ряд Законів України, а саме: «Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення «зеленого» тарифу» від 25 вересня 2008 року; «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива» від 21 травня 2009 року; «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» від 25 квітня 2019 року; «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» від 21 липня 2020 року. Вбачається, що в цілому політика стимулювання використання альтернативних джерел енергії і, зокрема, біологічних видів палива повинна бути стабільною, передбачуваною та уникати частих змін.

3. Регулювання та стимулювання інноваційної діяльності у виробництві біопалива. Обраний державою євроінтеграційний курс вимагає застосування новітніх підходів до регулювання енергетики, заснованих на базових принципах, прийнятих країнами ЄС, до розроблення документів стратегічного планування та практичної діяльності з реалізації державної політики в біоенергетичній сфері.

Встановлення особливих підходів в оподаткуванні є аргументом для визначення важливої ролі біоенергетичної галузі для України в цілому. До механізмів підтримки виробництва енергії з біомаси та біогазу належать «зелений» тариф у секторі виробництва електроенергії, стимулюючий тариф у секторі виробництва теплової енергії, часткова компенсація вартості

обладнання, можливість спільного фінансування в рамках Державного фонду регіонального розвитку.

"Зелений тариф" – це спеціальна програма підтримки в Україні для виробників електроенергії з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як вітроенергетика та сонячна енергія.

Цей тариф надає ряд переваг для виробників та споживачів електроенергії, які використовують таку енергію:

1. Гарантована ціна викупу електроенергії: Виробники електроенергії з використанням відновлюваних джерел енергії мають право на гарантовану ціну викупу за кожен вироблений кіловат-годин електроенергії. Ця ціна фіксована на певний строк і дозволяє виробникам розраховувати на стабільний дохід.

2. Пріоритет при викупі: Виробники електроенергії з "зеленими" джерелами мають пріоритет при викупі їхньої електроенергії перед іншими джерелами.

3. Податкові пільги: Зелені тарифи можуть надавати певні податкові пільги для виробників, які використовують відновлювані джерела енергії.

4. Екологічні переваги: Використання "зеленої" енергії сприяє зменшенню викидів вуглецю та інших шкідливих викидів, що сприяє збереженню навколишнього середовища.

5. Підтримка від держави: Держава надає підтримку та стимулює розвиток відновлюваних джерел енергії через цю програму.

Наразі діючий механізм стимулювання виробництва електричної енергії з біомаси на основі «зеленого» тарифу є усе ще майже нечутливим до особливостей сталого розвитку цієї сфери. Наприклад, розмір «зеленого» тарифу для суб’єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з біомаси або біогазу, відрізняється за часом уведення в експлуатацію об’єктів або їх черг та рівня використання обладнання українського виробництва, але не залежить від місця походження енергетичної сировини, її покоління тощо.

Вбачається, введення критеріїв сталості в нашій країні, на кшталт європейського законодавства, створить передумови для вдосконалення

механізму стимулювання виробництва електричної енергії з біомаси на основі «зеленого» тарифу.

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» передбачає двовекторний правовий механізм державної підтримки, спрямований не тільки на стимулювання виробників електроенергії з біомаси, але і на підтримку сучасного вітчизняного машинобудування. Мова йде про механізм надбавки до «зеленого» тарифу, аукціонної ціни за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва на об'єктах електроенергетики, що виробляють електричну енергію з біомаси чи біогазу введених в експлуатацію з 1 липня 2015 року по 31 грудня 2024 року. Надбавка є фіксованою у відсотках доплатою до «зеленого» тарифу, аукціонної ціни пропорційною до рівня використання суб'єктом господарювання на відповідному об'єкті електроенергетики обладнання українського виробництва (в розмірі 5-20 %).

Важливі положення щодо стимулювання використання біологічних видів палива в Україні містяться у Податковому та Митному кодексах України (далі – ПК України; МК України), що дозволяє стверджувати про розроблення діючого правового механізму державної підтримки біоенергетики, елементами якого є надання податкових та митних пільг. Так, згідно із п. 197.16 ст. 197 розділу V ПК України, передбачено – звільнення від податку на додану вартість операцій із ввезення на митну територію України, а також п. 14 і 16 ч. 1 ст. 282 МК України – звільнення від оподаткування митом при ввезенні на митну територію України або вивезенні за її межі:

а) енергозберігаючого обладнання і матеріалів, засобів вимірювання, контролю та управління витратами паливно-енергетичних ресурсів, обладнання та матеріалів для виробництва альтернативних видів палива або для виробництва енергії з відновлюваних джерел енергії;

б) матеріалів, устаткування, комплектуючих, що використовуються для виробництва матеріалів, сировини, устаткування та комплектуючих, які будуть використовуватися у виробництві альтернативних видів палива або виробництві енергії з відновлюваних джерел енергії.

Поряд із загальним позитивним спрямуванням фіскальної політики у біоенергетичній галузі, вона має суттєві недоліки та прорахунки.

Це стосується скасування або строкового обмеження багатьох податкових та митних пільг у сфері біоенергетики, що суперечить загальній спрямованості державної політики щодо стимулювання використання біологічних видів палива. Недостатня увага приділяється фінансовій підтримці виробництва біопалива. Прикладом цього є відсутність будь-яких компенсацій відсоткових ставок за кредитами, залученими для покриття витрат на придбання обладнання для перероблення сільськогосподарських відходів і сировини, відходів заготівлі деревини лісу (в т.ч. в біопаливо та інші альтернативні види енергії).

Розглядаючи проблематику стимулювання біоенергетичного комплексу, надзвичайно важливими залишаються також питання організаційно-правового забезпечення виробництва, переробки та реалізації біопалива. Перспективними напрямками модернізації організаційної державної підтримки біоенергетики в Україні є: утворення та забезпечення діяльності електронних ринків біопалива, біомаси; запровадження конкурентного ринку теплової енергії; надання державної підтримки суб’єктам господарювання, що вирощують енергетичні рослини; звільнення від сплати податку за викиди CO2 установки, що спалюють біопаливо.

Список використаних джерел

1. Бєлінська А. П., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Мироненко, Л. С. Біоконверсія відходів : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2023. 198 с.
2. Білокінна І., Токарчук Д. Біоенергетичний потенціал енергетичних культур для виробництва різних видів біопалив для подолання дефіциту енергетичних ресурсів в АПК. *Modeling the development of the economic systems*. 2024. Вип. 4. С. 320-327. URL: https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-42.
3. Біотехнології та біоінженерія. Вступ до фаху : навчальний посібник / О. І. Юлевич С. І. Луговий, О. І. Каратєєва, Є. В. Баркарь. Миколаїв : МНАУ, 2022. 285 с. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11705.
4. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Г. Г. Гелетуха та ін. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с.
5. Гонтарук Я., Шевчук Г. Напрями вдосконалення виробництва та переробки продукції АПК на біопаливо. *Економіка та суспільство.* 2022. Вип. 36. URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-8.
6. Енергетичні та сировинні рослині ресурси : навчальний посібник / С. М. Каленська та ін. Київ : НУБіП України, 2022. 273 с.
7. Кулик М. І., Калініченко О. В. Рослинні сировинні ресурси: агровиробництво, біоенергетика та біоекономіка : підручник. Полтава : ПП “Астрая”, 2026. 320 с.
8. Хоботова Е. Б. Ресурсозбереження при виробництві та безпека матеріалів на основі мінеральних в’яжучих : підручник. Харків : ХНАДУ, 2026. 293 с.
9. Хохленкова Н. В., Двінських Н. В. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії для біоенергетики та енергозберігаючих технологій. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування :* матеріали

міжнародної наукової конференції (м. Харків, 27-28 квітня 2023 р.). Харків : Державний біотехнологічний університет, 2023. С. 116-117.

10. Циркулярна політика управління відходами : підручник / А. І. Крисоватий та ін. Тернопіль : ЗУНУ, 2023. 460 с.
11. Юлевич О. І., Луговий С. І., Каратєєва О. І., Баркарь Є. В. Біотехнології та біоінженерія. Вступ до фаху : навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2022. 285 с. URL: http://172.16.0.31:8080/jspui/handle/123456789/11705
12. Karatieieva, O., Barkar, Ye., Yulevich, O., Liuta, I., & Overchenko, V. (2025). Molecular-genetic and biotechnological foundations for the development of complex microbial preparations for balanced plant nutrition. *Scientific Horizons*, 28(8), 102-117. https://doi.org/10.48077/scihor8.2025.102

Навчальне видання

Технологія виробництва та переробки сировини АПК для біоенергетики

курс лекцій

Укладачі: **Каратєєва** Олена Іванівна
Каратєєв Андрій Сергійович

Технічний редактор: О. І. Каратєєва

Формат 60х84 1/16. Ум. друк. арк. 8,25
Тираж 20 прим. Зам. № ___

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.