

## МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

УДК 528.01.1

### СИСТЕМА ВИКОРИСТАННЯ БІОРЕСУРСІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВ

*Я.Б. Блюм, академік НАН України, доктор біологічних наук*  
*С.П. Циганков, доктор технічних наук*  
Державна установа «Інститут харчової біотехнології та геноміки  
НАН України»

*І.П. Григорюк, член-кореспондент НАН України,*  
*доктор біологічних наук*

*В.О. Дубровін, доктор технічних наук*  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України

*Г.М. Калетнік, академік НААН України,*  
*доктор економічних наук*

Вінницький національний аграрний університет

*Д.Б. Рахметов, доктор сільськогосподарських наук*  
Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України

*В статті викладено методологію системи використання біоресурсів у технологіях отримання біопалив.*

*Біопаливо, біоресурс, система, технологія.*

**Постановка проблеми.** В умовах різкого зменшення запасів непоновлюваних видів палива, використання біомаси, ефективність акумуляції сонячної енергії якою становить від 0,8 % (в польових умовах) до прогнозованих 5 % (в умовах забезпечення високого рівня агробіотехнологій), для виробництва твердих, рідких та газоподібних палив набуває дуже важливого значення. З кожного поля щорічно можна збирати два врожаї, а саме: продовольчий та енергетичний із використанням біомаси в обсязі, що не перевищує 30 %. За допомогою механічних, хімічних, термічних, біологічних або комплексних технологічних процесів біомасу в сучасних умовах трансформують у газове (біогаз), рідке (дизельне біопаливо і біоетанол) чи тверде (паливні брикети, гранули із соломи тощо) біопалива. Згідно вимог Європейського Союзу (Директива 2003/30/ЄС від 8 травня 2003 р.) частка біологічних видів палива в структурі енергоспоживання ЄС повинна до кінця 2010 р. складати

© Я.Б. Блюм, С.П. Циганков, І.П. Григорюк,  
В.О. Дубровін, Г.М. Калетнік, Д.Б. Рахметов, 2014

5,7 %. В нашій країні актуальність даного напрямку окреслена Постановою Кабінету Міністрів України № 1774 від 22 грудня 2006 р.

**Мета досліджень.** З метою реалізації науково-технічного потенціалу цього напрямку біоенергетики авторами проведено низку глибоких фундаментальних наукових досліджень та виконано ряд науково-технічних розробок, результати яких створюють передумови широкого вискооефективного використання новітніх біотехнологій енергоконверсії в агропромисловому виробництві та паливно-енергетичному комплексі України.

Ефективність переробки біомаси в енергетичну продукцію досягається лише за раціональних параметрів технологічних процесів і машин для АПК, що здійснюють конверсію біосировини. Кожний вид біомаси здатний дати широкий спектр різноманітних продуктів. Наприклад, при виробництві дизельного біопалива від переробки відходів насіння олійних культур (соломи, макухи та лузги) можна отримати ряд продуктів, які мають комерційну цінність. Навіть просте спалювання соломи у твердопаливних котлах дозволяє отримати теплоту, а попіл повертають у ґрунт як добриво. Виробництво і застосування біогазу та супутніх з ним органічних добрив високої якості, що виробляються з ресурсів вторинної енергетичної сільськогосподарської біосировини створюють умови для утилізації на сучасному рівні всіх біологічних відходів агропромислового виробництва. Новітню модель АПК, що включає на рівних правах біоенергетику як одну зі своїх основних складових галузей, наведено на рис. 1.

#### *Біологічні ресурси для енергоконверсії*

В Національному ботанічному саду (НБС) ім. М.М. Гришка НАН України створено один з найбільших в Україні генофондів енергетичних рослин, який нараховує 365 видів, сортів та форм рослин (76 – цукроносних, 145 – олійних, 144 – сировинних культур для виробництва твердого біопалива та біогазу). Поряд з інтродуцентами та малопоширеними культурами важливе місце в цьому переліку належить створеним власними зусиллями формам, гібридам та сортам енергетичних рослин, які не являються цільовими продовольчими культурами. Альтернативні енергетичні культури є представниками різних ботанічних родин і використання їх у сівозмінах або поза ними не становить загрозу для навколишнього середовища. Вони не являються цільовими продовольчими культурами. Ці рослини попереджують ерозійні процеси, поліпшують агрономічні та біологічні показники ґрунту. Більшість пропонованих культур вирізняються виключною посухо- та зимостійкістю, адаптивністю, стійкістю до хвороб, шкідників та бур'янів. Перевага надана багаторічним рослинам з періодом

продуктивного довголіття 10-20 років, здатних зростати не лише на родючих полях сівозміни, а також на землях, не придатних для вирощування традиційних культур.

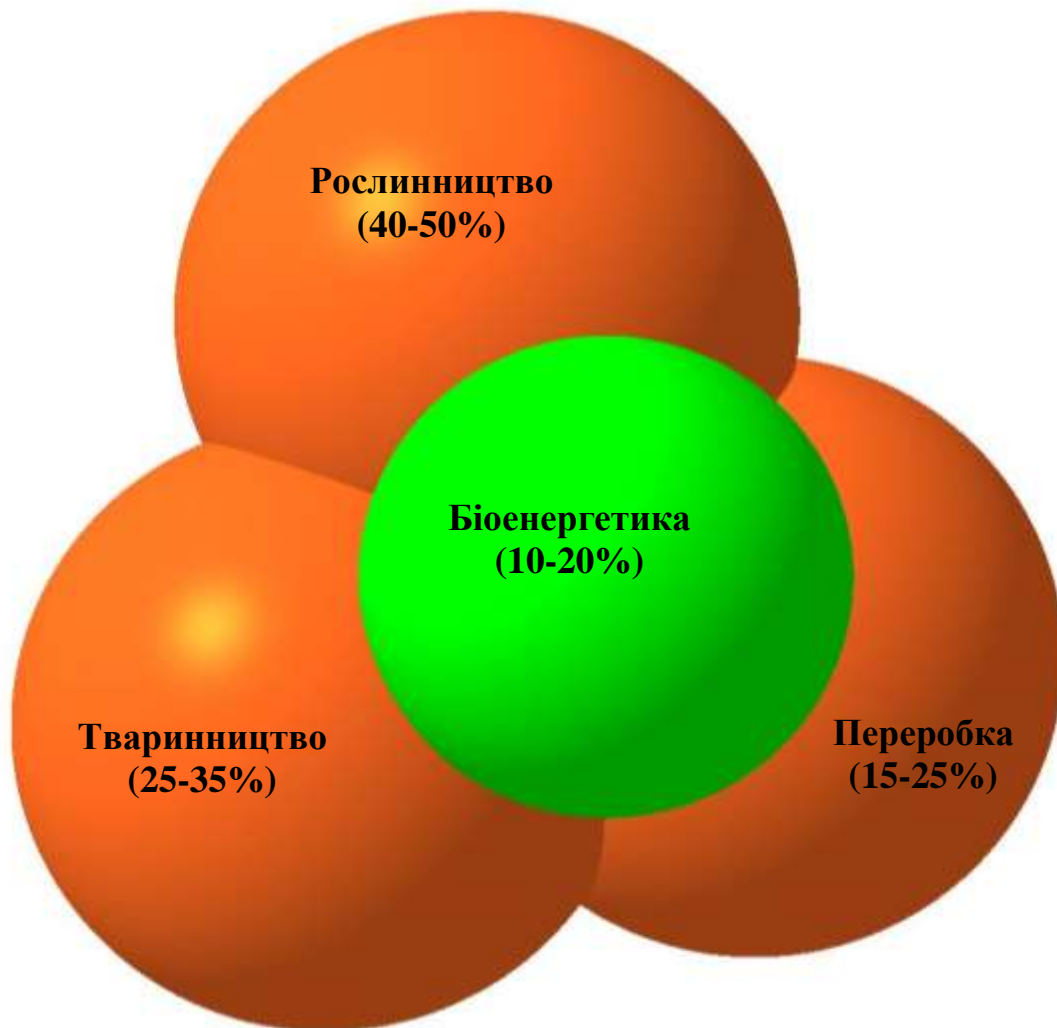


Рис. 1. Модель новітнього агропромислового виробництва.

Із числа найперспективніших нових цукроносних культур у НБС НАН України створено цінний генофонд пальчастого проса (10 зразків), цукрового сорго (15), міскантусу (7) та дротоподібного проса (5 зразків), які характеризуються скоростиглістю, посухостійкістю, високою урожайністю насіння або фітомаси, високим вмістом вуглеводів у зерні або в надземній масі та виходом біоетанолу. Ці цукроносні рослини можуть в повній мірі забезпечувати в Україні високий продуктивний потенціал і вихід біоетанолу з одиниці площі у порівнянні з традиційними культурами (цукровий буряк, картопля, пшениця тощо).

В Інституті харчової біотехнології та геноміки (ІХБГ) НАН України була отримана низка соматональних варіантів пальчастого проса для подальшого використання у селекційному процесі у НБС

НАН України. Зокрема, на їх основі створені високопродуктивні сорти Ярослав-8 та Євгенія. У ході з'ясування генетичних основ набутих сортом Ярослав-8 ознак було висунуто припущення, що ключову роль в них може відігравати активність цитокініноксидази/дегідрогенази – ключового ферменту деградації цитокінінів. Було проведено аналіз зразків генної експресії цитокініноксидази на прикладі транскриптому меристем пальчастого проса на різних стадіях розвитку отриманого сорту (за допомогою 12K microarray фільтрів для ячменю). Виявлено присутність чотирьох генів цитокініноксидази цілому в геномі пальчастого проса. Результати аналізу експресії генів цитокініноксидази з використанням клонованого фрагменту кДНК цитокініноксидази в якості зонду дозволили виявити змінений рівень експресії одного із споріднених генів сорту „Ярослав-8” у порівнянні з вихідним матеріалом. Також встановлено, що експресія генів цитокініноксидази у суцвіттях сорту „Ярослав-8” на стадії В розвитку (розмір суцвіть 2-3 см) є майже в 2,5 рази нижчою у порівнянні з вихідною лінією.

Паралельно було визначено вміст цитокінінів у рослинах досліджуваного сорту – всього 25 різних похідних цитокінінів, починаючи з їх попередників, активних цитокінінів, запасних кон'югатів і закінчуючи продуктами розпаду цитокінінів на різних стадіях розвитку. Отримані результати засвідчили, що кількість цитокінінів у листі рослин отриманого сорту статистично достовірно вищою у порівнянні з контролем і, що особливо важливо, є вищою в суцвіттях на самих ранніх стадіях розвитку, але не відрізняється від контролю на більш пізніх стадіях їх розвитку. Таким чином, ці дані у сукупності з результатами експресійного аналізу дозволяють пояснити морфологічно-фізіологічні особливості досліджуваного фенотипу, зокрема закладення більшої кількості колосків та наявність більшої кількості насінин у кожному колоску. Відповідно, наведені вище дані в цілому свідчать на користь визначальної ролі цитокініноксидази у формуванні ознак нового сорту. З огляду на ці результати можна говорити про розвиток ефективної стратегії збільшення врожайності зернових культур загалом і пальчастого проса зокрема за допомогою генно-інженерних підходів, що базуватимуться на використанні для трансформації рослин генами, залученими до регуляції, біосинтезу та деградації цитокінінів.

З використанням методів молекулярної селекції науковцями НБС НАН України за участю партнерів з ІХБГ НАН України також створено високопродуктивний сорт цукрового сорго – Ботанічний. Сировина отриманих нових гібридів та сортів цукрового сорго та пальчастого проса містить 15-30 % загальних цукрів. Вони вирізняються високою пластичністю та продуктивністю і гарантовано

забезпечують урожайність 5-8 т/га насіння та 50-80 т/га (до 130 т/га) зеленої маси. Вихід етанолу з одиниці площі в залежності від умов вегетації рослин та технології переробки сировини становить 350-800 дал/га. Теплотворна здатність цієї маси при спалюванні сягає 3731-4363 кал/г.

В НБС НАН України також створено 16 сортів високоолійних культур, більшість з яких включена до Державного реєстру сортів України. Значна частина цих сортів має цінні продуктивні властивості та придатна для виробництва біодизеля. Зокрема, створено цінний генофонд рижію, який нараховує близько 20 форм, гібридів та сортозразків. Найперспективніші форми та гібриди рижію забезпечують 3-4 т/га насіння з вмістом олії 45-50 % та виходом 1-1,4 т/га біодизелю. При цьому урожайність складає 30-40 т/га біомаси, 5-8 т/га сухих речовин, 0,8-1,0 т/га кормового білку. На відміну від ріпаку в результаті мінералізації органічної маси рижій залишає у ґрунті понад 70 кг/га азоту, 30 – фосфору, 85 – калію, 35 кг/га – кальцію. Розроблено біотехнологічні засади поліпшення жирнокислотного складу та накопичення ліпідів в насінні рижію.

В останні роки створено ряд сучасних сортів інших капустяних культур (зокрема озимого ріпаку та суріпиці), які містять у насінні від 40 до 52 % олії (ліпідів). Вони вирізняються високою пластичністю та продуктивністю і гарантовано забезпечують урожай насіння на рівні 2,5-3,0 т/га з виходом олії з одного гектара залежно від сорту від 800 до 1000 кг (на відміну від імпортованих сортів). Визначена калорійність ліпідів та енергетичний потенціал ярих (редька олійна, суріпиця яра, гірчиця сиза та біла, чорнушка дамаська та посівна, льон олійний) та озимих (ріпак озимий, тифон, суріпиця озима) олійних культур з колекції НБС НАН України. Серед озимих культур найвищою урожайністю насіння, вмістом та виходом ліпідів характеризуються сорти ріпаку озимого, тифону та суріпиці, серед ярих - редьки олійної, гірчиці білої та льону олійного, які забезпечують 2,8-3 т/га насіння та до 1100-1400 кг/га вихід ліпідів. За результатами вивчення жирнокислотного складу олії з насіння сортів суріпиці ярої, ріпаку озимого, тифону та еруки посівної встановлено, що в олії ріпаку та суріпиці олеїнова кислота складає відповідно 62,4 і 48,1 % від загального жирнокислотного складу. Серед досліджуваних культур високим вмістом ерукової кислоти характеризується олія тифону (48,7 %) та еруки посівної (47,5 %). Олія суріпиці ярої і ріпаку озимого відрізняється суттєво низьким вмістом ерукової кислоти (1,9 та 0,7 %) та високим вмістом лінолевої кислоти (до 19 %) від загальної кількості жирних кислот. Калорійність олії у різних культур становила від 37,5 до 41,4 МДж/кг. Вихід енергії з ліпідів ріпаку ярого та рижію рівноцінні теплотворній здатності 1312 та

1215 л дизельного палива. Крім того, створено 19 сортів рослин з високою урожайністю біомаси для використання на тверде біопаливо (для отримання полін, брикетів, гранул) та біогаз. Заслуговує особливої уваги сировинний конвеєр на основі власних сортів енергетичних рослин: щавнату (сортів Бієкор-1, Румекс ОК-2, Наставник), сіди багаторічної (сортів Вірджинія і Фітоенергія), сільфію пронизанолистого (сортів Канадчанка, Переможець, Богатир), сорго багаторічного (сорт Колумбо), козлятнику (сорт НБС-75), гірчаку сахалінського, тощо). Ці сорти можуть продуктивно використовуватись протягом 10-20 років, щорічно забезпечуючи до 30 т/га абсолютно сухої речовини. Розроблені енергоощадні технології вирощування біоенергетичних рослин забезпечують високий вихід умовного біопалива (10-21 т/га) та енергії (70-90 Гкал/га) з урожаєм. Загальний вихід біогазу з 1 га енергетичної плантації нових інтродуцентів становить від 9000 до 37000 м<sup>3</sup>.

Створені сорти та технології виробництва біосировини з них впроваджуються в Україні (в господарствах 17 областей), а також в країнах СНД (Російській Федерації, Білорусії, Казахстані) та Євросоюзу (Чехія та Польща, номер реєстрації розробки 2005/0758), в КНР, КНДР, Республіці Корея, про що свідчать відповідні двосторонні угоди. Загальна площа посівів щавнату становить близько 30 тис. га.

#### *Технологічні аспекти біологічної трансформації енергетичної сировини*

Використання етанолу як палива стало на сьогоднішній день одним із важливих напрямів розвитку світової економіки. Цей напрям виник набагато раніше, ніж проблема глобального потепління, із-за дефіциту нафтового палива в деяких країнах і наявністю значних біоресурсів для виробництва біоетанолу. Мова йде насамперед про Бразилію, де уряд почав заохочувати використання біоетанолу як компонента палива для двигунів із іскровим запалюванням. Потім до процесу часткової заміни нафтового палива біоетанолом почали приєднуватися США і Канада, країни Європи. Розпочалося виробництво «гнучких» двигунів із іскровим запалюванням, пристосованих до споживання палив із вмістом до 95 % біоетанолу, і дизельних двигунів, що працюють на 90 %-му паливі. У 2009 р. паливного біоетанолу вироблено 73,9 млн. м<sup>3</sup>, непаливного призначення – 10 млн. м<sup>3</sup>. Використана сировина: кукурудза – 55 %, цукрова тростина – 34 %, меляса – 6 %, пшениця – 3,5 %. Лідерами у виробництві паливного біоетанолу є США (40,6 млн. м<sup>3</sup>) і Бразилія (24,9 млн. м<sup>3</sup>). Світове споживання бензину складає приблизно 1 млрд. тонн на рік. Теоретично, без шкоди для забезпечення населення планети продуктами харчування при сьогоднішньому

рівні врожайності на нашій планеті можна вирощувати сировину для виробництва близько 500 млн. т біоетанолу на рік. Ця кількість по енергії еквівалентна 360 млн. т бензину.

Науковий пошук у світі наразі продовжується як у напрямі удосконалення технологій отримання біоетанолу першого покоління, так і розвитку науково-технічних основ отримання біоетанолу другого покоління (з біомаси). Тому в Інституті біології клітини (ІБК) НАН України була проведена робота, спрямована на покращення параметрів етанольної ферментації традиційної сировини – глюкози - за участю спиртових дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Для цього вперше використано можливість модифікації енергетичного метаболізму дріжджів шляхом надекспресії ферментів, що розщеплюють основне енергетичне джерело клітини, АТФ. Отримані штами перетворюють вищий відсоток глюкози в етанол за рахунок меншого нагромадження біомаси клітин. У даному контексті біомаса є побічним продуктом, тому що замість перетворення компонентів поживного середовища в етанол, клітина використовує цей ресурс для побудови дочірніх клітин. Шляхом маніпуляції енергетичним балансом дріжджової клітини на генному рівні вдалося знизити приріст біомаси і збільшити вихід етанолу при ферментації глюкози на 20 % у порівнянні із вихідним штамом.

Глобальна продукція рослинної біомаси становить  $200 \times 10^9$  т на рік, причому 90% біомаси складає лігноцелюлоза – гетеробіополімер, що складається з целюлози, різних геміцелюлоз та лігніну. Одними з основних цукрів гідролізатів лігноцелюлозних відходів є ксилоза та целобіоза, які не ферментуються пекарськими дріжджами. Тому здійснювались роботи по виявленню інших видів мікроорганізмів, що є потенційними продуцентами етанолу з гідролізатів лігноцелюлозних відходів. Одним з найкращих претендентів виявились неконвенційні дріжджі *Pichia stipitis*, однак, ефективність ферментації ксилози і целобіози природними штамми є недостатньою для забезпечення економічно вигідного промислового процесу. В ІБК НАН України здійснено метаболічну інженерію цього виду дріжджів. Було посилено експресію модифікованої версії першого гену катаболізму ксилози, що кодує ксилоредуктазу. Продуктивність етанольної ферментації ксилози у сконструйованого штаму перевищувала продуктивність вихідного штаму в 1,3 рази.

Відомо, що найкращими ферментаторами глюкози є сахароміцети. Однак ці організми нездатні ферментувати ксилозу, тому було здійснено коферментацію, використовуючи два мікроорганізми, рекомбінантний штам *P. stipitis* та штам дикого типу *S. cerevisiae* у оптимальному співвідношенні клітин 1:1. Результати

цих досліджень дозволили розробити лабораторний і напівпромисловий регламенти отримання етанолу з гідролізатів рослинної біомаси на базі ПП «Експрес» (м. Охтирка, Сумська обл.), що дає можливість масштабувати процес і розпочати налагодження виробництва етанолу з вищезгаданої сировини.

Ферментативний гідроліз (сахарифікацію) лігноцелюлозної біомаси можна проводити одночасно з мікроорганізмами, які ферментують вивільнені цукри до етанолу (одночасна сахарифікація та ферментація). В ІБК НАН України були виявлені термотолерантні дріжджі *Hansenula polymorpha*, що здатні активно ферментувати ксилозу при підвищеній температурі 48°C. Було здійснено додаткове підвищення термотолерантності цього виду дріжджів до 50°C. Вихід етанолу в отриманих рекомбінантних штаммах *H. polymorpha* збільшено загалом у 25 разів порівняно із штамом дикого типу, максимальна концентрація етанолу під час ферментації ксилози при 48 °C становила близько 15 г/л.

#### *Новітні технології виробництва і використання біопалива*

Новітні технології біоенергоконверсії для отримання біопалива базуються на проведених в останні 10-15 років фундаментальних й прикладних дослідженнях процесів трансформації органічних речовин. В Україні програми з виробництва біоетанолу паливного призначення почали здійснюватись з кінця минулого – початку нового століття. Розпочались вони з перепрофілювання спиртових заводів, які втратили ринки збуту харчового спирту. Ці роботи виконувались зокрема за науковими розробками ІХБГ НАН України:

- Розроблення технологій біосинтетичних паливних компонентів на основі етанолу з поновлюваної рослинної сировини.
- Розроблення концептуальних рішень зі створення агропромислових комплексів з переробки рослинної сировини в рідкі біопалива і використання побічних продуктів для енергетичного виробництва.
- Виробництво біосинтетичного компоненту рідких біопалив “Альтернативний Біосинтетичний Оксигенний Компонент-1” (АБОК-1), “Оксигенат Моторного Палива Альтернативний” (ОМП-А) із переважним вмістом етанолу на Будильському експериментальному заводі Держкоенергозбереження України та підприємстві ЗАТ “Еко-Енергія” Сумської обл.
- Виробництво комплексних паливних компонентів на основі етанолу та його похідних на підприємстві ЗАТ “Еко-Енергія”;
- Виробництво біопалива типу “БІО-100” для двигунів з іскровим запаленням на підприємстві ТОВ “Біохім-Груп”, Донецьк, потужністю 10 тис. т на рік.



- Розроблення технологій естерифікації рослинних олій етанолом і використання етилових естерів жирних кислот для отримання паливних композицій для дизельних двигунів з біоетанолом і вуглеводневими компонентами.

- Розроблення композицій рідких біопалив для двигунів внутрішнього згорання на основі біоетанолу та рослинних олій.

Науковцями ІХБГ та ІБК НАН України отримано ряд фундаментальних результатів, що дозволяють зрозуміти механізм ферментативних перетворень біополімерів рослинної сировини (целюлоза та геміцелюлози). Ці полімери трансформуються у прості цукри, що є субстратами для мікроорганізмів-продуцентів одноатомних спиртів. Подальше виділення та концентрування цих спиртів дозволяє отримувати компоненти рідинних біопалив. Вивчені механізми і встановлені межі резистентності клітин продуцентів до високих концентрацій етанолу та бутанолу. Визначені особливості споживання компонентів складних субстратів при їх мікробіологічній трансформації у цільові продукти.

Дослідження також були спрямовані на розробку біотехнології виробництва етанолу з такої сировини, як цукрове сорго та пальчасте просо, яке поєднує в собі сировину як першого (моно- та олігосахариди) та другого (лігноцелюлоза) покоління. Цукрове сорго не належить до традиційних культур харчового призначення, тому його переробка в біопалива не викликає такої гострої критики, як використання кукурудзи та пшениці. Крім того, стебла сорго можуть бути повністю використані у виробництві: у першу чергу цукри - на виробництво біоетанолу, а соргова багаса (жмих) як тверде паливо для генерації технологічної пари, а потім – як сировина 2-го покоління. Для переходу на сировину 2-го покоління не потрібно буде створювати нове підприємство – достатньо дооснастити існуюче декількома позиціями спеціалізованого обладнання.

Вищезазначене не вичерпує усіх переваг цукрового сорго. Лігноцелюлоза стебла в процесі екстрагування з неї цукру піддається гідротермічному впливу, який полегшує подальший ферментативний гідроліз полісахаридів. Таким чином, стає можливим отримання частково підготовленої для подальшої переробки сировини другого покоління. Завод, що перероблятиме цукри сорго в біоетанол, може стати базовим підприємством для впровадження інноваційних технологій, переробляючи надлишок лігноцелюлозної біомаси не лише сорго, а й такої перспективної культури, як пальчасте просо. На підприємстві ВАТ “Шепетівський цукровий завод” в промислових умовах перевірена технологія комплексної переробки соку та стебел цукрового сорго, соломи пальчастого проса з отриманням розчину простих цукрів для подальшої ферментації в етанол. В промислових умовах

ферментація була проведена на Будильському експериментальному заводі ЗАТ «Еко-Енергія», і з продуктів ферментації отримана дослідна партія паливного оксигенату з вмістом етанолу та вищих спиртів. Результати роботи наразі патентуються та готуються до промислового впровадження.

На основі теорії нечітких множин і нечіткої логіки в НУБіП України розроблено модель адаптивного технологічного процесу етерифікації олій розчином лужного каталізатора в метанолі, яка дозволяє визначати очікувані показники промислового виробництва метилових ефірів жирних кислот в залежності від характеристик сировини та технологічних режимів реакторів періодичної та безперервної дії.

Істотно розширені й деталізовані наукові основи зброджування органічних матеріалів, базовані на положеннях теорії розпаду органічної речовини в анаеробних умовах, створених штучно або існуючих у природних середовищах (полігони ТПВ). Механізм розпаду органічної речовини в анаеробних реакторах реалізують через протікання чотирьох, пов'язаних між собою, стадій. Ефективність анаеробного зброджування оцінюється за ступенем розпаду органічної речовини, виходом та складом біогазу, які визначаються хімічним складом вихідної органічної субстанції, що подається в реакційне середовище, а також основними технологічними параметрами процесу, такими як доза завантаження біореактору, температура в реакційному середовищі, концентрація органічної речовини тощо. Зелена маса рослин, що в своєму складі має відносно вищий вміст органічного вуглецю, є однією з перспективних органічних субстанцій, додавання якої дозволяє інтенсифікувати процес анаеробного зброджування гною, гноївки, посліду тощо.

В останні 6 років фахівцями установ, що підготували монографію, на різних режимах і живильних субстратах агропромислового і комунального походження опрацьовано технології виробництва біогазу та рідких органічних добрив високої якості. Досліджено процеси метаноутворення при переробці моносубстратів та полікомпонентних органічних сумішей. Проведена серія експериментальних досліджень для визначення ефективності сумісного анаеробного зброджування гноївки з силосом кукурудзи, сінажем, відходами овочів та фруктів при температурних режимах  $22\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $35\pm 1^\circ\text{C}$  та  $53\pm 1^\circ\text{C}$ . Оцінено вихід біогазу, склад біогазу ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), ступінь розпаду органіки для кожного субстрату та їх сумішей. Важливим чинником якості твердого біопалива є технологія приготування біомаси до спалювання. Вона обумовлює конструктивно-технологічне виконання теплотехнічного обладнання, істотно впливає на економічні показники його роботи. Науковцями

Національного університету біоресурсів і природокористування (НУБіП України) розроблено технології збирання і переробки біомаси як основного біологічного ресурсу біоенергетики. В них використовуються спеціалізовані установки з гранулювання й брикетування біомаси. Результати розробки проблем енергетичного використання біопалив з рослинної маси втілилися в створенні нового покоління технологій й опалювальних пристроїв, що мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії у межах від 80 до 90%.

#### *Технічні засоби біоенергоконверсії*

Вищезгадані роботи дозволили визначити напрями технологічних розробок і реалізувати їх на практиці. Отримані наукові результати дозволили розпочати впровадження технологічних і концептуальних рішень на значно потужніших об'єктах – заводу з переробки кукурудзи в біоетанол ТОВ “Корон-Агро” продуктивністю 100 тис. т біоетанолу на рік в м. Золотоноша Черкаської обл., заводу з виробництва біоетанолу ТОВ “АМГ-Агрохолдинг” продуктивністю 90 тис. тонн біоетанолу на рік у м. Чернівці, концептуальних рішень з переробки біомаси пальчастого проса, цукрового сорго та топінамбуру в біопалива. Розроблено технологічний проект заводу з переробки цукрового сорго в біоетанол на підприємстві АТЗТ “Сластена”, Бутурліновський р-н Воронежської обл. Росії. Розроблена концепція та основні технологічні рішення з репрофілювання підприємства Combinatul de Produse Alimentare в м. Бельці, Республіка Молдова в завод з виробництва біоетанолу та рідких біопалив на його основі (15 тис. т біоетанолу на рік).

Тільки на основі розвиненого виробництва біоетанолу із сировини першого покоління може формуватися промислова біотехнологія переробки в етанол лігноцелюлозної сировини – деревини, соломи, відходів сільського господарства та ін. Це невичерпне сировинне джерело другого покоління найближчими роками доповнить, а надалі замінить значну частину традиційної сировини для рідинних біопалив – не лише етанолу, але й біобутанолу, інших продуктів ферментації.

За підтримки Кабінету Міністрів України, міністерств, державних агенств та організацій здійснюється будівництво та реконструкція цілого ряду об'єктів з виробництва біодизелю, біоетанолу, біогазу. Запропоновані технологічні рішення дозволяють скоротити енергетичні витрати на виробництво біопалив, як це досягнуто в кращих світових аналогів. Окремі концептуальні рішення, представлені в роботі, дають можливість підприємствам з виробництва біопалив повністю перейти на енергетичне самозабезпечення за рахунок використання відходів біомаси як палива.

Розроблено типорозмірні ряди технологічного обладнання з виробництва дизельного біопалива продуктивністю від 1-ї до 10-ти тонн на добу. При модульній комплектації ліній, технологію з “холодним” способом віджиму олії рекомендовано застосовувати при обсягах виробництва до 30000 т/рік дизельного біопалива. Введено в експлуатацію перший пілотний завод з продукування біодизелю навчально-наукового призначення.

Обладнання заводу успішно пройшло державні приймальні випробування в УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого та поставлене на виробництво на вітчизняних підприємствах. Якість дизельного біопалива відповідає вимогам ДСТУ 6081:2009. Національним університетом біоресурсів і природокористування України та кількома вітчизняними машинобудівними заводами розроблено серію обладнання для регіональних заводів продуктивністю від 1-ї до 10-ти тонн палива на добу.

Водночас, поряд з традиційними вузько орієнтованими альтернативними виробництвами тих чи інших видів біопалив, авторами реалізовано пілотний проект UNIDO з чистого виробництва в сфері біоенергетики. Розроблені проекти ліній виробництва дизельного біопалива від 300 до 10000 т/рік. При модульній комплектації таких ліній технологію з “холодним” способом віджиму олії можна ефективно застосовувати при виробництві до 30000 т/рік дизельного біопалива. На більш потужних (промислових) установках олію продукують за технологічними регламентами оліє-екстракційних заводів. Спільно з вітчизняними машинобудівними заводами, зокрема ТОВ "ТАН" з Чернігова, запропоноване відповідне обладнання технологічних ліній (з очисткою біодизелю на рівні європейських норм).

Здано в експлуатацію завод з виробництва біодизелю навчально-наукового призначення. Це підприємство складається з трьох технологічних ліній, а саме: ліній виробництва олії ЛВРО-ЕКО-БІО, підготовки олії до естерифікації ЛПРО-ЕКО-БІО та виробництва дизельного біопалива ЛВДБ-ЕКО-БІО. Якість дизельного біопалива на виході лінії ЛВДБ-ЕКО-БІО відповідає вимогам чинного СОУ 24.14-37-561:2007 та ДСТУ 6081, що введено в дію з 1.03.2010 р.

Залежно від технології, устаткування, додаткових кінцевих продуктів (комбікорми, пічне паливо тощо), а також виробничої потужності ліній виробництва рослинної олії (рентабельність – 80%), дизельного біопалива (15-25%), а також комбікормів і твердого біопалива (30-60%) агропромислові та біоенергетичні підприємства можуть отримувати стабільний прибуток і окупити затрати за 1,5–2 роки. Виробництво біогазу традиційно здійснюють при ферментації відходів тварин, таких як гноївка чи гній. Ці відходи можна перемішувати з іншими господарськими відходами або відходами

переробки сировини харчової промисловості. Авторами створено спеціалізовану лабораторію для напрацювання маточної культури метаноутворюючих бактерій. Завдяки використанню цієї науково-виробничої бази на різних режимах із різноманітними живильними субстратами опрацьовано технології виробництва біогазу та рідких органічних добрив високої якості.

Завершуються проектні роботи із створення біогазової установки нового покоління для виробництва біогазу і органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату, яку розробляють автори спільно з австрійськими колегами Університету VOKU і компаній BauerTech й Heat Bioenergy. Установка перероблятиме щорічно близько 17-18 тис. т багатокомпонентного субстрату й виробляти щодоби до 3500 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану на рівні 50-60%. Когенераційна установка розрахована на продукування 330 кВт електричної та 380 кВт теплової енергії. Крім того, пілотна біогазова установка щорічно видаватиме для потреб навчально-дослідних господарств НУБіП України, розміщених в Київській області, близько 3,3 твердих і 14,5 тис. т рідких органічних добрив високої якості.

**Висновок.** Зусиллями науковців, конструкторів та машинобудівників в Україні розроблено та освоєно виробництво комплексу технічних засобів енергоконверсії біоресурсів. Розроблене за безпосередньою участю авторів вітчизняне обладнання за технологічними показниками та технічними характеристиками відповідає рівню кращих світових зразків, а за ціною в 2,5-3 рази дешевше. Впровадження новітніх технологій біоенергоконверсії сприяє створенню нових робочих місць (переважно в сільській місцевості), розвитку місцевої економіки, призводить до значного екологічного ефекту (за рахунок зниження викидів парникових газів, а також викидів сірки). Розрахункова річна економія коштів завдяки заміщенню природного газу біомасою складає 10,2 мільярди гривень, що у 1,8 рази більша за величину прямих інвестиційних витрат, необхідних на запровадження новітніх технологій виробництва біопалива й відповідного парку обладнання, що виготовляють вітчизняні машинобудівні заводи.

*В статтє изложена методология системы использования биоресурсов в технологиях получения биотоплива.*

***Биотопливо, биоресурс, система, технология.***

*In paper the methodology of system use of biological resources in technology for biofuels.*

***Biofuels, bioresources, system, technology.***