

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПЕРЕРОБКА БІОМАСИ ТА ОТРИМАННЯ БІОПЛАСТИКУ ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Біотехнології»
спеціальності G21 (162) Біотехнології та біоінженерія

Укладачі: Н. Б. Голуб, Д. С. Колтишева, К. О. Щурська

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2026

Укладачі:	<i>Голуб Наталія Борисівна</i> , д-р техн. наук, доц., завідувач кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології <i>Колтишева Діна Сергіївна</i> , д-р філос., асистент кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології <i>Щурська Катерина Олександрівна</i> , канд. техн. наук, доц., доцент кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології
Рецензент	<i>Луценко Тетяна Миколаївна</i> , канд. техн. наук, доц., доцент кафедри трансляційної медичної біоінженерії ФБМІ, заступник декана з міжнародного співробітництва ФБМІ, КПІ ім. Ігоря Сікорського
Відповідальний редактор	<i>Саблій Лариса Андріївна</i> , д-р техн. наук, професор кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 8 від 04.06.2026 р.)
за поданням вченої ради факультету біотехнології і біотехніки
(протокол № 10 від 25.05.2026 р.)*

Г62 **Переробка** біомаси та отримання біопластику. Домашня контрольна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності G21 Біотехнології та біоінженерія / уклад.: Н. Б. Голуб, Д. С. Колтишева, К. О. Щурська. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2026. – 62 с.

ISBN 978-966-990-298-6 (Ел.)

Викладено вимоги до підготовки та оформлення домашньої контрольної роботи з дисципліни «Переробка біомаси та отримання біопластику». Поставлено задачі щодо дій технолога за умов зміни параметрів технологічного процесу отримання корисних речовин з біомаси на різних стадіях та шляхи їх вирішення, орієнтовний перелік тем, список рекомендованої літератури та прописано чіткі вимоги щодо оформлення роботи.

Для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Біотехнологія» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія», буде корисним студентам під час виконання домашньої контрольної роботи

УДК 678.02 : 504

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Теоретична частина.....	6
1.1. Рідке біопаливо.....	7
1.1.1. Біодизельне пальне.....	7
1.1.2. Водорості як продуценти ліпідів	12
1.2. Газоподібне паливо.....	14
1.3. Оформлення технологічної схеми та її опис.....	17
1.4. Виробництво екстракційних препаратів	24
1.5. Отримання базових хімічних сполук з рослинної сировини	30
1.6. Біотехнології переробки біомаси в хімічні речовини	38
2. Структура домашньої контрольної роботи та правила її оформлення	46
2.1. Структура ДКР	46
2.2. Вимоги до оформлення домашньої контрольної роботи.....	49
3. Теми ДКР.....	53
4. Критерії оцінювання домашньої контрольної роботи.....	55
Список використаних джерел	56
Рекомендована література.....	56
Додаток 1	58
Додаток 2.....	59

ВСТУП

Дисципліна «Переробка біомаси та отримання біопластику» є вибірковою і викладається для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G 21 – Біотехнології та біоінженерія за освітньо-професійною програмою Біотехнології.

Запланована в курсі домашня контрольна робота має на меті закріплення, поглиблення та контроль знань, отриманих студентами в процесі вивчення дисципліни та опрацювання самостійно додаткових матеріалів щодо поєднання біотехнологічних процесів отримання корисних речовин з біомаси за використання різних як фізико-хімічних, так і біологічних методів, для формування здатності комплексно аналізувати біотехнологічні процеси на молекулярному та клітинному рівнях; та використовувати знання про шляхи утворення корисних продуктів при переробці біомаси різними методами для вдосконалення біотехнологій їх одержання.

Метою виконання ДКР є опис біотехнологічного процесу отримання корисних продуктів з біомаси за різних умов, вплив зміни параметрів на вихід продуктів та шляхи протидії проблемам, що виникли.

У процесі виконання ДКР студент опановує такі компетентності:

- здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, які виникають на стику наук;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність складати технологічні схеми виробництва біотехнологічних продуктів біоенергетичного та екологічного призначення;
- аналізу існуючих технологій виробництва корисних продуктів;

та отримує такі результати навчання:

- вміти аналізувати та проектувати спеціальні біотехнологічні виробництва із виготовлення продукції різного функціонального та галузевого призначення;
- вміти аналізувати способи інтенсифікації виробництва;

- вміти використовувати знання про шляхи біосинтезу практично цінних метаболітів для вдосконалення біотехнологій їх одержання.

У процесі виконання домашньої контрольної роботи студент повинен розглянути наступні питання:

- надати загальну технологічну схему біотехнологічного процесу продукування та отримання корисних речовин мікроорганізмами за використання різних субстратів та описати її;
- розглянути причини зміни раціональних параметрів процесу;
- навести механізми регуляції параметрів та виведення їх до раціонального рівня;
- навести механізм утворення корисних речовин за використання тих чи інших видів мікроорганізмів; навести ферменти та коферменти чи кофактори, які беруть участь у реакціях;
- навести переваги та недоліки біотехнології, що пропонується;
- обґрунтувати метод підготовки сировини;
- зробити висновок щодо запропонованої технології;
- провести аналіз існуючих технологій;
- проаналізувати методи ідентифікації визначених процесів;
- оформити роботу.

Оцінювання ДКР відбувається відповідно до рейтингової системи оцінювання знань, що надана в силабусі дисципліни «Переробка біомаси та отримання біопластику».

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Біомаса, як похідна енергії Сонця в хімічній формі, є одним з найбільш універсальних і відновлювальних ресурсів на Землі. З біомаси отримують не лише їжу, але й енергію, будівельні матеріали, папір, тканини, фармацевтичні препарати, хімічні речовини – барвники, органічні розчинники, масла, кислоти, полімерні матеріали тощо.

Ефективність біомаси як джерела енергії та корисних речовин зумовлена легкістю її отримання та швидким поновленням запасів. Сьогодні найбільш економічно обґрунтованою і комерційно доцільною технологією, яка здатна хоча б частково замінити викопні ресурси, є виробництво енергії та отримання речовин з біомаси.

Усе більше популярності набирають поновлювальні джерела енергії (біогаз, біоводень, біодизельне пальне тощо), які одержують за використання біотехнологічних процесів. Використання біопалива пов'язано з природними екологічними циклами та зменшує забруднення біосфери (при спалюванні біомаси утворюється значно менша кількість оксидів нітрогену та сульфуру (0,2 % і 2–3 % для вугілля, 3–5 % золи проти 10–15 % для вугілля), а карбон (IV) оксид, що утворився, дорівнює поглинутому і знову повертається в колообіг чим забезпечує безперервний процес отримання енергії.

Біомаса з точки зору енергетики – це органічні речовини рослинного або тваринного походження, котрі мають енергетичну цінність і можуть бути використані як паливо. За визначенням Національного банку стандартизації науково-технічних термінів у випадку використання біомаси як енергетичної сировини, її поділяють на:

- первинну – рослини, які безпосередньо або без хімічного оброблення використовуються для одержання енергії – до них належать, перш за все, відходи сільського та лісового господарства;
- вторинну – залишки перероблення речовин первинної біомаси в результаті їхнього споживання людиною та тваринами чи перероблення у

домашньому господарстві або промисловості – до них належать, перш за все, гній, рідкий компост, рідкі стоки очисних споруд;

- третинна біомаса (термін використовується в іноземних джерелах) включає залишки споживання та відходи – жири, мастила, дерев'яні відходи будівництва та міст, відходи упаковки, звалищні гази, тверді побутові відходи. Виділення цих речовин в окрему групу пов'язано з їхньою попередньою обробкою перед використанням в якості палива.

Потужним стимулом до розробки і використання екологічно чистих видів моторного палива є жорстке обмеження допустимих викидів з відпрацьованими газами.

«Енергетична стратегія України на період до 2030 року» передбачає суттєвий розвиток відновлюваних джерел енергії – головним чином за рахунок значного збільшення використання біомаси – від 0,9 до 6,5 млн т нафтового еквівалента (н.е.)/рік (від 1,3 до 9,2 млн т вугільного еквівалента (в.е.)/рік). Підвищення цін на традиційні види палива (головним чином – на природний газ) покращить привабливість інвестицій у біоенергетику та буде сприяти розвитку цього ринку.

1.1. Рідке біопаливо

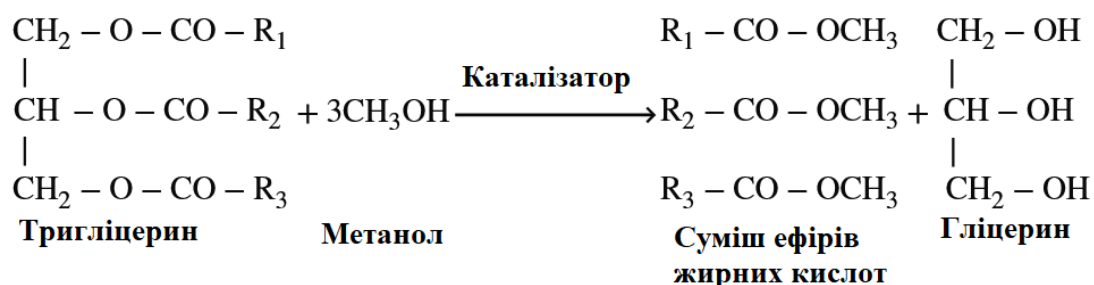
1.1.1. Біодизельне пальне

Причиною введення в експлуатацію біодизельного палива наряду з бажанням забезпечити енергонезалежність країн є вирішення екологічних проблем – загазованість міст, зміна клімату тощо. CO₂, що утворюється при спалюванні біодизельного пального, майже повністю продукується з вуглецю, який був зафіксований рослинами у процесі фотосинтезу. Окрім того, біодизельне паливо піддається швидкій біодеструкції при потраплянні у воду чи ґрунт.

Метиліві естери вищих жирних кислот з олії ріпаку є першим видом біодизельного палива, яке виробляють у світі з 1988 р. Такі естери можна використовувати як паливо у чистому вигляді або як суміш з дизельним паливом. Як чисте паливо (обов'язково з присадкою) використовуються в Німеччині та

Австрії, як 30, 20 і 5% суміші з дизельним паливом – у Франції, Швеції, США, Чехії тощо.

Біодизельне пальне отримують за використання ліпідів олійних рослин за перебігу наступного хімічного процесу:



Таким чином, біодизельне паливо являє собою суміш моноалкілових естерів довголанцюгових жирних кислот. При його спалюванні відбувається значне зменшення надходження у повітря оксидів нітрогену NO_x , практична відсутність викидів оксидів сульфуру SO_2 , які є супутніми у продуктах переробки нафти, у порівнянні зі спаленням мінеральних палив, і не відбувається винесення надлишкового карбону (IV) оксиду.

Використання біодизельного пального як моторного палива знижує емісію усіх шкідливих речовин. Для біодизельного пального марки В 100 викиди вуглеводнів по відношенню до нафтових аналогів зменшуються на 56 %, твердих частинок – на 55 %, оксидів карбону – на 43 %, сажі – на 60 %, оксидів азоту – на 5–10 %. В чистому біодизельному паливі міститься не більше 15 ppm. (ppm = мг/дм³ або мг/кг) сірки і відсутні ароматичні сполуки. Воно є менш токсичним, при попаданні в ґрунт чи у водойми, не приносить шкоди рослинам та тваринам, повністю біорозкладається за 28 діб. Естери жирних кислот змішуються з нафтовим дизельним паливом і не розшаровуються навіть за наявності води. Біодизельне пальне має:

- хороші змащувальні властивості, яке традиційне паливо втрачає при усуненні сірчистих сполук;
- більш високе цетанове число (51);
- високу температуру спалахування – 150 °С, що робить його безпечним;

- більшу повноту згорання;
- збільшення ресурсу двигуна до 60 %.

Недоліками біодизельного пального є: менша енергоємність; більша витрата палива, оскільки теплота його згорання – 37,8 МДж/кг, а дизеля з нафти – 42,7 МДж/кг, відповідно його потрібно за масою на 15 % більше (за об'ємом – на 9 %); відносно висока температура помутніння – в зимову пору року необхідний підігрів; гігроскопічність – поглинання вологи з атмосфери, (відомо, що присутність незв'язаної води викликає корозію елементів паливної апаратури), а при низьких температурах – розшарування палива і утворення льоду; агресивність по відношенню до гумових деталей.

Базовими технологіями одержання біодизельного пального з олії є:

- Циклічна з використанням лужних каталізаторів. Температура реакції – 65 °С, тиск атмосферний, час реакції від 20 хвилин до 2 годин, кількість каталізатора – 1,5 % від маси олії, вихід метилового естеру – 85 % від загальної маси біодизельного пального. Переваги технології: відносна простота технологічного процесу, невисока ціна технологічної лінії, можливість використання сировини низької якості. До недоліків відноситься: невисокий вихід метилового естеру, тривалість проходження реакції.
- Безкаталізаторна циклічна технологія. Температура реакції – 30 °С, тиск атмосферний, тривалість 5–10 хвилин, розчинник – тетрагідрофуран, вихід естеру – 98 % від маси олії. Переваги технології – високий вихід метилового естеру, невисока температура, висока швидкість реакції, чистота продуктів. Недоліки – дорогі розчинники, необхідність використання додаткового обладнання.
- Багатореакторна неперервна технологія. Температура реакції 80–160 °С, тиск – 2–3 атмосфери, тривалість 6–10 хвилин, кількість каталізатора до 1 % від маси олії, вихід метилового естеру – 98 %. Переваги технології – високий вихід метилового естеру, неперервність процесу, висока

швидкість реакції. Недоліки – складність технологічного процесу, висока вартість технологічної лінії, висока чутливість до якості сировини.

Вибір технології залежить від об'ємів виробництва, виду вихідної сировини та її якості, способів очищення від спиртів та каталізатору. При об'ємах виробництва 500–5000 т на рік і невисокої якості сировини використовують циклічну з каталізатором технологію. При об'ємах виробництва більше за 5000 т на рік використовують багатореакторну неперервну, в якій висуваються високі вимоги до якості сировини. В Україні застосовують циклічну технологію з використанням лужних каталізаторів.

Циклічна технологія з використанням лужних каталізаторів поділяється на «холодну» – процес проходить при температурі 20–70 °С та «гарячу» – процес проходить при температурі 240 °С, під тиском біля 10 МПа. Остання технологія потребує більш дешевої теплової енергії та більшої кількості метанолу, який можна потім знову повернути у процес.

Реакція переестерифікації відбувається при додаванні спирту до тригліцеридів при наявності кислотних або лужних каталізаторів, розчинених у спирті. Застосування кислотного каталізатора потребує високого тиску та підвищеної температури. За використання як каталізатора NaOH необхідно проводити підігрів олії до температури вище за 60 °С, при використанні КОН – процес може відбуватись при температурі 20 °С, але швидкість реакції повільніша.

У процесі переестерифікації утворюються естери вищих жирних кислот та гліцеролова фракція, яка містить: 56 % гліцеролу, 4 % метанолу, 13 % жирних кислот, 8 % води, 9 % неорганічних солей, 10 % ефірів.

Домішки, що забруднюють біодизельне пальне, видаляють: мила – шляхом вимивання підкисленою водою та фільтрацією, воду та метанол – дистиляцією або сухим повітрям. З гліцеролової фракції сепарацією отримують сирий гліцерол (50–60 %), який можна використовувати як корм для свиней та птиці. Після подальшого очищення гліцерол використовують для харчових, фармацевтичних та косметичних потреб. Крім гліцеролу іншим побічним продуктом є лецитин, який

відноситься до фосфоліпідів (5 % від сирої олії), використовується в харчовій та хімічній промисловості.

«Холодну» технологію отримання олії доцільно реалізовувати на господарських та малих підприємствах через зменшення обсягів перевезень та використання шротів на сільськогосподарських підприємствах. Так, при врожаї ріпаку в 21 ц/га можна отримати 691 літр біодизельного пального та 1300 кг шроту.

При використанні «гарячої» технології отримання олії ефективність процесу складає 90–99 %, так як гліцеролова фракція подається в резервуар і проходить повторний процес переестерифікації з повторним відділенням гліцеролової фракції.

У табл. 1 надано вимоги до якості біодизелю за стандартом України. У табл. 2 наведено вплив домішок на якість пального.

Таблиця 1. Вимоги до якості біодизельного пального згідно ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги».

Показники	Значення показників
Густина при температурі 15 °С, кг/м ³	860–900
Кінематична в'язкість при температурі 40 °С, мм ² /с	3,5–5,0
Йодне число, г йоду /100 г палива	120
Кислотне число, (мг КОН) 100 г	0,5
Вміст ефірів, %	96,5
Цетанове число	51
Температура спалаху, °С	120
Температура застигання, °С	–
Коксування 10 %-го залишку, мас. %	0,3
Зольність, мас. %	0,02
Вміст сірки, мас. %	0,001
Вміст води, мас. %	0,05
Вміст механічних домішок, мас. %	Відсутність
Випробування на мідній пластинці	Витримує

Таблиця 2. Вплив домішок у біодизельному пальному на його якість [5]

Домішка	Вміст	Проблеми, що обумовлені домішкою
Вода	0,15 %	Корозія деталей системи паливоподачі і паливних баків, ріст мікроорганізмів, що засмічують фільтри і сприяють корозії
Вільний гліцерол	0,05 %	Утворення відкладень, вилучення води і зв'язаного гліцеролу з палива
Зв'язаний гліцерол	0,3 %	Утворення вуглеводних частинок на паливних форсунках і поршневих кільцях, кристалізація
Спирт	5 %	Зниження цетанового числа і температури спалахування, зменшення мастильної здатності палива
Жирні кислоти, мила	0,02 %	Утворення золи
Пероксид водню	70 одиниць	Окиснення біопалива, руйнування гумових прокладок, утворення нерозчинних клеїв та осадів

1.1.2. Водорості як продуценти ліпідів

Перевагою водоростей перед наземними рослинами є висока ступінь відтворюваності і високий вихід ліпідів і жирних кислот (від 4,6 до 18,4 кг/м² за рік залежно від використаної системи культивування) порівняно з традиційними олійними культурами. Мікроводорості мають хороші адаптивні властивості, що дозволяє вирощувати їх в умовах, які є неприйнятними для більшості енергетично цінних рослин, наприклад, на солоних ґрунтах пустельних територій. За використання біореакторів ферми для вирощування водоростей можна розташовувати біля підприємств, у процесі виробництва яких відбуваються значні викиди CO₂, який можна використовувати для нарощування біомаси, що значно зменшує антропогенне навантаження на оточуюче середовище. На відміну від олійних культур, в процесі росту біомаси мікроводоростей можливо впливати на кількісний і якісний склад ліпідів за рахунок програмованої зміни метаболізму в залежності від складу поживного середовища та параметрів процесу вирощування. Відпрацьовану біомасу можна використовувати не тільки для одержання біоводню, біогазу, а також для добування поживних та лікарських речовин та комбікормів для годування тварин та птиці. Процес отримання метилових та етилових естерів жирних кислот мікроводоростей не відрізняється від аналогічного процесу для рослинних похідних.

Як фототрофні організми мікробіодизелю для підтримання свого росту потребують збалансованого температурного режиму, освітлення, подачі в біореактор CO_2 і неорганічних солей. Для зменшення витрат, не зважаючи на зміни денного і сезонного рівня освітлення, можна використовувати сонячне випромінювання. Оптимум температури вирощування водоростей знаходиться в інтервалі 20–30 °C. Ефективність культивування біомаси водоростей залежить також від масообмінних характеристик біореактора. Важливою є проблема осідання клітин мікробіодизелю на поверхнях реактора, що призводить до зменшення рівня освітлення усередині реактора, у зв'язку з чим виникає необхідність періодичного механічного очищення робочих поверхонь.

Найважливішим компонентом поживних середовищ для вирощування мікробіодизелю є неорганічний вуглець, вміст якого може підтримуватись або шляхом барботування середовища CO_2 , або додаванням солей вугільної кислоти, або для відкритих реакторів простого насичення води CO_2 з повітря за рахунок розчинності газу. Мінеральні солі, що складають основу поживних середовищ для мікробіодизелю, повинні у достатній кількості забезпечувати клітини Нітрогеном, Фосфором, Калієм, Магнієм, Ферумом, Манганом та іншими важливими макро- та мікроелементами.

Якість біодизеля залежить від співвідношення залишків насичених та ненасичених жирних кислот у його складі. Ненасичені кислоти мають більшу спорідненість до кисню, тобто легше окиснюються під час зберігання, що зменшує теплоту їх згорання. Застосування естерів тільки насичених жирних кислот призводить до підвищення температури замерзання, і, відповідно до неможливості застосування біодизельного палива за низьких температур. Загальна ненасиченість олій, що одержані з водоростей, вища, ніж у олії одержаної з пальм, і нижча, ніж у олій, одержаних з сої та ріпаку. Європейський стандарт EN 14214 обмежує вміст метилового естеру ліноленової кислоти у біодизельному паливі на рівні 12 %. Зменшення ступеня ненасиченості може бути досягнуте шляхом часткової каталітичної гідрогенізації олії.

На загальну кількість ліпідів і їхню будову впливають такі фактори середовища, як інтенсивність освітлення, температура, рівень забезпечення поживними елементами – нітрогеном, фосфором, калієм, манганом (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив деяких факторів середовища на накопичення ліпідів клітинами мікроводоростей

Фактор впливу	Ефект дії фактора
Підвищення інтенсивності освітлення при достатньому рівні вмісту поживних речовин	Підвищення накопичення загального вмісту жирних кислот
Зменшення інтенсивності світла	Підвищення накопичення загального вмісту вищих жирних кислот, у тому числі і ненасичених
Обмеження кількості нітрогену	Підвищення накопичення вмісту ліпідів, в тому числі насичених
Занижена температура	Підвищення ступеня ненасичених вищих жирних кислот
Недостаток фосфору	Підвищення накопичення ліпідів
Mn ²⁺	Впливає на вміст ліпідів

1.2. Газоподібне паливо

До газоподібного палива відносять біогаз, водень, синтез газ тощо. В якості сировини для отримання біогазу використовують біомасу, до якої відносяться залишки та відходи зернових культур, цукрового буряка, соняшника, деревини, продуктів життєдіяльності тварин, органічні осади первинних відстійників та надлишковий мул зі станцій очищення стічних вод та інші органічні відходи. Сировину для виробництва біогазу та біоводню можна поділити на категорії:

- *сільськогосподарська* – гноївка, гній, енергетичні культури, залишки біомаси (бур'яни, бадилля, солома тощо);
- *промислова* – відходи та стоки скотобосень, харчової, фармацевтичної, паперової тощо промисловостей;
- *господарська* – органічні відходи, комунальні стоки, обрізки дерев тощо.

Біомасу, що підлягає переробці, також можна поділити на *основну* (ферментація якої може перебігати без додавання інших речовин) – гній, гноївка, молода трава та *допоміжну* (ферментація якої потребує додавання інших субстратів).

Хімічний склад біомаси, що зброджується, визначає можливу межу її зброджування, а також вихід та склад біогазу, що утворюється. Встановлено, що вся кількість газу, який виділяється в процесі зброджування біомаси, утворюється за рахунок розкладу ліпідів, вуглеводів і білків. При цьому 60–65 % біогазу утворюється за рахунок розкладу жирів, а решта 35–40 % припадають приблизно порівну на вуглеводи та білки. Усі компоненти зброджуються не повністю, межа їхнього зброджування складає: 70 % – для жирів, 62,5 % для вуглеводів, 48 % – для білків.

Суміш гною з травами, які збираються з площ, що лежать під паром, а також з таких додаткових продуктів як картопляне бадилля, гичка, солома кукурудзи та зернових тощо може використовуватись для виробництва біогазу методом *безкисневої ферментації* (сухе бродіння). Така органічна маса, особливо з трав, використовується також як коферментаційна домішка до гноївки. Ферментація може відбуватись у мокрому (85–95 % вологи) та сухому (вологи до 60 %) станах. При сухому бродінні з 1 т можна отримати 6000 м³ біогазу. Під час сухої ферментації близько 60 % органічних речовин біомаси перетворюється на біогаз. Залишок, що перебродив, використовується як добриво. Одержання добрива в процес сухої ферментації біомаси являється позитивним фактором переробки біомаси по відношенню до процесу спалювання.

Виділення біогазу залежить від багатьох параметрів: хімічного складу біомаси, що зброджується, вологості, температури та тривалості процесу, навантаження за органічною речовиною, кислотності тощо.

Біогаз, утворений при метановому бродінні, є сумішшю, яка на 50–80 % складається з метану, на 20–50 % з вуглекислого газу, до 3 % – сірководень, а також містить незначні кількості інших газів (азоту, кисню, водню, аміаку, чадного газу та ін.). Концентрація метану в біогазі залежить від хімічного складу вихідної сировини (вуглеводи – більший вихід CO₂, жири – більший вихід метану – до 85 %). Середня теплота згорання біогазу, що містить 60 % метану, дорівнює 22 МДж/м³, що еквівалентно згоранню 0,6 л бензину, 0,85 л спирту, 1,7 кг дров.

За сучасними уявленнями анаеробне метанове зброджування включає чотири взаємопов'язані стадії:

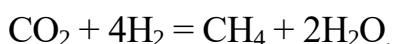
I – стадія ферментативного гідролізу складних нерозчинних органічних речовин з утворенням більш простих розчинних органічних речовин;

II – ацидогенна стадія (кислотоутворення, кислотогенна) – відбувається розклад органічних речовин з виділенням нижчих летких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню й вуглекислого газу;

III – ацетогенна стадія – перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів в оцтову кислоту, яка дисоціює на аніон ацетату й катіон водню;

IV – метаногенна стадія – утворення метану з оцтової кислоти, а також в результаті реакції відновлення воднем вуглекислого газу.

Продуктування метану відбувається за використання різних субстратів. Більшість метаногенів здатна використовувати H_2 та CO_2 для утворення CH_4 за реакцією:



На рис. 1 схематично показано біохімічний процес утворення метану з водню та діоксиду карбону.

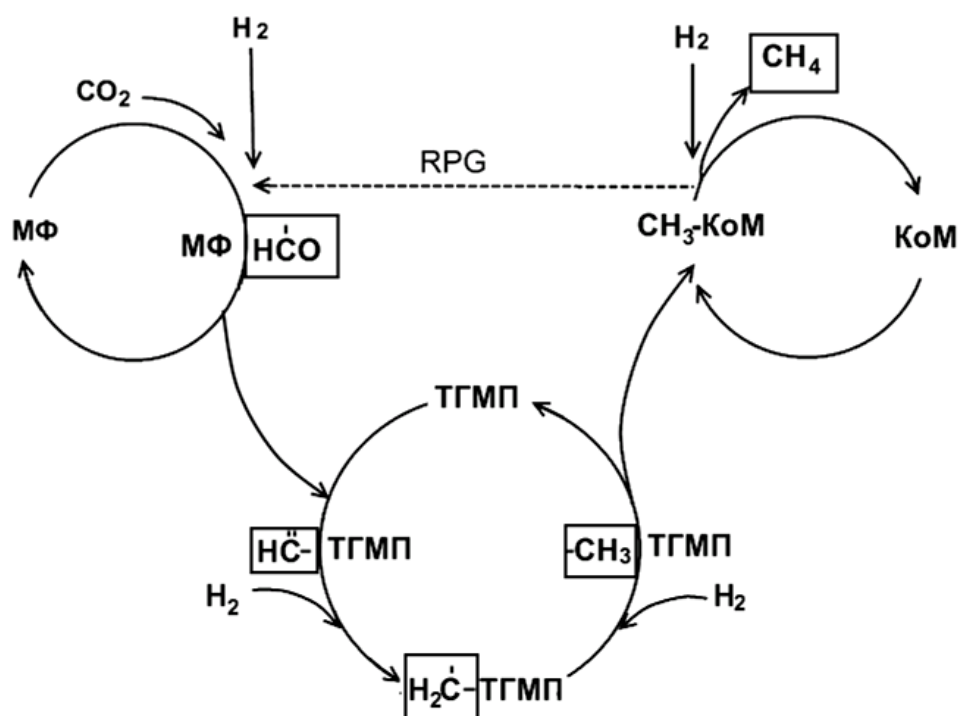


Рис. 1. Механізм утворення метану з вуглекислого газу [6].
МФ – метанофуран, ТГМП – тетрагідрометанофтерин, КоМ – коензим М

Відновлення CO_2 до CH_4 відбувається багатоступінчато. При цьому трансформація окремих проміжних C_1 -сполук пов'язана з функціонуванням специфічних ферментів. CO_2 зв'язується з метанфураном з утворенням формілметанофурану. Одновуглецевий залишок, що утворився, приєднується до тетрагідрометано-птерину, після чого дегідратується і відновлюється до формальдегіду або молекулярним воднем, або за участі F_{420} . Після цього відбувається ще одне відновлення і метильна група, що одержується, переноситься на кофермент М. Метил-S-КоМ відновлюється коферментом В до метану за участі метил-КоМ-редуктази, а також гетеросульфиду коферментів В та М. Усі реакції необоротні. Енергія запасається при відновленні гетеросульфиду мембранним ферментативним комплексом гідрогенази і гідродисульфід-редуктази (вважається, що цей комплекс слугує протонною помпою).

Основні технології виробництва біогазу:

1. *Безперервна* – постійне або з короткими перервами надходження сировини до реактора та виведення маси, що перебродила. Сировина повинна бути рідка або напіврідка. Технологія потребує невеликих ферментаційних камер. Резервуари можуть бути різні, перемішування тяж (механічні мішалки, перекачування сировини, продування біогазу). Найбільш відпрацьована технологія.

2. *Змішана ферментація* – потребує щонайменше двох ферментаційних резервуарів. Які заповнюються по черзі. Через певний час звільняють перший резервуар, в якому залишають певну кількість мікроорганізмів для розмноження. Виробництво біогазу є циклічним. Чим більше резервуарів, тим менші перерви між циклами.

3. *Періодична* – подібна до змішаної, але з використанням одного ферментаційного резервуару. Використовується за наявності густої сировини (гній).

1.3. Оформлення технологічної схеми та її опис

На рис. 2. наведено приклад оформлення технологічної схеми та її опису на основі фрагменту створення біопаливного елемента (БПЕ) з біокатодом та біоанодом.

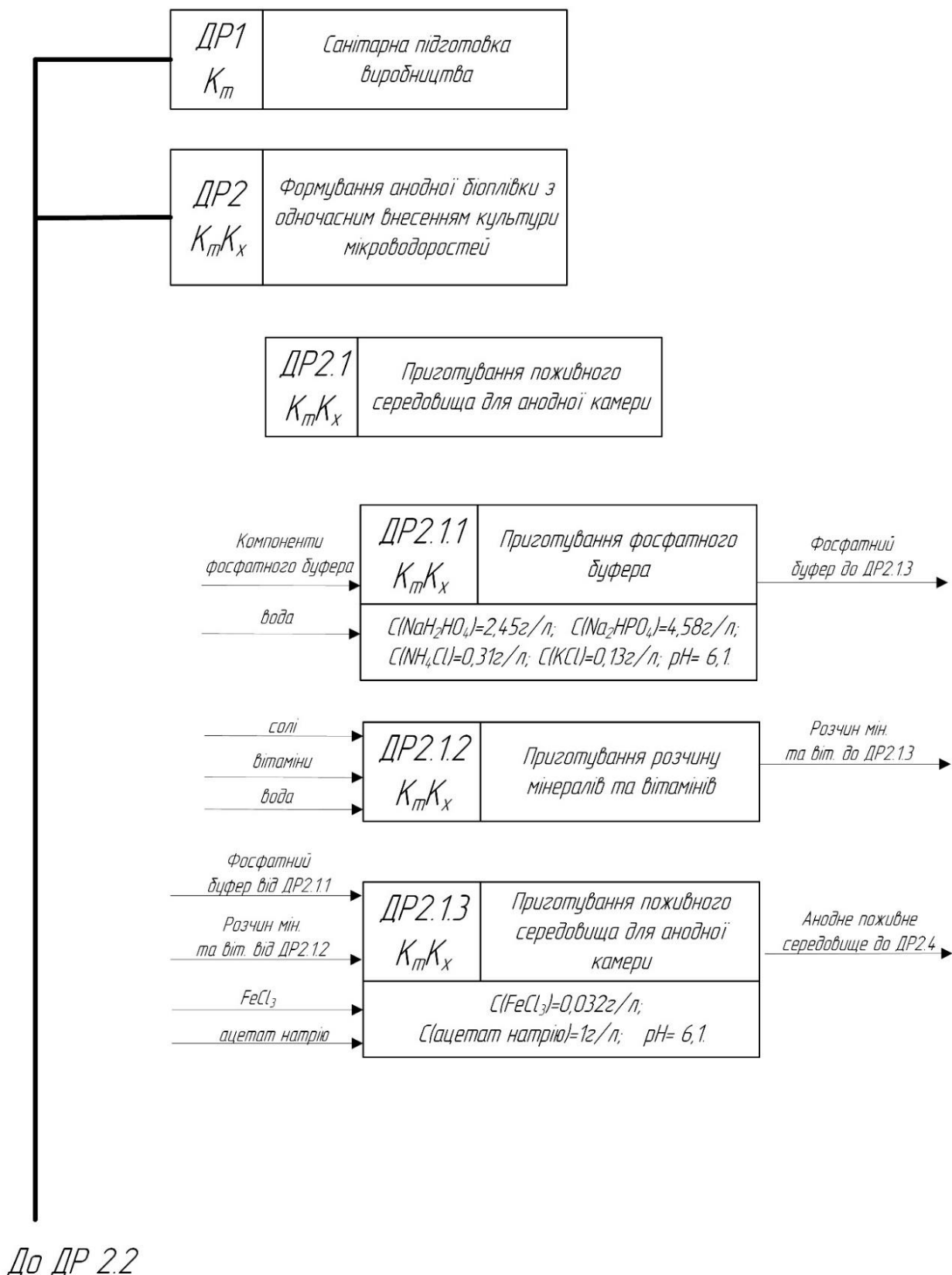
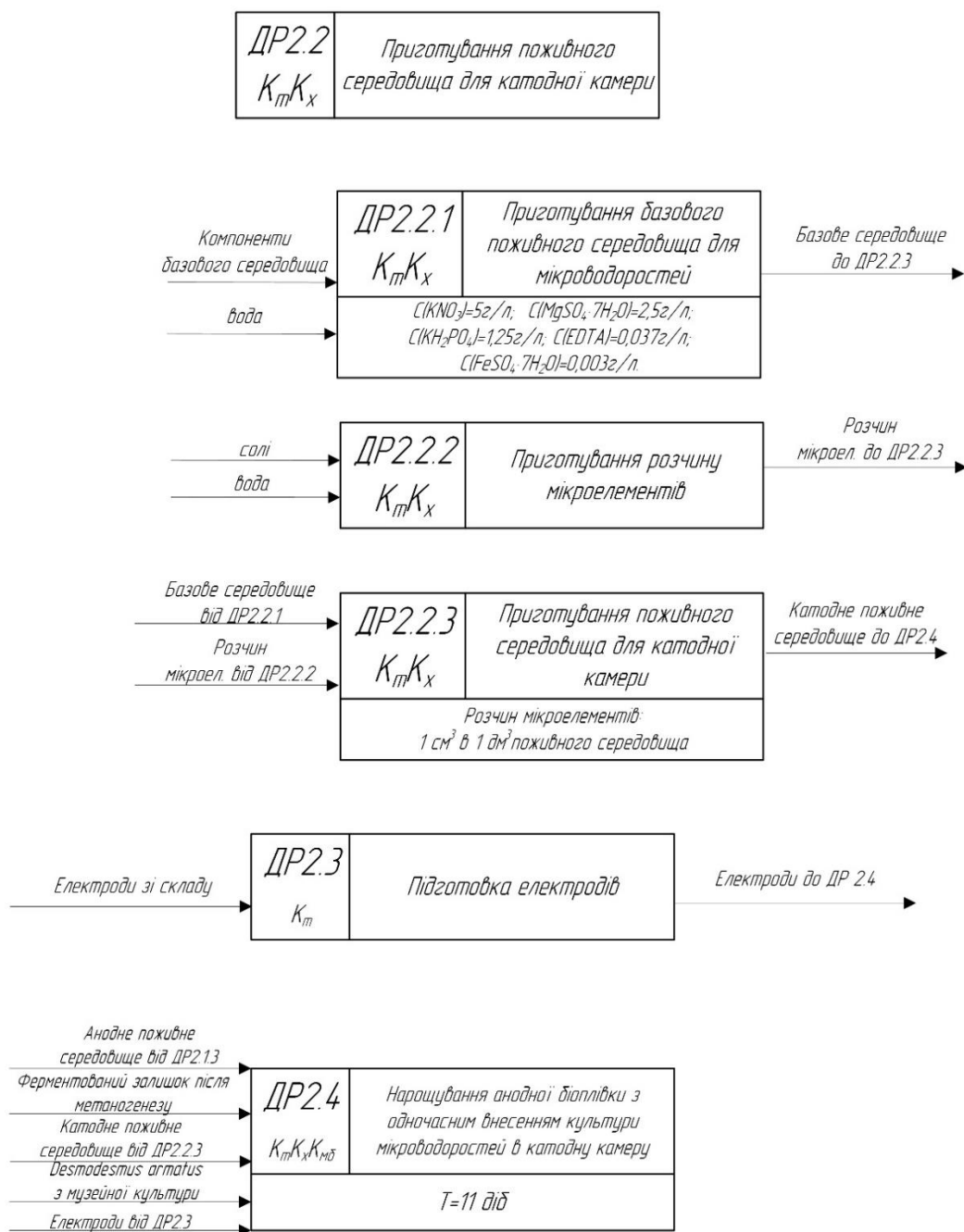


Рис. 2. Фрагмент технологічної схеми створення біопаливного елемента з біокатодом та біоанодом

Від ДР2.1.4



До ДР3

Рис. 2 (продовження). Фрагмент технологічної схеми створення біопаливного елемента з біокатодом та біоанодом

Від ДР2.4

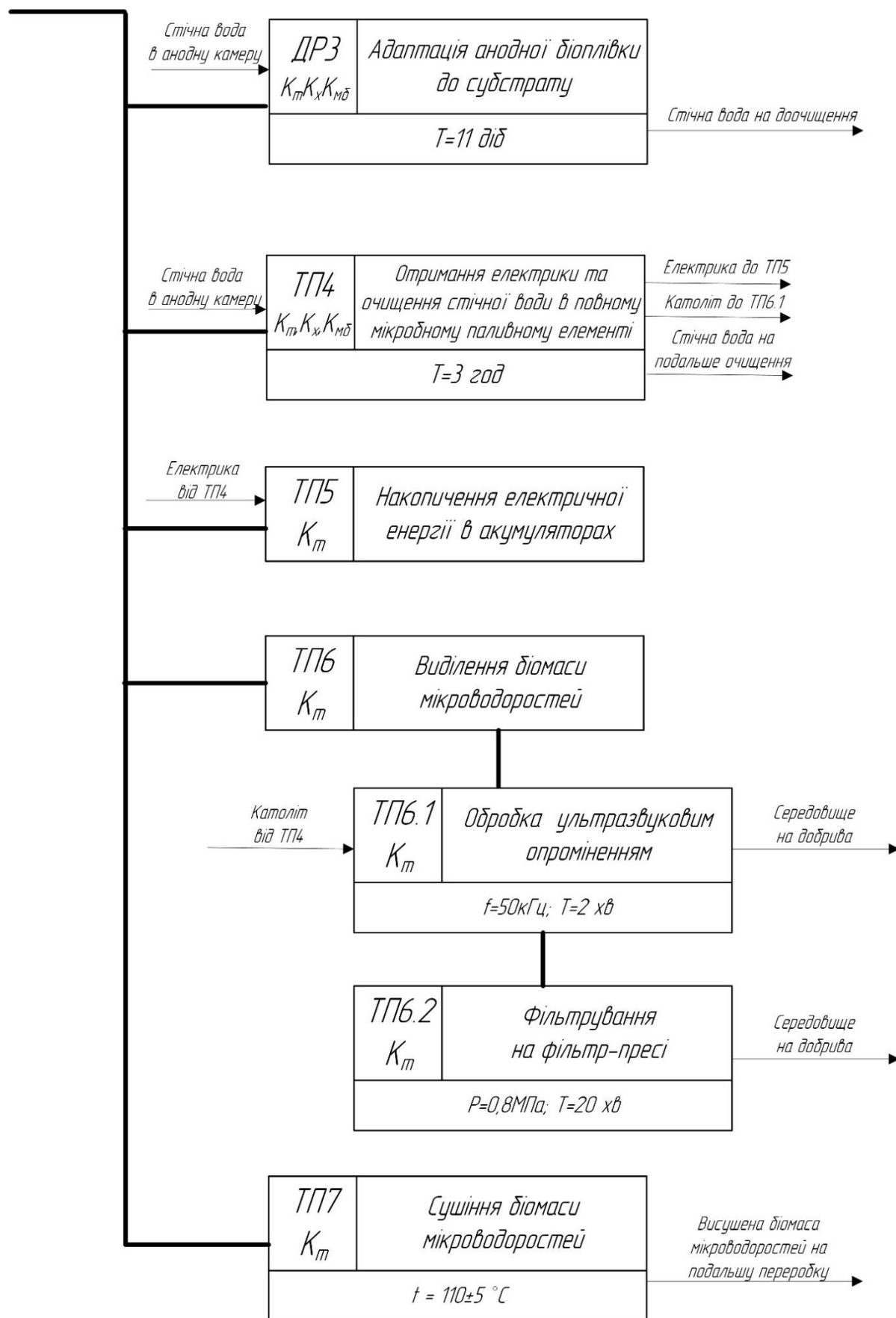


Рис. 2 (закінчення). Фрагмент технологічної схеми створення біопаливного елемента з біокатодом та біоанодом

Опис технологічної схеми створення біопаливного елемента з біокатодом та біоанодом

Технологічна схема створення БПЕ для отримання електричної енергії включає стадії:

ДР1. Санітарна підготовка виробництва

Під час санітарної підготовки виробництва відбувається підготовка обладнання, перевірка герметичності анодної камери, та інструктаж співробітників.

ДР 2. Формування анодної біоплівки з одночасним внесенням культури мікрободоростей

ДР 2.1. Приготування поживного середовища для анодної камери.

ДР 2.1.1. Приготування фосфатного буфера.

Приготування фосфатного буфера здійснюють з розрахунку досягнення концентрації г/дм³ наступних речовин: NaH_2PO_4 – 2,45; Na_2HPO_4 – 4,58; NH_4Cl – 0,31; KCl – 0,13. (рН = 6,1). Фосфатний буфер необхідний в анодній камері для уникнення підкислення, яке може відбутись внаслідок біоелектрохімічного перетворення субстрату екзоелектрогенними мікроорганізмами.

ДР 2.1.2. Приготування розчину мінералів та вітамінів.

Приготування розчину мінералів та вітамінів здійснюють за певною рецептурою. Мінерали та вітаміни в аноліті необхідні для нарощування біоплівки та перебігу метаболічних процесів мікроорганізмів.

ДР 2.1.3. Приготування поживного середовища для анодної камери.

Приготування поживного середовища для анодної камери проводять шляхом додавання фосфатного буфера, розчину мінералів та вітамінів (у співвідношенні 1:100 до аноліту), ацетату натрію (1 г на 1 дм³ анодної камери), FeCl_3 (з розрахунку 200 мкМ в аноліті).

ДР 2.2. Приготування поживного середовища для катодної камери.

ДР 2.2.1. Приготування основи поживного середовища для мікрободоростей. Склад середовища Тамія (в 1 г на 1дм³ катодної камери): 5 KNO_3 ; 2,5 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,25 KH_2PO_4 ; 0,037 EDTA; 0,003 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

ДР 2.2.2. Приготування розчину мікроелементів.

Приготування розчину мікроелементів здійснюють з розрахунку концентрацій (в 1 мг на 1 дм³ катодної камери): 2,86H₃BO₃; 1,81MnCl₂·4H₂O; 0,22ZnSO₄·7H₂O; 0,15Co(NO₃)₂·4H₂O; 2,3NH₄VO₃; 0,01CuSO₄·5H₂O.

ДР 2.2.3. Приготування поживного середовища для катодної камери.

До основи поживного середовища Тамія додають розчин мікроелементів за пропорцією 1:1000.

ДР 2.3. Підготовка електродів.

Готують каркас електродів із сітки з нержавіючої сталі. Після чого каркас обмотують вуглецевим волокном. Далі електроди промивають у воді та використовують в ДР 2.4.

ДР 2.4. Нарощування анодної біоплівки з одночасним внесенням культури мікроводоростей в катодну камеру.

В анодну камеру вносять ферментований залишок після метаногезу, що містить консорціум мікроорганізмів, зокрема екзоелектрогенів, та додають поживне середовище для анолізу підготовлене в ДР 2.1.3. Одночасно з цим здійснюють внесення поживного середовища Тамія для мікроводоростей з ДР 2.2.3 в катодну камеру та додають культуру мікроводоростей. В анодну та катодну камери вносять електроди, які уявляють собою каркас з сітки з неіржавіючої сталі, обмотані вуглецевим волокном підготовлені в ДР 2.3. В якості інокуляту в анодну камеру додають ферментований залишок після метаногенезу. В якості інокуляту в катодну камеру вносять культуру мікроводоростей *Desmodesmus armatus* за умов сонячного освітлення Тривалість стадії 11 діб. Приймаємо, що анодна біоплівка сформована, коли значення напруги не змінюються з часом. Це означає, що МПЕ готове до використання.

ДР 3. Адаптація мікроорганізмів до субстрату

Біопаливний елемент може бути застосований для доочищення стічних вод. Заміна поживного середовища, що містить ацетат натрію на стічні води необхідна для адаптації консорціуму мікроорганізмів до нового субстрату.

ТП 4. Отримання електрики в біопаливному елементі

В БПЕ з попередньо нарощеною анодною біоплівкою та акліматизованою культурою мікроводоростей на катоді з ДРЗ подають попередньо механічно очищені стічні води. Сформований консорціум в анодній біоплівці збагачений екзоелектрогенними мікроорганізмами шляхом біоелектрохімічного перетворення органічних сполук зі стічної води продукує електрони, які поступають на зовнішній електричний ланцюг біопаливного елемента. В катодній камері мікроводорості продукують фотосинтетичним шляхом кисень, який виступає кінцевим акцептором електронів, які надходять на катод з анода. Після біопаливного елемента стічну воду подають на подальше біологічне та фізикохімічне очищення.

ТП 5. Накопичення електричної енергії в акумуляторах

Електричну енергію, яка генерується в біопаливному елементі акумулюють на акумуляторах.

ТП 6. Відведення накопиченої біомаси мікроводоростей від католіту

Протягом функціонування БПЕ поступово збільшується біомаса мікроводоростей. Частину католіту біопаливного елемента замінюють на нову порцію субстрату, а нарощену біомасу мікроводоростей висушують для продажу як сировину багату на ліпіди, каротиноїди тощо.

ТП 6.1. Обробка ультразвуковим опроміненням.

За допомогою насосу частину католіту з мікроводоростями перекачують у збірник, в якому проводять обробку ультразвуковим опроміненням частотою 50 кГц тривалістю 2 хв задля збільшення швидкості осадження. Надосадову рідину подають завдяки насосам на очищення.

ТП 6.2. Фільтрування на фільтр-пресі.

Осад мікроводоростей з ТП 7.1 подають на фільтр-прес, на якому видаляють частину вологи з осаду після чого подають на подальше висушування.

ТП 7. Сушіння біомаси мікроводоростей

Після видалення вологи з осаду, проводять подальше висушення біомаси в сушарках. В сушарках підтримують температуру 110 ± 5 °C для видалення

вологи. Висушену біомасу мікроводоростей відправляють на подальшу обробку для отримання речовин з додатковою вартістю або для використання в якості добрив.

1.4. Виробництво екстракційних препаратів

Біомаса рослин є джерелом сировини для отримання біологічно активних речовин. З рослинної сировини виготовляють екстракційні препарати, які за технологією отримання можна розділити на 3 групи:

- *сумарні (галенові) препарати;*
- *новогаленові (максимально очищені) препарати;*
- *препарати індивідуальних речовин.*

Оснoву виробництва екстракційних препаратів складають процеси екстракції (екстракція – від лат. *Extractio* – вилучення). З рослинної сировини готують настойки, екстракти рідкі, густі і сухі, екстракти-концентрати, новогаленові препарати, витяжки з свіжих рослин. З сировини тваринного походження – препарати гормонів, ферментів, препарати неспецифічної дії.

Розрізняють екстрагування в системі тверде тіло – рідина, та в системі рідина – рідина (використовують для виробництва та очистки максимально очищених препаратів та індивідуальних речовин).

Екстрагування – процес розділення суміші рідких або твердих речовин за допомогою селективних розчинників (екстрагентів). Процес екстракції включає три послідовні стадії:

- змішування вихідної суміші речовин з екстрагентом;
- механічне розділення (розшарування) двох фаз, що утворюються;
- видалення екстрагенту з обох фаз та його регенерацію з метою повторного використання.

Після механічного розділення одержують розчин речовини, що вилучається, в екстрагенті (екстракт) і залишок вихідного розчину (рафінад) або твердої речовини. Виділення екстрагованої речовини з екстракту і одночасна

регенерація екстрагенту відбувається за допомогою методів дистиляції, випаровування, кристалізації, висолювання тощо.

Перевагами процесу екстракції є:

- низькі робочі температури;
- рентабельність вилучення речовин з розведених розчинів;
- можливість розділення сумішей, що складаються з речовин, які мають близькі температури кипіння, і азеотропних сумішей;
- можливість використовувати інші технологічні процеси (ректифікацію, кристалізацію);
- простота апаратури, доступність її автоматизації.

Недоліки процесу – іноді неможливо повне видалення екстрагенту з речовини, що екстрагується.

Природа екстрагенту. Екстрагент повинен задовольняти наступні вимоги:

- селективність – максимально розчиняти речовину або комплекс речовин і мінімально баластні речовини;
- змочуваність – добре змочувати рослинний матеріал і мати десорбційні властивості для проникнення через стінки клітин;
- хімічна індиферентність – не взаємодіяти з речовиною і не змінювати властивостей речовини, що вилучається;
- безпечність з точки зору техніки безпеки – нетоксичний для людини, вибухо- та пожежобезпечний;
- економічно вигідний.

Основні екстрагенти, що використовуються в процесі промислової екстракції, та їхні властивості наведені у табл.4

Препарати, що одержують за допомогою екстракції

Настоянки

Настоянки – це забарвлені спиртові або водно-спиртові витяжки з рослинної сировини, отримані без нагрівання та видалення екстрагенту. При виготовленні настоянок з однієї вагової частини рослинної сировини отримують п'ять частин готового продукту, в окремих випадках 1:10. За складом поділяються

на прості і складні (з декількох рослин). Способи виготовлення: мацерація і її різновиди; перколяція, розчинення густих і сухих екстрактів.

Таблиця 4. Найпоширеніші екстрагенти, які використовують для вилучення речовин з рослинної сировини

Розчинник	Властивості та використання розчинників
Вода	Добре проникає в пори і розчиняє речовини (солі алкалоїдів, глікозиди, дубильні речовини тощо), індиферентна, не горюча, дешева. Недолік – не розчиняє гідрофобні речовини (олії, смоли, кумарини), має великий поверхневий натяг, не має антисептичних властивостей, викликає гідролітичне розщеплення речовин, особливо при підвищеній температурі.
Етиловий спирт	Найбільш розповсюджений після води, розчиняє речовини, що нерозчинні у воді (жири, алкалоїди, хлорофіли, ефірні олії, смоли тощо), антисептик, інактивує ферменти (перешкоджає гідролітичним процесам, що відбуваються в сировині), дешевий, спиртові витяжки добре згущаються і висушуються. Має більш широкий діапазон дії ніж вода, а його властивість як екстрагенту залежить від концентрації (так, при 70 % концентрації витяжки вільні від біополімерів (білків, пектинів тощо). Недолік – вогне- і вибухонебезпечний, фармакологічно неіндиферентний.
Ацетон	Розчиняє багато органічних речовин (ацетилцелюлозу і нітроцелюлозу, віск, гуму та ін.), а також ряд солей (хлорид кальцію, йодид калію). Використовується для екстракції алкалоїдів, смол, олій.
Етиловий ефір	Застосовується як розчинник нітратів целюлози (у тому числі у виробництві бездимного порошу), тваринних і рослинних жирів, природних та синтетичних смол, алкалоїдів. У суміші з етилацетатом використовується для вилучення флавоноїдів. Недолік – пари отруйні, вогне- і вибухонебезпечний.
Хлороформ	Використовується для екстракції агліконів серцевих глікозидів, алкалоїдів, сапонінів, ефірних олій, жирів, воску, смол. Не розчиняє білки, пектини, цукри, мінеральні речовини та інші гідрофільні речовини. Не горючий і не вибухонебезпечний. Недолік – отруйний.
Метанол	Розчиняє солі алкалоїдів, серцеві глікозиди, антраглікозиди, сапоніни, фурукумарини, вітаміни С, К, Р, РР, органічні кислоти, солі, цукри. Використовується для виробництва кумаринів. Недолік – сильна отрута.
Зріджені гази	Бутан, суміш бутану та пропану, хладон С318 (найбільш селективний для ефірних олій). Використання зріджених газів скорочує час екстракції та виключає вплив високих температур на стадії концентрування. Мають низьку в'язкість, що підвищує швидкість дифузійних процесів, хімічно індиферентні.
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	До ПАР відносяться органічні речовини, до складу яких входять як вуглеводневі ланцюги, так і полярні групи (-ОН, -COOH, -NH ₂). Застосовуються для підвищення швидкості процесу екстракції при додаванні до екстрагенту. Підвищення швидкості екстракції під час застосування ПАР відбувається за рахунок зниження поверхневого натягу на межі поділу фаз, збільшення змочуваності розчинником та глибини його проникнення в клітину, також може підвищуватись розчинність речовини, що екстрагується. Для вилучення алкалоїдів застосовуються ПАР катіонного типу, для глікозидів – неіоногенні ПАР, аніонного типу ПАР не використовуються, оскільки викликають осадження речовини, що екстрагується.

Екстракти

Екстракти – це концентровані витяжки з рослинної сировини. В залежності від консистенції бувають: рідкі, густі і сухі; а від екстрагенту, що використовується: водні, спиртові, ефірні, олійні, та отримані за допомогою зріджених газів.

Рідкі екстракти отримують методами перколяції, реперколяції, часткової мацерації. Найкращі за якістю екстракти отримують без додаткового випарювання. Реперколяцію проводять в батареї апаратів (від 3 до 10). При реперколяції сировина в наступних перколяторах екстрагується витяжками з попередніх, свіжий екстрагент подає в перший перколятор. Рідкі екстракти також можуть бути отримані шляхом розчинення сухих або густих з наступною очисткою.

Густі екстракти – в'язкі маси з вологістю не більше 25 %, входять до складу сиропів, мікстур, еліксирів і є напівпродуктами для настоянок та пігулок. Виробництво включає наступні стадії:

- отримання витяжки (перколяція, реперколяція, циркуляційне екстрагування, безперервне протиточне екстрагування за допомогою ультразвуку);
- очищення (кип'ятіння, адсорбція, очищення 95 % етанолом);
- згущення.

Сухі екстракти – сипучі речовини з вологістю не більше 5 %. Недолік – гігроскопічність.

Олійні екстракти – продукти з рослинної сировини, отримані за використання рослинних та мінеральних олій.

Ефірні олії

Завдяки можливості бути перегнаними з водяним паром та летючості вони називаються ефірними, а за схожість з жирними оліями – оліями. Слабо розчиняються у воді, добре – в органічних розчинниках, рослинних і тваринних жирах. Їх отримують з рослинної сировини з рослин-ефіроносів: квітів, листя, хвої, шкірки плодів, коренів і кореневищ, плодів, кори, деревини. Вміст ефірних олій коливається від 0,1 % (троянда, фіалка) до 20 % (в бруньках гвоздики). Число компонентів в ефірній олії одного виду рослини може досягати сотні видів. Назва

олії походить від назви рослини (за виключенням цитрусових). Олію з листків цитрусових називається петигреневою, з квітів – неролієвою, з плодів – по назві рослин. Отримують олії зі свіжої сировини (лаванда, герань), прив'яленої (м'ята), або сухої (корені айру, ірису), або попередньо ферментованої (троянда).

Ефірні олії використовують в медицині, фармацевтичній, харчовій та парфумерній промисловості. Відомо декілька тисяч ефірних олій. Це суміші пахучих речовин, які відносяться до різних класів органічних сполук (переважно терпеноїди, рідше ароматичні та аліфатичні сполуки). Рослинами ефірні олії використовуються для захисту від шкідників та тварин, для закриття ран в деревині і запобігання зараження грибковими захворюваннями, для приваблювання комах-опилювачів.

Методи одержання ефірних олій

Для цитрусових застосовують метод пресування. Олія, що залишається в шкірці, вилучають методом *гідродистиляції* – перегонка з водяним паром (температура біля 100 °C). Використовується у випадку збагаченої ефірними оліями сировини. Температура перегонки не позначається на якості готового продукту. Перегонку здійснюють в перегонних апаратах безперервної або періодичної дії. Дистилят (суміш води і ефірної олії) охолоджують у холодильнику і відділяють декантовану олію. Дистиляційні води переганяють повторно. При цьому отримують одночасно запашну воду. При перегонці з паром можна використовувати окремі види рослин як в сирому, так і в сухому вигляді. Час процесу – біля 2 годин.

Метод екстракції потребує більш складної апаратури та очищеного розчинника (етилен, бензол, хлороформ, метиловий спирт, ацетон, петролейний ефір). При екстракції сировину заливають раз або декілька раз розчинником, після насичення пахучими речовинами зливають, із зливої витяжки (міцели) під тиском видаляють розчинник. Олії, що отримані у такий спосіб, називаються екстракційним або пахучим воском. Розчинник екстрагує з рослин не тільки ефірні масла, а й віск, парафіни, жири. Перші продукти екстракції називаються конкретами, вони не повністю розчиняються в спирті. Для звільнення від баластних речовин їх ще раз

екстрагують етиловим спиртом і отримують абсолютні олії. Ефірні олії, екстраговані органічними розчинниками, не можна вживати перорально.

До екстракційних способів відноситься і мацерація квіткової сировини жирами (яловичий, свинячий жири, оливкова олія, іноді парафін). Метод анфлеражу використовують для сировини з низьким вмістом ефірних олій (жасмін, конвалія). Метод засновано на здатності ефірних олій, що виділяються рослинами, переходити в газову фазу, з якої їх можна адсорбувати жирами і сорбентами. Процес проводять на спеціальних рамах – шасі, зібраних у батарею. Посередині батареї – пластинка з нанесеним сорбентом (жир, олія). На адсорбент розстилають квіти і залишають на 1–3 доби (процес повторюють до 30 разів). Жир (квіткова помада) зішкрібають, з нього ефірні олії вилучають спиртом, виморожують, фільтрують і отримують чистий продукт. Спосіб вельми дорогий.

На сьогодні використовується метод динамічної сорбції, який базується на принципі методу анфлеражу. Через сировину продувається гаряче повітря, яке захоплює пари ефірних олій, які переносяться на силікагель або активоване вугілля, з якого виділяють чисту олію.

Препарати біологічно активних речовин

Препарати біогенних стимуляторів викликають активізацію захисних сил організму, головним чином ферментних систем, імунобіологічної реактивності, нормалізацію гормональних функцій. В Україні на Одеському ВО «Біостимулятор» створено великі потужності поточного промислового виробництва препаратів біогенних стимуляторів рослинного, тваринного та мінерального походження. Наприклад, з рослинної сировини: для виготовлення екстракту алое рідкого використовують нижнє листя дворічної рослини, для біостимулювання залишають в темряві на 10–12 діб при температурі від +4 до +8 °С, подрібнюють і заливають водою, настоюють протягом 2 годин, кип'ятять і відфільтровують від твердої фази. З тваринної сировини: скловидне тіло отримують з біостимульованих очей (за Філатовим) великої рогатої худоби (ВРХ).

Сучасні *препарати зі свіжої сировини* відносять до двох груп – соки і витяжки. Препарати зі свіжезрізаних рослин містять весь комплекс БАР, що

входить до складу рослини в найбільш природному стані, оскільки під час сушіння та зберігання БАР піддаються змінам, наприклад, кількість глікозидів і ефірних олій зменшується при зберіганні сухої сировини. В промислових масштабах для виробництва ферментних препаратів використовують наступну сировину:

- плоди динного дерева – папаїн, хімопапаїн;
- плоди та листя інжиру – фіцін;
- плоди, стебла, відходи переробки ананасів – бромелін;
- картоплю – кисла фосфатаза;
- коріння хрину – пероксидаза;
- насіння чорнушки – ліпаза;
- столові гарбузи – уреаза (використовується для апарату «штучна нирка»);
- проростки пшениці – β -амілаза;
- насіння гороху – β -галактозидаза;
- насіння рапсу – інгібітор ліпази.

1.5. Отримання базових хімічних сполук з рослинної сировини

При зростанні ціни на нафту відбувається швидке зростання цін на базові хімічні продукти та вироби з них. Зокрема, при підвищенні ціни на нафту на 70 % відбувається подорожчання етилену на 42 %, пропілену і бензолу – на 70 %, бутадієну – на 56 %, для полімерів – поліетилену і терефталевої кислоти – від 25 до 30 %. При вже існуючих цінах на нафту і песимістичних прогнозах на майбутнє хімічні речовини, що одержані з біомаси та продукти з них, стають економічно вигідними і конкурентоспроможними.

Промисловість США для виробництва хімічних речовин використовує майже 17 % загального споживання нафти. Ця цифра є типовою для країн з розвинутою хімічною промисловістю. Така кількість нафти може бути на 2/3 замінена на сировину з відновлювальних джерел, а продукція її переробки задовольнити значну частку потреб ринкового попиту й асортименту.

На рис. 3 наведено перелік продуктів, які можна отримати з деревини за використання різних процесів переробки.

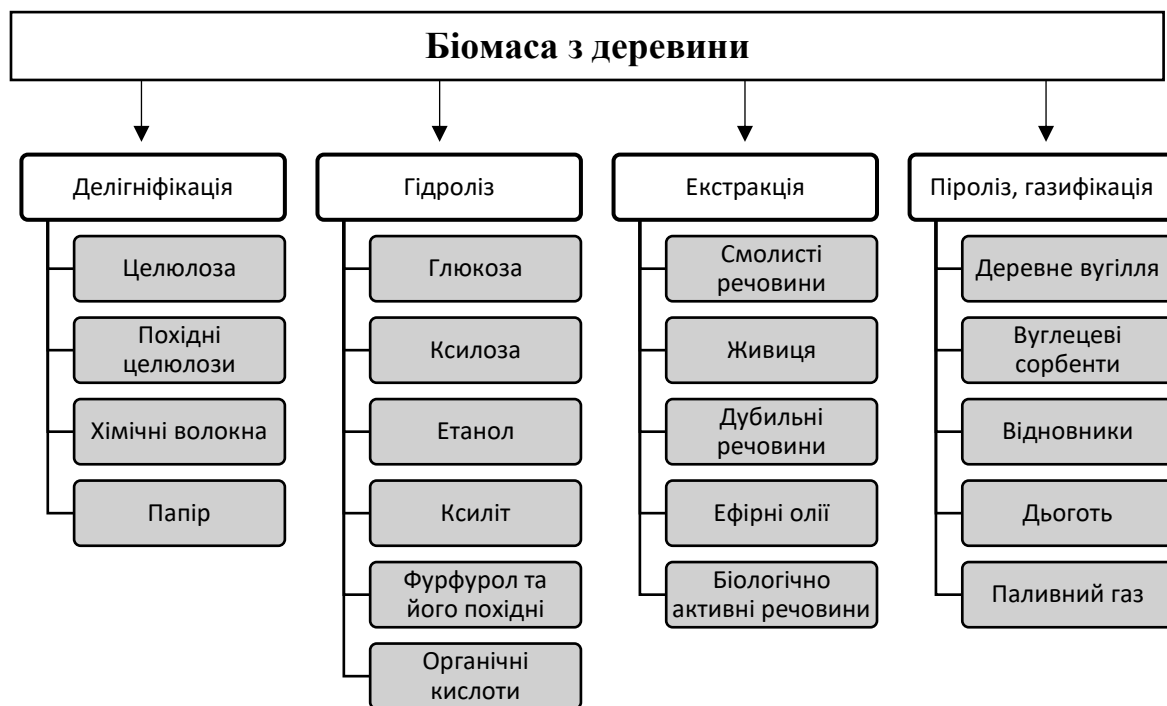


Рис. 3. Промислові процеси за яких можна отримати різні продукти з деревини

Для переробки біомаси у хімічні речовини використовують процеси: ферментація цукрів у спирти і кислоти, гідроліз вуглеводів, гідрування чи окиснення, піроліз до структурних фрагментів або газифікація з частковим окисненням, або парокиснева конверсія з утворенням синтез-газу з наступною переробкою у відомі продукти. Завдяки цим технологіям можна отримати «базові» хімікати і в процесі подальшої переробки застосувати також вже існуючі процеси органічного синтезу. Також є необхідним створення нових конкурентоспроможних технологій та нових продуктів, що можуть замінити існуючі.

У промисловості гідроліз деревної сировини, зазвичай, здійснюється розбавленою сульфатною кислотою (0,4–0,7 %) при температурі 180–190 °C і тиску 0,6–1,5 МПа. Вихід цукрів при цьому складає 40–50 % від маси початкової сировини. Мінеральна кислота взаємодіє з вуглеводною складовою лігноцелюлозної сировини з утворенням оксонієвих сполук, наступна деструкція яких приводить до утворення цукрів з низькою молекулярною масою.

Іонні рідини дають змогу істотно зменшити кількість відходів у процесі вилучення целюлози з пульпи та ефективно відділити її від лігніну. Нещодавно

було знайдено метод вилучення із зернової лузги (comhusk) целюлози, яка має проміжні властивості між бавовною і льоном. За розрахунками, можна використати понад 9 млн т за рік таких целюлозних волокон для виробництва широкого кола промислових виробів, скоротити площі під бавовною та замінити частку синтетичних волокон, що виробляються на сьогодні з нафти.

Глюкоза є ключовою сполукою, на основі якої може бути отриманий широкий асортимент речовин. На рис. 4 наведено різноманітні хімічні сполуки, які можна отримати з целюлозної складової деревини.

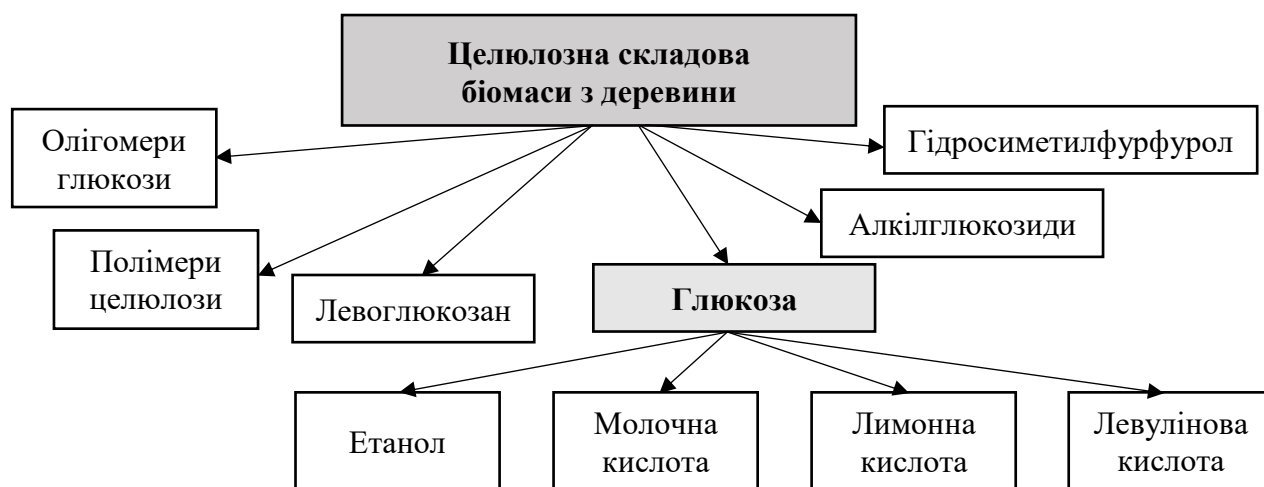


Рис. 4. Хімічні продукти, що можна одержати з целюлозної складової рослинної біомаси

Високий вихід левоглюкозану досягають при високошвидкісному нагріві деревини до 360–400 °С в потоці перегрітої водяної пари і карбон (IV) оксиду. За використання деревини хвойних або листяних порід, які попередньо оброблені розбавленим розчином сульфатної кислоти, вихід левоглюкозану досягає 30–50 % у розрахунку на целюлозу при тривалості термічної обробки сировини декілька секунд. Максимальний вихід левоглюкозану (50 %) спостерігається за використання твердих порід дерев, зокрема, берези. Технічний левоглюкозан має чистоту 91–92 %.

Завдяки наявності 1,6-ангідроциклу, здатного легко розщеплятися, а також трьох гідроксильних груп, левоглюкозан можна застосовувати для синтезу різноманітних низькомолекулярних сполук, реакційноздатних олігомерів і полімерних продуктів (полієфірів, поліуретанів).

Основними рідкими продуктами термокаталітичного розщеплення деревини у проточних умовах є метанол, ізопропанол, фурфурол, оцтова кислота, левоглюкозенон, оксиметилфурфурол, моно- і олігосахариди. У автоклавних умовах утворюється левулінова кислота, в продуктах реакції відсутні левоглюкозенон і гідроксиметилфурфурол.

З полісахаридів за використання різноманітних реакцій можливе отримання бажаних кінцевих продуктів. Наприклад, одержання алканів з числом атомів карбону C7–C13 з вуглеводів за використання дегідратації за наявності кислотних каталізаторів і наступної альдольної конденсації надтвердим лужним каталізатором. Синтезовані таким чином кисеньвмісні органічні молекули можна перетворити до алканів у реакціях дегідратації – гідрування над біфункціональним каталізатором у водному розчині (рис. 5). Синтезовані у такий спосіб вуглеводні містять 90 % енергії вихідних вуглеводів і використаного для їх синтезу водню. Водень для такого процесу можна отримати риформінгом сорбіту у водній фазі. Утворення гідрофобних алканів з вуглеводів у водному середовищі забезпечує легке їх вилучення з реакційної маси.

Фурфурол

При переробці сільськогосподарських рослинних відходів (кукурудзяні початки, вівсяне та рисове лущиння тощо) на стадії гідролізу застосовується 8–10 % розчин сульфатної кислоти. Стадія процесу одержання фурфуролу проводиться при температурі 110–170 °C протягом 60–150 хвилин. При використанні в якості сировини листяної деревини застосовується концентрована 93 % сульфатна кислота. В цьому випадку процес одержання фурфуролу проводиться при 150–160 °C протягом 90 хвилин. Як каталізатори використовують в основному кислі солі фосфатної кислоти, а також нітрат і хлорид амонію. У табл. 5 наведено вихід фурфуролу за використання різних видів сировини.

Фурфурол є сировиною для синтезу фурану, сильвіну, фурфурилового спирту, тетрагідрофурану, фуранових смол, лікарських речовин (наприклад, фурациліну) і пестицидів, є екстрагентом при очищенні нафти і рослинної олії від

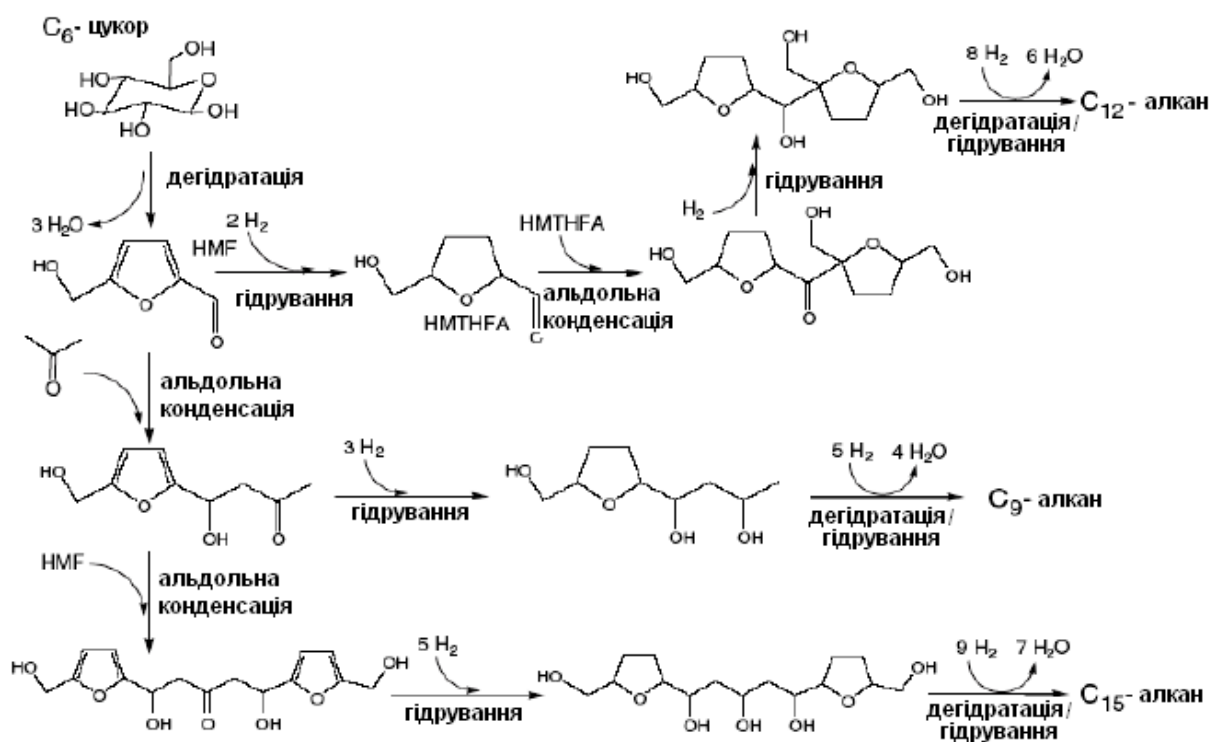


Рис. 5. Процеси одержання алканів з вуглеводів: НМФ – гідроксиметилфурфурол, НМТНФА – 5 – (гідроксиметил) тетрагідрофуран-2-карбальдегід [1]

вуглеводів. Особливість фурфуролу полягає в автоокисненні з утворенням мурашиної і 2-формілакрилової кислот. В залежності від умов окиснення фурфуролу утворюються різні продукти: суміш малеїнової кислоти і малеїнового ангідриду (200–400 °С, каталізатор V₂O₅), пірослизева кислота (50 °С, каталізатор Ag₂O, лужне середовище), суміші 3-гідроксіпірослизевої кислоти і 3-гідроксифурфуролу (H₂O₂, 40 °С), фумарова кислота (нагрівання з NaClO₃, каталізатор V₂O₅).

Таблиця 5. Вихід фурфуролу за використання різних видів сировини та сольових каталізаторів

Вид сировини	Каталізатор, мас. % від маси сировини	Вихід фурфуролу	
		мас. % від маси сировини	мас. % від теоретичного
Одубіна (тріска фракції 3–7 мм)		6,2	46,4
	Подвійний суперфосфат 3,1	8,6	64,3
	Аміачна селітра 2,0	8,9	66,5
	Хлорид амонію 2,0	9,5	71,0
Березова деревина (тирса фракції 2–5 мм)	Дигідрофосфат амонію 3,0	8,7	61,3
	Аміачна селітра 3,0	9,2	64,8
	Хлорид амонію 3,0	10,2	71,8
Кукурудзяні качани	Подвійний суперфосфат 3,0	17,5	77,7

Декарбонілювання фурфуролу з наступним гідруванням дає розчинник тетрагідрофуран. Подальші процеси переробки дозволяють отримувати через сільван (метилфуран) ацетопропіловий спирт, що використовується для синтезу вітаміну В₁. Внаслідок гідролізу тетрагідрофурану утворюється 1,4-бутандіол – сировина для синтезу сучасних полімерів типу лайкри і спандекса (поліуретани). З 1,4-бутандіолу можуть бути отримані також і мономери, наприклад, адипонітрил і гексаметилендіамін. Естери фуран-2-карбонової кислоти застосовують як ароматизатори із запахом карамелі, зелені, грибів.

Гідроліз вуглеводів за жорстких умов приводить до утворення продуктів деградації цукрів біомаси з утворенням фурфуролу з 5-вуглецевих і гідроксиметилфурфуралу з 6-вуглецевих цукрів (рис. 6). Для таких перетворень, як правило, використовують відходи переробки зернових культур та соняшнику. Технологія є конкурентноспроможною з нафтохімічною.

При гідролізі сахарози в двофазній системі вода – бутанол основними продуктами, що утворюються, є естери левулінової кислоти (1) і гідроксиметилфурфуролу (2) (рис. 7) з виходом до 60–70 мас. %. Використання як екстрагентів ізоамілового, ізобутилового, амілового і октилового спиртів також дозволяє отримувати похідні левулінової кислоти і гідроксиметилфурфурола, але з меншими виходами.

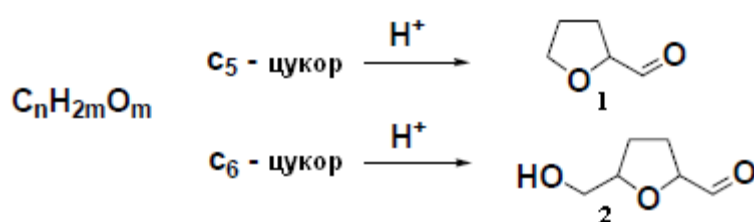


Рис. 6. Утворення фурфуролу (1) з 5-вуглецевих і гідроксиметилфурфуралу (2) з 6-вуглецевих цукрів

На сьогодні вивчаються процеси синтезу з левулінової кислоти біологічно активних сполук (8-амінолевулінової кислоти для одержання пестицидів і гербіцидів) і інших важливих продуктів (наприклад, метилтетрагідрофурану – високооктанової добавки до моторних палив).

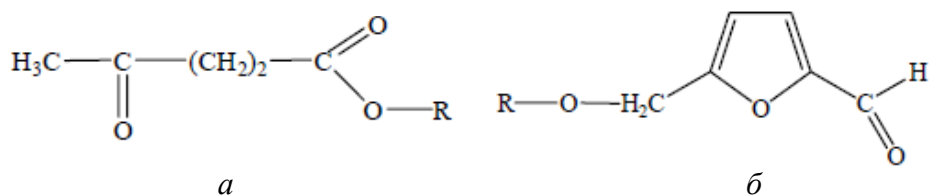


Рис. 7. Продукти, що утворюються при гідролізі сахарози у системі вода – бутанол:
a – естер левулінової кислоти; *б* – гідроксиметилфурфурол

Спирти

Гідруванням цукрів біомаси можна отримати різні природні спирти, зокрема сорбіт з глюкози, ксиліт з ксилози, лактилол з лактози тощо. Усі вони використовуються у харчовій і фармацевтичній промисловості. Процеси гідрування для одержання цукрових спиртів можна регулювати і одночасно одержувати низькомолекулярні поліоли – етиленгліколь і гліцерол. Ксиліт, сорбіт і подібні полігідроксильовані цукри з біомаси є перспективними продуктами, насамперед, для полігідроксисполук, які можуть бути вихідними речовинами для біополімерних матеріалів, добавками, розчинниками тощо. Цукрові спирти, наприклад, додають жорсткості поліетилентерефталату (ПЕТ), що використовується у виробництві контейнерів і пляшок.

На рис. 8 наведено речовини, які можна одержати при конверсії вуглеводів, одержаних з рослинної сировини.

У рослинній сировині міститься також лігнін, вміст якого у деревині може досягати 30 %. Побічним продуктом целюлозно-паперових і гідролітичних виробництв є технічні лігніни. На сьогодні відсутні конкурентоспроможні технічні рішення їх утилізації. При окиснювальній або відновній деструкції лігніну можна одержати різні ароматичні і фенольні сполуки, ароматичні альдегіди є сировиною для харчової, фармацевтичної і парфумерної галузей промисловості. Наприклад, бузковий альдегід використовується для виробництва триметоксибензальдегіда, з якого синтезується триметоприм – компонент бактрима, бисептола і інших фармацевтичних препаратів. Ванілін утворюється з лігнінів хвойних порід дерев, тоді як при окисненні лігнінів листяних порід утворюється суміш ваніліну і бузкового альдегіду з більшим виходом останнього.

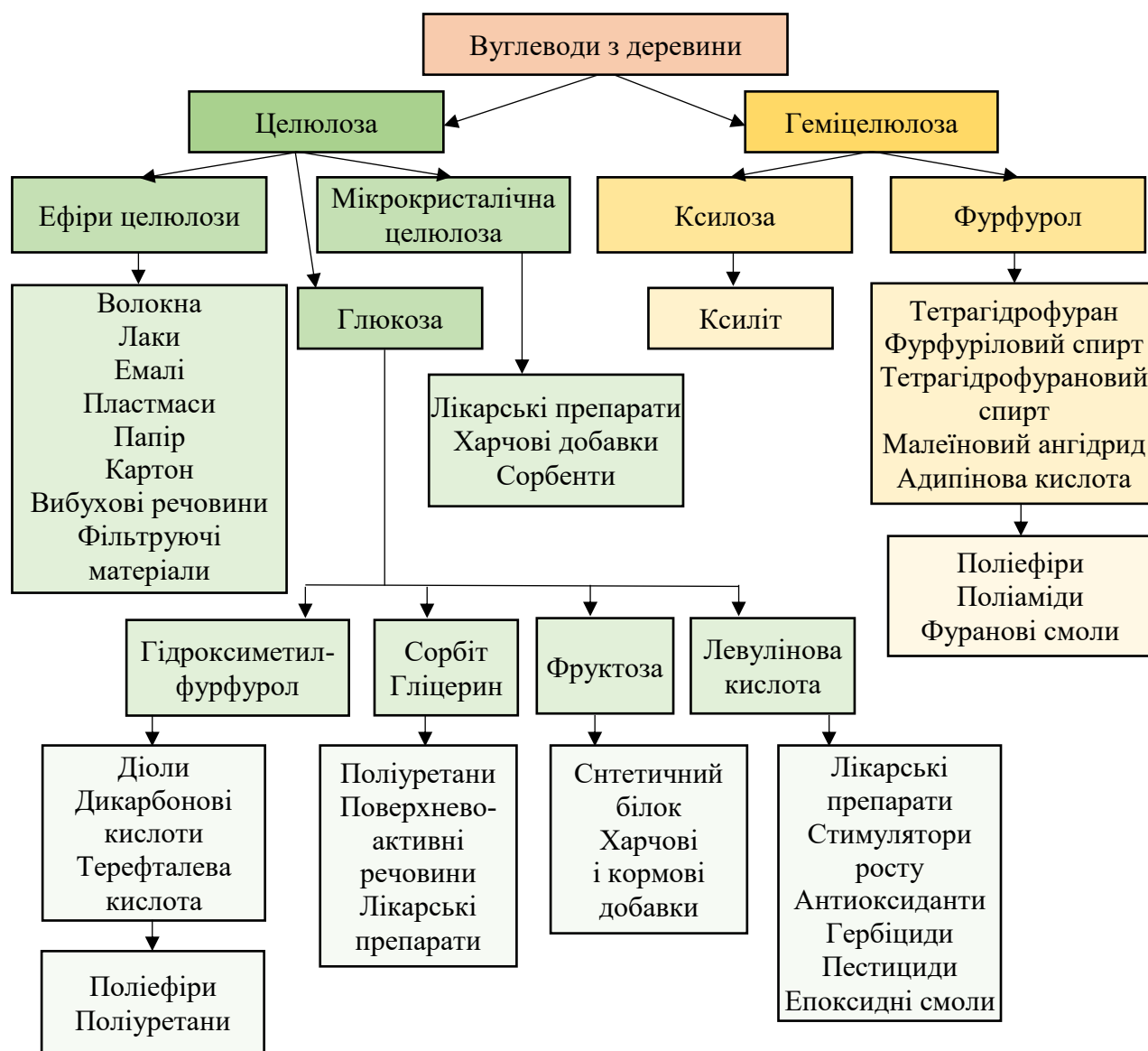


Рис. 8. Продукти, які можна отримати при переробці вуглеводів [1]

Найбільш селективним окисником для отримання ароматичних альдегідів з лігніну є нітробензол. За його застосування з лігнінів листяних порід дерев можна одержати вихід ароматичних альдегідів до 40–50 мас. %.

На відміну від первинних метаболітів, які накопичуються у насінні або вегетативних органах рослин і становлять основний інтерес для виробництва (олія, крохмаль, целюлоза тощо), вторинні метаболіти рослин можуть бути аттрактантами для запилення, регулюють стійкість до стресу, виступають як компоненти захисту проти мікроорганізмів, шкідників тощо. Вторинні метаболіти все більше привертають увагу як хімічні речовини для різних галузей

промисловості, наприклад, глюкозида, алкалоїди, стероїди, ароматичні речовини, харчові добавки і пестициди.

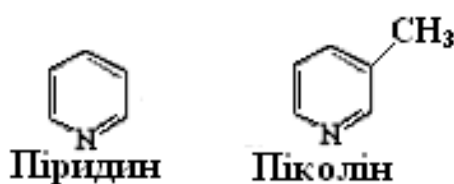
1.6. Біотехнології переробки біомаси в хімічні речовини

Інший напрям сучасного отримання хімічних речовин з біомаси є процес ферментації, який використовують для виробництва етанолу, бутанолу, ацетону, лимонної та молочної кислот. З отриманих ферментацією вихідних базових хімічних речовин можна синтезувати низку вторинних продуктів – ацетальдегід, бутадієн, етил- та вінілацетати, бутанол і бутилацетат, піридин і піколін тощо.

У країнах, що розвиваються, впроваджено виробництво хімічних речовин з біоетанолу, який одержують ферментацією. Наприклад, в Індії і Бразилії працює понад 20 заводів, які покривають потребу країн у ацетальдегіді, етилацетаті, оцтовому ангідриді. З ацетальдегіду виробляють також бутандіол через проміжний кротоновий альдегід (використовується для синтезу вітаміну Е), який синтезують шляхом альдольної конденсації:



В Індії з ацетальдегіду також отримують піридин і піколін, який іде на виробництва нікотинаміду та нікотинової кислоти



Генетична інженерія дала змогу істотно знизити вартість етанолу, що виробляється з біомаси. Дослідження спрямовано як на створення нових генетично модифікованих мікроорганізмів, які були б здатні переробляти на етанол пентозанову складову (ксілоза, арабіноза – 30 % маси цукрів) з відходів сільськогосподарського виробництва, так і на використання мікроорганізмів, здатних безпосередньо переробляти цукри біомаси на ацетальдегід, який має температуру кипіння 21 °C і завдяки цьому легко відганяється з реакційної маси. Ацетальдегід можна окиснити до оцтової кислоти або відновити до етанолу з істотним

скороченням енергетичних витрат порівняно з дистиляцією спирту. Використання штамів культури *Zimomonas mobilis* дає змогу отримати ацетальдегід з виходом до 55 % використаної глюкози. Метаболічні шляхи одержання етанолу та ацетату з глюкози наведено на рис. 9.

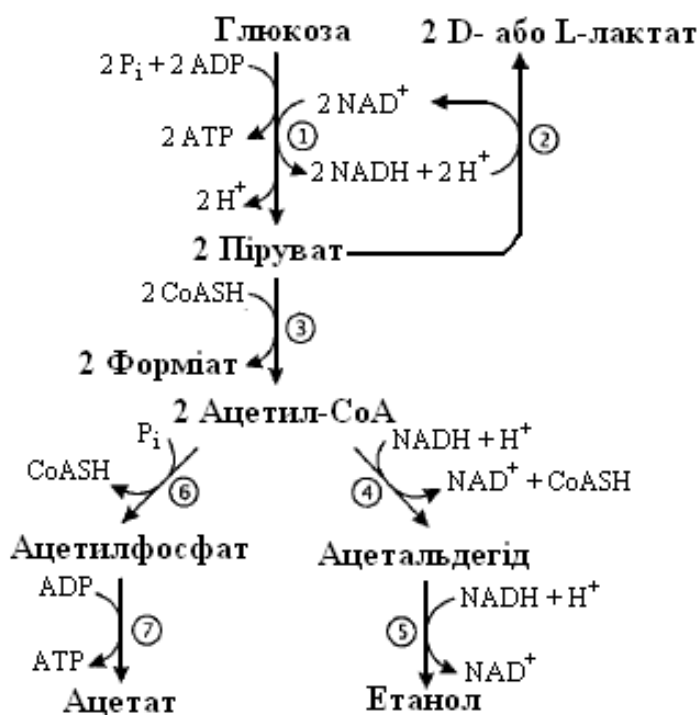


Рис. 9. 1 – шлях Ембдена-Маєргофа; 2 – D- або L-лактатдегідрогеназа; 3 – піруват: форміат-ліаза; 4 – ацетальдегідгидрогеназа; 5 – алкогольдегідрогеназа; 6 – фосфат-ацетилтрансфераза; 7 – ацетаткіназа [1]

Ферментативне виробництво суміші ацетон-етанол-бутанол як добавки до моторного палива існувало до 1980-х років у Південній Африці. Така суміш добре змішується з бензином і соляркою навіть за наявності деякої кількості води. Для її виробництва з меляси або іншої цукровмісної біомаси застосовуються штами анаеробних бактерій роду *Clostridium* (*Clostridium pasteurianum*, *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium kluyveri*). Процес відбувається в анаеробному середовищі за температури 33–35 °C, pH – не контролюється. Схема одержання суміші ацетон-етанол-бутанол наведена на рис. 10.

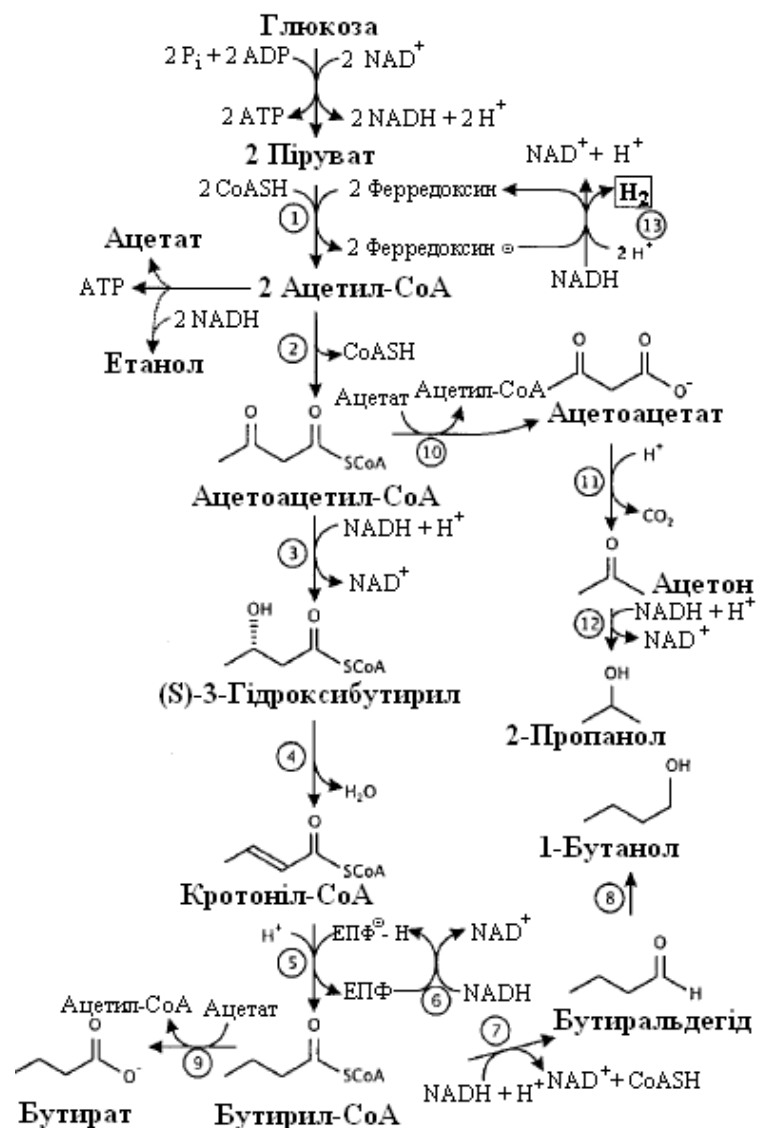


Рис. 10. Схема метаболізму глюкози з одержанням суміші етанолу, ацетону та бутанолу:
 1 – пірувасинтаза; 2 – ацетил-СоА-ацетилтрансфераза;
 3 – 3-гідроксибутирил-СоА-дегідрогеназа; 4 – кротоніл-СоА-гідратаза;
 5 – гідроксибутирил-СоА-дегідрогеназа; 6 – діафараза; 7 – бутиральдегіддегідрогеназа; СоАSH-ацилуюча; 8 – 1-бутанолдегідрогеназа; 9 – бутират: СоА-трансфераза;
 10 – ацетоацетат: СоА-трансфераза; 11 – ацетоацетаткарбоксилаза;
 12 – 2-пропанолдегідрогеназа; 13 – NADH: ферредоксин-оксидоредуктаза + гідрогеназа; ЕПФ – електронпереносний флавопротеїн [1]

Молочна кислота (α -гідроксипропіонова кислота) є новою хімічною речовиною промислового значення, з якої виробляють полілактат – полімер, що біорозкладається. Ферментацію вуглеводів за допомогою штамів *Lactobacillus* проводять в глибинній культурі при рН 6,3–6,5 і постійній температурі 50 °С. Тривалість процесу – 7–11 діб. В ході процесу бродіння для корекції змінюється рН, в культуральне середовище вносять 3–4 рази протягом доби крейду. Схема одержання молочної кислоти наведена на рис. 11.

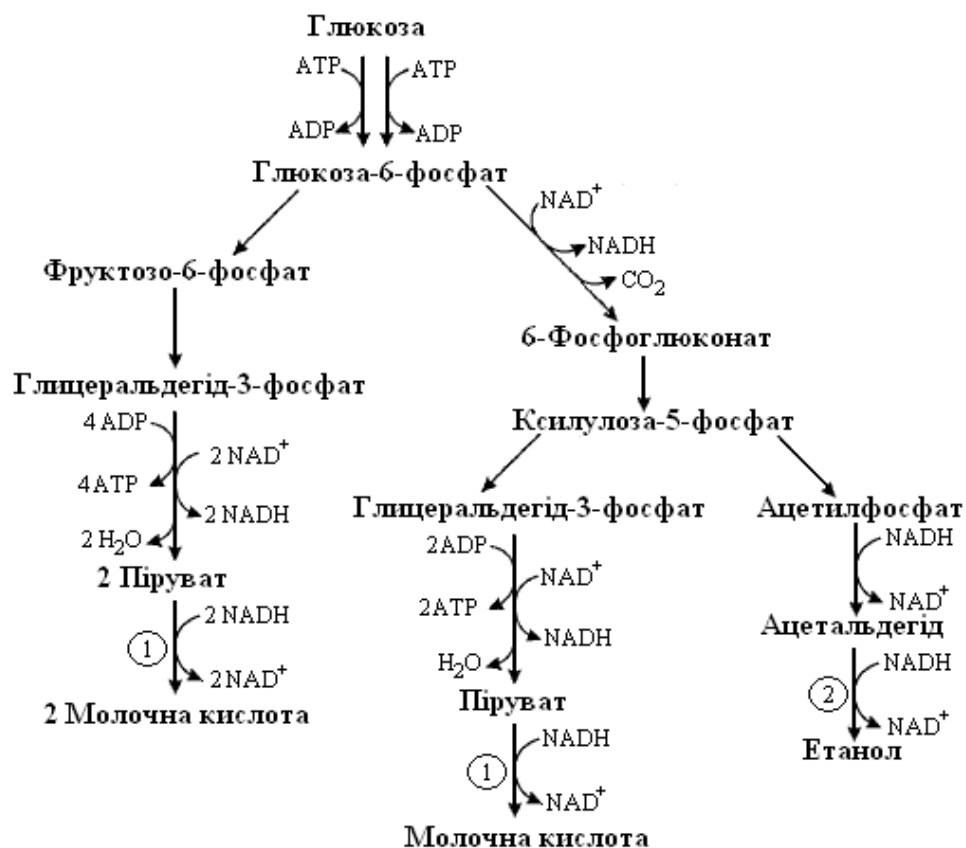


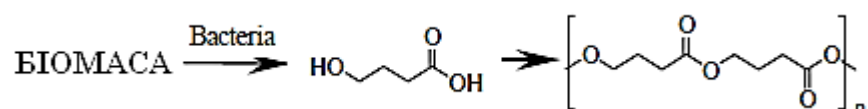
Рис. 11. Схема продукування молочної кислоти: 1 – лактатдегідрогеназа; 2 – алкогольдегідрогеназа [1]

Молочну кислоту можна виробляти з сільськогосподарських відходів, як найбільш привабливої сировини. На разі вже впроваджено технологія, у якій лігноцелюлоза соломи або м'якої деревини для вилучення цукрів обробляється розбавленою кислотою H₂SO₄. Процес проводять в мембранному біореакторі за використання термофільних штамів *Lactobacillus*. Молочна кислота, що утворюється, має високу оптичну чистоту.

Біополімери

Полілактат став першим природним полімером, що біорозкладається, і виробляється у промисловому масштабі. Ринок полімерів з молочної кислоти для застосування як пакувальних матеріалів, текстильних ниток і виробів медичного призначення оцінюється у 540–590 тис. т. З молочної кислоти можна отримати низку розчинників: естери, пропіленгліколь та акрилати. Новою сферою застосування молочної кислоти є її етиловий естер, який використовують як розчинник – альтернативний етиленгліколю та замінник токсичних хлорованих вуглеводнів.

Полігідроксимасляну кислоту (ПГМ) отримують за допомогою бактерії *Alcaligenes eutrophus*. Полімер, що продукують бактерії, вилучають з клітин за допомогою процесу екстракції, що підвищує вартість продукту до 8–10 \$ США за 1 кг.



Подібно до полілактату, з полігідроксibuтирату виробляють поліефірний термопластичний матеріал, з якого одержують плівки, пакувальні матеріали і волокна. Було запропоновано продукувати полігідроксibuтират прямо у хлоропластах рослин, які модифікуються генами з бактерії *Alcaligenes eutrophus*. У таких генномодифікованих рослинах вміст РГМ сягає 14 % за вагою сухої біомаси. Полімерні вироби з РГМ занадто крихкі. Для усунення цього недоліку рослини одночасно модифікуються і геном, що відповідає за синтез полігідроксивалерату, оскільки суміш цих двох полімерів має необхідні властивості.

Біополімери – полімери, які розкладаються під дією живих організмів при створенні необхідних умов. За умов компостування біополімери повністю розкладаються на воду, карбон (IV) оксид і гумус. Сировиною для одержання біополімерів слугують будь-які види рослин та відходи їх переробки. При цьому культивування такої сировини створює умови для нарощування сільськогосподарської галузі. На сьогодні сировиною слугує целюлоза, хітозан, желатин, поліпептиди, казеїн тощо. Особливий інтерес викликає крохмаль як найбільш дешевий вид сировини, основним джерелом для промислового виробництва якого є картопля, пшениця, кукурудза, рис та інші культури. Полімери, що одержані з рослинної сировини, за своїми хімічними показниками близькі до поліпропілену і полістиролу, і за деякими характеристиками переважають традиційні пластмаси.

Перевагою полімерних матеріалів, що біорозкладаються, є:

- можливість обробки на стандартному обладнанні;
- низький бар'єр пропускання кисню та водяної пари (що необхідно для використання в харчовій промисловості);
- стійкість до розкладу за звичайних умов (умов експлуатації);

- швидкий розклад за спеціальних умов (вирішується проблема відходів);
- відновлювальність сировинної бази.

Недоліками виробництва полімерних матеріалів з відновлювальної сировини є:

- обмежені можливості для крупнотонажного виробництва (витрати на транспортування сировини);
- висока собівартість – 2–5 євро/кг (слід зауважити, що економічна вартість продукту складається також і з витрат на утилізацію);
- необхідність компостування у промислових масштабах з дотриманням умов процесу (споживачі викидають на смітники, де відсутні умови для швидкого розкладу);
- використання органічного землеробства без застосування генномодифікованих сортів рослин.

Класифікація полімерів, що біорозкладаються, базується на процесах їхнього синтезу:

- полімери з біомаси (агрополімери з сільськогосподарських ресурсів (крохмаль, целюлоза);
- полімери, що одержують за рахунок мікробіологічної діяльності (полігідроксикарбонати);
- полімери, що одержують за рахунок традиційного хімічного синтезу, мономерів для яких одержують з сільськогосподарських ресурсів (молочна кислота);
- полімери, що одержують за використання традиційного хімічного синтезу.

Технології виробництва біопластику

Наукові розробки проводяться за трьома напрямками:

- виробництво біорозкладних полієфірів на основі гідроксикарбонових кислот;
- виробництво пластмас на основі відновлювальних природних компонентів;

- надання властивості до біорозкладання штучним промисловим полімерам.

Синтез полімерів з молочної кислоти може проходити трьома різними шляхами (рис. 12).

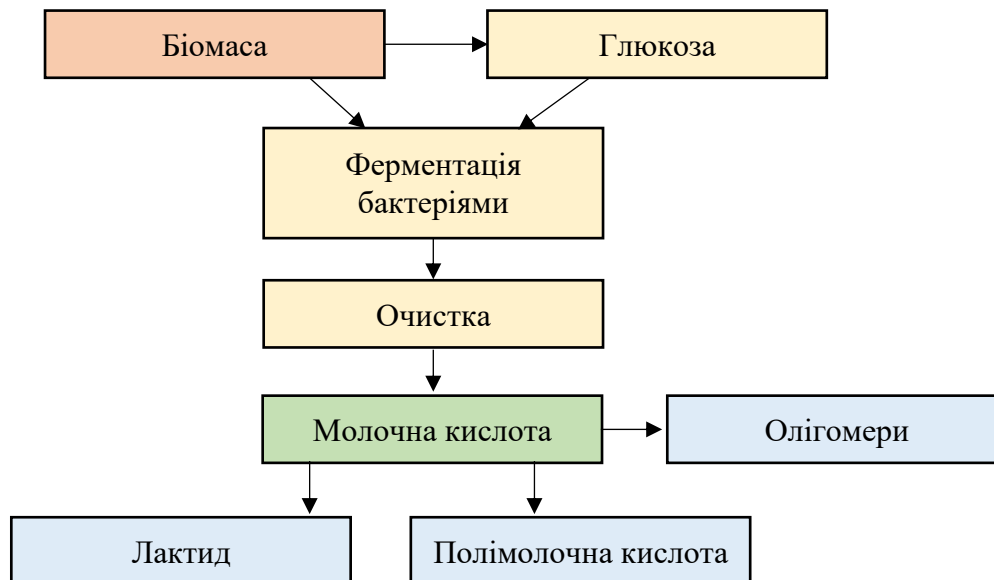


Рис. 12. Шляхи синтезу полілактатів [1]

За використання крохмалю як сировини для біополімерів, його за допомогою мікроорганізмів *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* розкладають до молочної кислоти, оскільки полімерні вироби з крохмалю швидко деформуються при контакті з водою. Після полімеризації молочної кислоти одержують більш короткі ланцюги, які розкладаються мікроорганізмами. Цей матеріал відомий під назвою полілактид (PLA).

Полілактид можна використовувати як для упаковки, так і для виробництва посуду, оскільки він не шкідливий для здоров'я. Біопластик, сировиною для виробництва якого є кукурудза, має особливу характеристику – різний термін саморозкладу (зберігається від декількох місяців до років). Ряд відомих компаній пропонують полімери з регульованими параметрами біорозкладу. Наприклад, британська компанія Symphony Environment Ltd. випустила на ринок біополімер на поліетиленовій основі, в якому ступінь розкладу контролюється особливими добавками. В залежності від кількості і якості добавок, що вводяться при синтезі

біопластику, повний розклад упаковки може варіюватися в межах від 3 місяців до п'яти років.

Інший спосіб виробництва біопластику заснований на використанні особливих пластикових бактерій, які створюють гранули органічного пластику – полігідроксисилканоату (РНА). Дослідження в цьому напрямку стосуються введення генів таких бактерій у хромосоми рослин, завдяки чому рослини стають здатними до продукування пластичного матеріалу усередині своїх клітин. Тобто у майбутньому пластичний матеріал можна буде вирощувати. Однак, такий метод потребує значних капіталовкладень.

Нові технології використовує американська корпорація Metabolix, що концентрує свої зусилля на полігідроксисилканоатах, матеріалі зі складною структурою, що виробляється за допомогою трансгенної технології, розробленою компанією. Ця технологія дозволяє виробляти РНА безпосередньо, шляхом використання процесів фотосинтезу, або опосередковано, через ферментацію цукрів. Полімер РНА являє собою високо кристалічний термопластик, подібний за властивостями до поліпропілену – з однаковою точкою плавлення, міцністю на розрив, температурою склеювання і кристалічністю. Вважається, що цей матеріал буде застосовуватись на ринку упаковки для фаст-фудів або як одноразова упаковка для медичних препаратів.

Також застосовуються ідеї для виробництва харчової упаковки, яка безпосередньо містить бактерії, що вбивають патогенні мікроорганізми. Найбільш небезпечною є *Listeria*, що розвивається у продуктах, і може викликати захворювання нервової системи, параліч, менінгіти, зниження імунітету і навіть смерть. В університеті Клемсону було виготовлено біопластик, в якому містяться бактерії, що виробляють низин, який запобігає розвитку патогенних мікроорганізмів. Низин є антибіотиком поліпептидного типу, що виробляється молочнокислими бактеріями *Streptococcus lactis*, при цьому він нешкідливий для людини.

2. СТРУКТУРА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ ТА ПРАВИЛА ЇЇ ОФОРМЛЕННЯ

2.1. Структура ДКР

Після ознайомлення з науково-технічною літературою студент складає план домашньої контрольної роботи, в якому конкретизує питання з обраної теми, та розподіляє їх за наступними розділами:

- вступ;
- перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів (за необхідності);
- основну змістовну частину (виклад змісту теми);
- висновки;
- список використаних джерел;
- додатки (за необхідності).

Вступ є обов'язковою частиною роботи, в якому стисло обґрунтовується утворення або виділення корисних речовин з біомаси в заданих умовах.

Основна змістовна частина домашньої контрольної роботи складається з розділів. Якщо не має необхідності в розділенні частин, матеріал подається в одному розділі. При визначенні назв розділів і підрозділів необхідно брати до уваги шлях перетворення речовини та мікроорганізми, які приймають участь в цьому процесі. В змістовній частині подається технологічна схема, яка пропонується, та її опис. Також при описі необхідно розглянути можливість зміни параметрів системи внаслідок дії зовнішніх факторів та шляхи їх усунення.

Викладення змісту теми

Після вивчення літератури та визначення шляхів перетворення речовини слід приступити до узагальнення та систематизації зібраного матеріалу. Виклад матеріалу повинен бути чітким, логічним та послідовним. Необхідно вживати терміни, властиві даній дисципліні.

В змістовній частині подається обґрунтування технології переробки сировини з отриманням корисних речовин, технологічна схема, яка пропонується, та її

опис. При описі необхідно розглянути можливість зміни параметрів системи внаслідок дії зовнішніх факторів або метаболічних шляхів мікроорганізмів та шляхи їх усунення.

Студенту необхідно звернути увагу на такі характерні недоліки, які трапляються при написанні роботи і які можуть привести до незадовільної оцінки:

- механічне, дослівне переписування використаної літератури;
- поверхневий, неаргументований виклад запропонованої технології;
- невідповідність ДСТУ в оформленні;
- відсутність посилань на використану літературу.

Отже, основними вимогами до написання роботи є вміння виділяти головні питання і роз'яснювати їх на конкретному матеріалі, логічно та послідовно розкривати зміст роботи, використовуючи при цьому сучасну науково-технічну літературу.

Зміст. У змісті повинні бути вказані порядкові номери (якщо вони є) і заголовки всіх розділів, підрозділів, пунктів (підпунктів, якщо вони мають заголовки) роботи, включаючи вступ, висновки, перелік посилань, найменування додатків із зазначенням сторінок цих матеріалів. Пункти та підпункти, що не мають заголовків, в зміст не виносять.

Номер і заголовок кожної структурної одиниці пишуть з нового рядка. В кінці останнього рядка заголовку вказують номер сторінки, з якої починається структурна одиниця.

Розривати слова знаком переносу у «Змісті» не рекомендується.

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів. Перелік умовних позначень, скорочень і термінів пишуть у випадку, коли ці елементи повторюються більш ніж три рази у тексті. При цьому використовують загальноприйняті позначення та скорочення, якщо вони не є загальновживані – їхню повну назву наводять у тексті під час першого ж згадування. Перелік належить опубліковувати двома стовпчиками, у яких ліворуч за абеткою наводять скорочені позначення, праворуч – їхню повну назву.

Вступ. У вступі має бути: оцінка сучасного стану проблеми на основі вітчизняної та зарубіжної літератури та патентного пошуку із зазначенням практично вирішених задач, існуючих проблем у даній предметній галузі та способи їх вирішення, зазначення провідних фірм та провідних вчених і спеціалістів, які мають розробки з цієї проблеми.

Основна частина.

Вибір та опис технологічної схеми виробництва.

Після ознайомлення з методами отримання корисних речовин з біомаси за використання різних субстратів та продуцентів студент обирає спосіб виробництва, який з його точки зору є найкращим для отримання максимального виходу продукту. Якщо на теперішній час не існує промислового виробництва корисних речовин, то для створення технології студент використовує лабораторні методи отримання корисних речовин за використання наукової літератури, на яку посилається при описі. При описі не можна використовувати літературні джерела країни агресора. Також студент повинен перенести лабораторні умови в умови промислового виробництва, базуючись на знаннях, які отримані в процесі навчання за освітньо-професійною програмою «Біотехнології». Тобто на базі літературних джерел розробити і запропонувати промислову технологію.

Опис кожної технологічної стадії у пояснювальній записці повинен мати свій підзаголовок. В описі надаються технологічні параметри процесу та описується можлива зміна параметрів в залежності від зміни умов середовища та шляхів метаболізму та пропонуються способи усунення проблеми, що виникла. Опис пишуть від третьої особи множини (наприклад, «сировину завантажують», «реакційну масу передають» і т. ін.), уникаючи зворотних дієслів («сировина завантажувється», «реакційна маса передається»).

На основі вихідних даних пропонують технологічну схему, яка включає:

- розподіл технологічних операцій за основними типами: допоміжні роботи (ДР), технологічний процес (ТП), пакування, маркування та відвантаження препарату (ПМВ), переробка відходів (ПВ), знешкодження відходів (ЗВ);

- встановлення послідовності технологічних стадій у технологічній схемі;
- надходження сировини і її попередня обробка за необхідності;
- асоціація мікроорганізмів (або конкретний штам), які будуть приймати участь в переробці;
- рівняння реакцій хімічних/біохімічних перетворень сировини, що надає уявлення про цільові, проміжні та побічні продукти і відходи виробництва, встановлення основних технологічних потоків;
- встановлення значень технологічних параметрів окремих стадій;
- встановлення відходів виробництва та шляхи їх утилізації;
- методи очищення продукту від супутніх речовин.

Висновки є завершальною й особливо важливою частиною ДКР. У висновках проводиться синтез всіх параметрів виробництва корисних речовин за даною технологією у відповідності до поставлених задач. Висновки повинні розкривати мету технології, відображати зміст та давати відповіді на впровадження процесів для усунення змін параметрів. Висновки, як правило, формулюють у тій же послідовності, що і завдання, яким вони відповідають. Кількість висновків не може бути менша ніж кількість завдань.

Список використаних джерел. Кожне джерело, що включено до списку, має бути відображено в тексті ДКР. Обов'язковим є посилання на іноземну літературу. Бібліографічний опис джерел складають з урахуванням ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [2].

Додатки (за необхідності). До додатків доцільно включати допоміжний матеріал, необхідний для повноти сприйняття ДКР.

2.2. Вимоги до оформлення домашньої контрольної роботи

Титульний лист оформлюється згідно зі зразком (додаток 1).

На другій сторінці подається перелік скорочень.

Кожна структурна частина роботи повинна починатися з нової сторінки та мати заголовок, який відповідає шляху перетворення. Заголовки слід розташовувати посередині рядка і друкувати прописними літерами без крапок в кінці, не підкреслюючи. Якщо заголовок складається з двох і більше речень – їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовка не допускається.

Відстань між заголовком і подальшим чи попереднім текстом має бути не меншою ніж три інтервали, якщо робота виконаний рукописним або машинописним способом, та не меншою ніж два інтервали, якщо робота виконана за допомогою комп'ютера.

Розділи слід нумерувати арабськими цифрами без крапок в кінці. Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номеру розділу і порядкового номеру підрозділу, відокремлених крапкою (наприклад – 1.1, 1.2).

Структурні елементи: «Зміст», «Перелік умовних позначень, скорочень і термінів», «Вступ», «Висновки», «Перелік використаних джерел», – не нумерують, а їхні назви є заголовками структурних елементів.

Заголовки структурних елементів роботи та заголовки розділів треба друкувати з абзацного відступу великими літерами напівжирним шрифтом без крапки в кінці. Дозволено їх розміщувати посередині рядка.

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів роботи потрібно друкувати з абзацного відступу з великої літери без крапки в кінці.

Усі сторінки, починаючи з другої, послідовно нумеруються з проставлянням арабських цифр за загальним правилом у нижньому правому куті, без крапки в кінці. Слід мати на увазі, що першою сторінкою роботи є титульний лист, на якому нумерація сторінки не ставиться, але враховується при нумерації наступних сторінок. Текст друкують на одному боці білого паперу формату А4. Весь текст роботи необхідно вирівнювати по ширині сторінки. Абзацний відступ повинен бути однаковим впродовж усього тексту і дорівнювати 1,25 см, з полями таких розмірів: верхнє та нижнє – 20 мм, лівє – 25 мм, правє – 10 мм.

У всьому тексті, включаючи заголовки, використовують 14-й кегль, шрифт гарнітури Times New Roman та полуторний інтервал. Як виняток у написах на метаболічному шляху, та їх підписах та в текстах комп'ютерних програм можна використовувати 12-й кегль та одинарний інтервал.

Абревіатури в заголовках не вживають, їх треба розшифровувати у тексті. Заголовок не розміщують внизу сторінки, якщо після нього уміщується лише один рядок тексту.

Помилки, описки та графічні неточності допускається виправляти підчищенням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці або між рядками виправленого зображення машинописним способом або від руки. Виправлене повинно бути чорного кольору. Припустимою є наявність не більше одного виправлення на сторінці.

Текст повинен бути написаний чіткою технічною українською мовою без граматичних і стилістичних помилок. У тексті не допускається використовувати звороти розмовної мови, застарілі і жаргонні терміни і вислови. В тексті треба вживати стандартизовані найменування, позначення і одиниці фізичних величин (система СІ).

Окремі слова, формули, знаки можна вписувати в текст роботи чорним чорнилом, тушшю чи пастою. Насиченість знаків вписаного тексту має бути наближеною до насиченості знаків надрукованого тексту.

Крапка, кома, а також двокрапка, крапка з комою, знак оклику і знак питання, знак відсотка, градуси, хвилини, секунди не відбиваються від попереднього слова або цифри. Знаки номера (№), параграфа (§) і слово «сторінка» (с.) відбиваються від цифри, що йде за ними, нерозривним пропуском. Завжди відбиваються нерозривним пропуском (Ctrl + Shift + пробіл) ініціали від прізвища та ініціали один від одного (Т. Г. Шевченко).

Лапки і дужки набираються впритул до слова, без пробілів. Дужки ставляться точно так же, як і лапки. Посилання на літературу в квадратних дужках ставиться в кінці речення до крапки. (...речення [24].)

Робота повинна бути зшита. На першій сторінці ставиться число, місяць та рік виконання роботи, а також підпис виконавця.

Оформлення списку використаної літератури є важливою складовою написання роботи. В список включаються тільки ті джерела, які використовувались при написанні роботи. Перелік посилань оформлюється у вигляді списку, з нумерацією арабськими цифрами в порядку згадування в тексті.

Важливе значення має правильне оформлення посилань на джерела та матеріали, які студент використовує при написанні домашньої контрольної роботи. Приклади оформлення наведені у додатку 2.

3. ТЕМИ ДКР

1. Запропонуйте та опишіть технологічну схему переробки целюлозовмісної сировини в біогаз.
2. Запропонуйте та опишіть технологічну схему переробки целюлозовмісної сировини в біоводень.
3. Запропонуйте та опишіть технологічну схему одержання ліпідів з мікробіодоростей з урахуванням їх культивування.
4. Запропонуйте та опишіть технологічну схему одержання біодизелю з грибів.
5. Запропонуйте та опишіть технологічну схему переробки гною в біогаз та отримання добрива.
6. Запропонуйте та опишіть технологічну схему переробки посліду в біогаз та утилізацію відходів.
7. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання рідких (за власним вибором) препаратів з рослинної сировини.
8. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання ефірної олії (за власним вибором) з рослинної сировини.
9. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання гормонів з рослинної сировини.
10. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання полігідроксі-алкоаноатів з мікробіодоростей.
11. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання біопластику з лактату.
12. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання біопластику з рослинної сировини.
13. Проведіть порівняльний аналіз технологій отримання біопластику за різними критеріями.
14. Проведіть аналіз методів інтенсифікації процесу отримання біогазу.

15. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання біологічно активних речовин для боротьби з захворюванням рослин (за власним вибором)
16. Запропонуйте та опишіть технологічну схему отримання з деревини левоглюкозану та продуктів з нього

4. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Згідно силабусу дисципліни «Переробка біомаси та отримання біопластику», ДКР оцінюється в 20 балів.

Кожна робота оцінюється, виходячи з аналізу сукупності таких критеріїв:

1. У вступі розкрито головні шляхи обміну заданої речовини в живих організмах (1 бал).

2. Розкриття технології з послідовністю стадій, наведенням параметрів за якими вони здійснюються, опис можливої зміни параметрів та яким чином привести систему до раціональних умов. Висновки.

Усе відповідає умовам технології – 18 балів.

Є незначні помилки або відсутність деяких параметрів – 17–15 балів.

Відсутній опис стадії або не розкрито дію факторів на зміну процесу – 10–14 балів.

3. Використані джерела, тобто наявність достатньої кількості сучасних джерел, а також наявність посилань на них в тексті та відповідність їхнього оформлення вимогам (1 бал).

4. Робота не зарахована – загальна сума менше 12 балів.

Робота, в якій виявлено суттєві помилки або недоробки, повертається студенту для доопрацювання та усунення письмово зазначених викладачем зауважень. Доопрацьована або перероблена робота подається для повторної перевірки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голуб Н. Б., Боровик О. Я. Переробка біомаси, Київ : Комп'ютер прес, 2014. 169 с.
2. ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [Чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
3. ДСТУ EN 14214:2019. Автомобільне паливо. Метиллові ефіри жирних кислот (FAME) для дизельних двигунів. Вимоги та методи випробування (EN 14214:2012 + A2:2019, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 21 с.
4. СОУ 24.14-37-561:2007. Ефіри метилові жирних кислот для дизельних двигунів. [Чинний від 2007-03-21]. Офіційне видання. Київ : Мінагрополітики України, 2007. 14 с.
5. Колосов, О. Є. Високоєфективні засоби приготування біопалива / О. Є. Колосов, Г. Л. Рябцев, В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, С. О. Пристайлов. Київ : Січка, 2010. 152 с.
6. A Multienzyme Complex Channels Substrates and Electrons through Acetyl-CoA and Methane Biosynthesis Pathways in Methanosarcina / D. J. Lieber et al. PLoS ONE. 2014. Vol. 9, No. 9. P. e107563. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107563>

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій : монографія / за ред. Ю. М. Солоніна ; НАН України. – Київ : «Вид-во КІМ», 2018. 260 с. DOI: http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen/Book_printVer.pdf
2. Відновлювані джерела енергії / за ред. С. О. Кудрі – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
3. Кузьмінський Є. В. Біоелектрохімічне продукування електричної енергії та водню / Є. В. Кузьмінський, К. О. Щурська, І. А. Самаруха. – Київ : «Видавничий дім «Комп'ютер-прес»», 2012. 226 с.;

4. Нова економіка пластмас: потенціал, технології, стимули : аналіт. доп. / О. С. Гринькевич, У. Я. Садова, С. О. Матковський та ін. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, НУ «Львівська політехніка», 2022. 72 с.
5. Комплексне перероблення рослинної сировини: Комплексна хімічна переробка деревини : навч. посіб. для студ., які навчаються за програмою підготовки бакалаврів за спеціальністю 161 «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. В. Галиш, О. В. Ященко, І. В. Трембус. Електронні текстові дані (1 файл: 1,31 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 104 с.
6. Самойленко Н. М. Актуальні аспекти розробки та використання біополімерних матеріалів для одноразового пакування / Н. М. Самойленко, Ю. С. Гадаєва // Екологічні науки, 2025. № 2 (59). С. 330–336.
7. Кочетов М. С., Черкашина Г. М. «Дослідження екологічно безпечних біополімерних композитів на основі термопластичного біопластику та відпрацьованої кавової гущі». Інтегровані технології та енергозбереження, 2025. № 4. С 125–134.
8. Бишко М. А., Семінський О. О., Зубрій О. Г. Вплив вибору пластифікатора на властивості полімерів на основі крохмалю. Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 2022. № 1. С 9–20. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2022.254154>
9. Гонтарук Я. В. Перспективи виробництва біогазу на цукрових заводах України. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2022. № 34. С. 69–75.
10. Чернюк С. В., Крижак М. С. Сучасна біотехнологія у силосуванні. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва : збірник наукових праць*. Біла Церква : БНАУ, 2025. № 2. С. 61–72. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/16052> (дата звернення: 03.09.2026)

ДОДАТОК 1

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології**

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА
з дисципліни «Переробка біомаси та отримання біопластику»
на тему
«Одержання водню асоціацією мікроорганізмів в темновому режимі
за використання стічної води як субстрату»

Виконав:
студент IV курсу,
групи БТ-11, ФБТ
Петренко П.П.
Перевірила:
д.т.н. Голуб Н.Б.

Київ 2026

ДОДАТОК 2

Приклади

оформлення бібліографічного опису у списку використаних джерел
з урахуванням Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015
«Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги: Один автор	1. Дичківська О. О. Інноваційний менеджмент : конспект лекцій. Київ : ДІА, 2018. 82 с. 2. Бондаренко В. Г. Історія України. Львів, 2017. 153 с. 3. Лазор О. Я. Державне управління у сфері реалізації екологічної політики в Україні: організаційно-правові засади : монографія. Львів : Ліга-Прес, 2003. 542 с. 4. Ваш О. М. Етика : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2018. 104 с. 5. Гурманова Л. І. Релігієзнавство : навч. посіб. 2-ге вид., переробл. та допов. Київ : ЦУЛ, 2017. 193 с.
Два автори	1. Мартиненко З. Е., Макар І. В. Управління підприємством: теоретико- методичні засади : монографія. Харків : Щедра садиба плюс, 2017. 296 с. 2. Палеха В. І., Карпова П. В. Менеджмент організацій : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2015. 120 с. 3. Білоус С. І., Корнійчук В. П. Філософія освіти : навч.-метод. посіб. Переяслав-Хмельницький, 2016. 176 с. 4. Мороз І. С., Василенко Н. Ю. Маркетинг : конспект лекцій. Київ : Молодь, 2016. 102 с. 5. Вердіна С. А., Волков А. А. Контролінг : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 131 с. 6. Вердіна С. А., Волков А. А. Контролінг : навч. посіб. Вид. 3-тє., переробл. та допов. Херсон, 2017. 212 с.
Три автори	1. Тарнавська Г. Я., Марценюк Н. С., Герасимова Т. М. Фінанси : навч. посіб. Львів : Магнолія 2006, 2017. 412 с. 2. Пустовенко В. В., Максименко І. Л., Яким А.С. Безпека життєдіяльності : монографія. Харків : ХНПУ, 2017. 348 с.
Чотири автори	1. Інновації : навч. посіб. / Гуревич Д. Т., Чекан О. С., Грибан О. М., Макарова В. В. Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 389 с. 2. Вища математика : конспект лекцій / Ткачук Т. С. та ін. Київ, 2015. 82 с.
П'ять і більше авторів	1. Операційний менеджмент : підручник / С. М. Поплавська та ін. Київ : ЦУЛ, 2011. 267 с. 2. Охорона праці : навч. посіб. / О. І. Подольська та ін. 2-ге вид. Київ : ЦУЛ, 2017. 264 с. 3. Науково-практичний коментар Цивільного кодексу України : станом на 10 жовт. 2017 р. / К. І. Мягченко та ін. ; за заг. ред. І. М. Ливанова. Київ : ЦУЛ, 2017. 428 с.

Автор(и) та редактор(и)/упорядники	1. Веретенко В. В. Міжнародний маркетинг : монографія / за заг. наук. ред. В. М. Марценюка. Київ, 2015. 374 с. 2. Бутенко М. П., Качур В. П., Петренко С. В. Психологія : навч. посіб. / за ред. М. П. Дутко. Київ : ЦУЛ, 2017. 332 с.
Збірники під редакцією	1. 30 років історичному факультету: історія та сьогодення (1986–2016) : ювіл. вип. / під заг. ред. В. В. Черепані. Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 340 с. 2. Етнографія : конспект лекцій / за заг. ред. В. І. Гарапка; уклад. А. І. Гарапка. Київ : ЦУЛ, 2018. 320 с. 3. Міжнародні відносини : монографія / за ред. М. А. Березовського. Київ : ЦУЛ, 2016. 162 с. 4. Міжнародні економічні відносини : навч. посіб. / за ред.: П. О. Бедрія, О. О. Петренка. Одеса : ОНУ, 2015. 306 с. 5. Науково-практичний коментар Цивільного кодексу України / за заг. ред. Т. А. Тарнавського. Київ : ЦУЛ, 2016. 186 с. 6. Підготовка фахівців у ВНЗ в умовах реформування вищої освіти : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Мукачево, 4–5 жовт. 2018 р. Мукачево : МДУ, 2018. 226 с. 7. Освіта в Україні: виклики модернізації : зб. наук. пр. / редкол.: П. М. Марценюк (відп. ред.) та ін. Київ : Ін-т всесвітньої історії НАН України, 2017. 319 с. 8. Товарознавство / упоряд. В. Олексик. Київ, 2014. 804 с.
Багатотомні видання	1. Енциклопедія рослин / редкол.: І. М. Деркач та ін. Київ : ЦУЛ, 2016. Т. 8. 812 с. 2. Безруков В. Д. Поэзия : в 2 т. / ред. изд.: Л. Г. Мороз, А. Г. Мягченко; авт. вступ. ст. А. В. Сипина. Киев ; Мелитополь : НПУ им. М. Драгоманова ; МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2016. Т. 2. 206 с. 3. Бюджетна система України: історія, стан та перспективи : у 3 т. / Академія правових наук України. Львів : Право, 2012. Т. 2 : Бюджетний менеджмент / за заг. ред. Ю. П. Бубряка. 476 с. 4. Кучеренко Н. П. Казначейська справа : в 6 т. Київ : Право, 2016. Т. 3 : Контроль у системі Державного казначейства. 432 с. 5. Дендрофлора України. Т. 2. Дикорослі та культивовані дерева і кущі. Вип. 1. Покритонасінні / Л. І. Перхоменко. Київ : Наукова думка, 2012. 200 с.
Автореферати дисертацій	1. 1. Петров О. Г. Музикотерапія : автореф. дис. ... канд. псих. наук : 12.00.06. Київ, 2009. 40 с.
Дисертації	1. Петрук Л. А. Дослідження статичного деформування складених тіл : дис. ... канд. фіз.-мат. наук : 01.02.04. Львів, 2004. 140 с. 2. Винниченко О. М. Контроль соціально-економічного розвитку промислових підприємств : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.04. Київ, 2018. 344 с.

Інтернет джерела	1. Україна очима дітей : фотовиставка. URL: http://www.kmu.gov.ua/control/uk/photogallery/gallery?galleryId=15725757& (дата звернення: 15.11.2017). 2. Хміль А. А. Функції державної служби за законодавством України // Юридичний науковий електронний журнал. 2017. № 5. С. 115–118. URL: http://lsej.org.ua/5_2017/32.pdf. 3. Хміль І. О. Шляхи подолання правового нігілізму в Україні. <i>Вісник Запорізького національного університету. Юридичні науки</i>. Запоріжжя, 2016. № 3. С. 20–27. URL: http://ebooks.znu.edu.ua/files/Fakhovivydannya/vznu/juridichni/VestUr2015v3/5.pdf (дата звернення: 15.11.2017). 4. Куцкір Я. С., Махно Б. А., Борислав С. Г. Трансформація науково-педагогічної системи України протягом 90-х років XX століття: період переходу до ринку. <i>Наука та інновації</i>. 2016. Т. 12, № 6. С. 6–14. DOI: https://doi.org/10.15407/scin12.06.006.
------------------------------------	--

Навчальне видання

Голуб Наталія Борисівна
Колтишева Діна Сергіївна
Щурська Катерина Олександрівна

ПЕРЕРОБКА БІОМАСИ ТА ОТРИМАННЯ БІОПЛАСТИКУ

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Навчальний посібник

В авторській редакції
Технічне редагування *Людмили Котовської*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056
<https://kpi.ua>

Реєстр. № НП 25/26-429.
Формат 60×84^{1/8}. Гарнітура Times.
1 файл (2,28 Мб). Обл.-вид. арк. 3,09. Поз. 26-1-2-017.
Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ, 03056
тел. (044) 204-81-78