



**ДОЛІНСЬКИЙ  
Анатолій Андрійович** — академік НАН України, завідувач відділу тепломасообміну в дисперсних системах, почесний директор Інституту технічної теплофізики НАН України



**ОБОДОВИЧ  
Олександр Миколайович** — доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України

## РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ ЯК КОМПОНЕНТА СУМІШЕВИХ ПАЛИВ

*У статті проаналізовано розвиток біопаливної галузі, зокрема виробництва біоетанолу, у світі загалом і в Україні зокрема. Зазначено, що в Україні біоетанол отримують переважно з меляси. Розглянуто перспективи виробництва біоетанолу другого покоління, який виготовляють з непридатної для харчового споживання сировини — лігноцелюлозної біомаси (побічні продукти сільського господарства, відходи лісгосподарської діяльності, муніципальні відходи тощо). З метою зниження енерго- та ресурсовитрат у виробництві біоетанолу з лігноцелюлозної біомаси в Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено універсальну тепломасообмінну установку, яка дозволяє одночасно в одному апараті проводити процеси диспергування, розчинення, нагрівання, гідролізу.*

**Ключові слова:** біоетанол, крохмалевмісна сировина, цукровмісна сировина, лігноцелюлозовмісна сировина, ДІВЕ-технологія, універсальна тепломасообмінна установка.

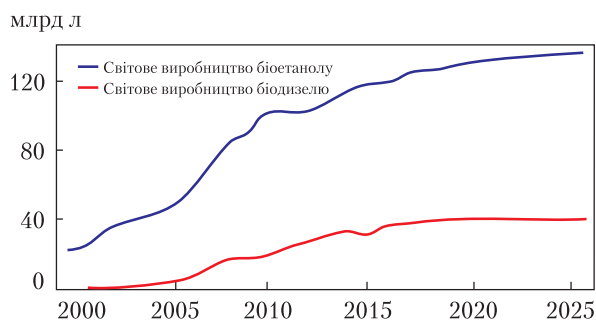
Зараз у всьому світі відбуваються глобальні зміни у структурі виробництва енергії. Ці тенденції вже привели до того, що на сьогодні частка різних видів біопалива в загальному обсязі споживання енергії становить близько 14% (рис. 1). У сільському господарстві 17% врожаю кукурудзи, 19% цукрової тростини і 13% виготовленої рослинної олії спрямовуються на виробництво біопалива. Біопаливо — продукт з високою доданою вартістю. Його випуск вирішує відразу кілька завдань, що стоять перед сільгосптоваровиробниками:

- дозволяє підвищити загальну рентабельність виробництва;
- розширює ринок збуту;
- дає можливість ефективно переробляти некондиційну продукцію та відходи сільгоспвиробництва.

Виробники біопалива є ефективним каналом впровадження передових наукових розробок та важливою частиною загальної системи підтримки досліджень у галузі біотехнології та енергетики.



**Рис. 1.** Структура споживання енергії в світі (за даними World Bioenergy Association, 2016 р.)



**Рис. 2.** Динаміка і прогноз світового виробництва біоетанолу та біодизелю

З точки зору глобального сталого розвитку головна перевага біопалива полягає в тому, що це — поновлюваний ресурс. Крім того, використання біопалива є нейтральним щодо викидів CO<sub>2</sub>. На відміну від вітроенергетики, додаткова інфраструктура, необхідна для виробництва і використання біопалива, мінімальна. Системні переваги біопалива і підтримка цього напрямку в багатьох країнах, починаючи з 2000 р., забезпечили швидке зростання у світі виробництва моторного біопалива — біоетано-

лу та біодизелю. Причому виробництво біоетанолу є більш перспективним, ніж біодизелю (рис. 2).

Світовим лідером з виробництва моторного біопалива є Сполучені Штати Америки. Виробляючи майже 15 800 млн галонів (за даними на 2017 р.), США випереджають найближчого конкурента — Бразилію більш ніж удвічі (рис. 3). У Бразилії 90% автомобілів, що випускаються в країні, оснащено двигунами, призначеними для функціонування на етанолі: 3 млн автомобілів їздять тільки на етанолі, а ще 16 млн — на суміші етанолу і бензину. У США 12% автомобілів працюють або можуть працювати на альтернативному паливі, зокрема на етанолі. Значного поширення у Сполучених Штатах набув так званий газохол — бензин, що містить 10% спирту. Застосування газохолу допускається всіма великими виробниками автомобілів без будь-якої переробки двигуна.

Як уже зазначалося, частка біопалива у загальному світовому споживанні енергії становить 14%, але з них лише 4% припадає на сучасні види біопалива — біоетанол і біодизель, а решта — це традиційні дрова, деревне вугілля тощо. У деяких регіонах світу, наприклад у Центральній Африці, частка традиційного біопалива в загальному енергетичному балансі перевищує 60%, а в країнах Південно-Східної Азії залишається на рівні 20–25%. Для порівняння, частка таких джерел енергії в Європі становить лише 0,3%, в США — наближається до нуля.

Світовим лідером з використання біологічних джерел енергії є Швеція. Частка різних видів біопалива в загальному обсязі виробництва енергії становить близько 35%, з них понад третина припадає на промислове використання.

Біоенергетика — великомасштабне виробництво, в якому ключовим фактором є наявність орних земель. У цьому плані Україна має сильну конкурентну позицію. Важливу роль відіграє також розвиток пов'язаних з біоенергетикою технологій — мікробіологічні виробництва біоетанолу, технології спільного спалювання для використання відходів сільськогосподарства у виробництві енергії тощо. Це

ефективний інструмент розвитку цілого кластера інноваційних технологій, орієнтованих як на внутрішній, так і на світовий ринки.

Основний напрям використання біоетанолу пов'язаний з отриманням сумішевих палив (етанол + бензин) з високим енерговмістом (табл. 1).

Для біоетанолу та сумішевих бензинів на його основі використовують спеціальні позначення: E5, E10, E85 (E – від англ. ethanol, цифрові індекси – процентний (в об'ємних частках) вміст біоетанолу в паливі). У світі найбільш поширені суміші E5, E10 і E85, крім того, в Бразилії виробляють і використовують як моторне паливо й чистий біоетанол – E100 (табл. 2).

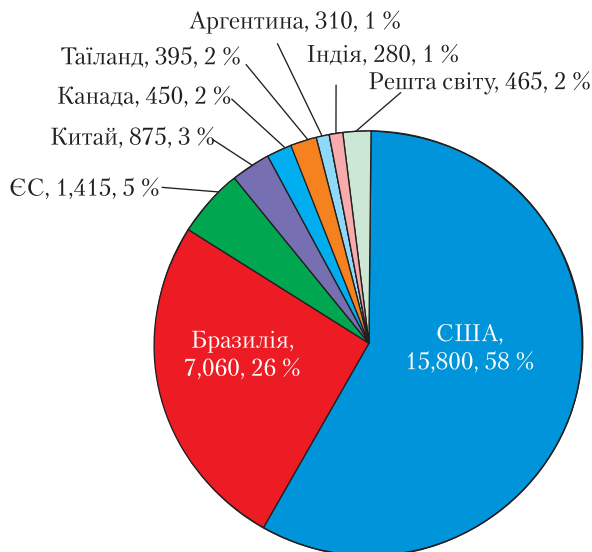
Паливний етанол – найпопулярніша добавка до бензину. Біоетанол як паливо має як

**Таблиця 1. Порівняльні показники енерговмісту різних видів палива**

Вид палива	Енерговміст, МДж/л
E100	23,5
E85	25,2
E10	33,7
Бензин автомобільний	34,8
Бензин авіаційний	33,5
Дизельне паливо	38,6
Автомобільне газове паливо	26,8

**Таблиця 2. Поширені марки паливних сумішей етанол–бензин [2]**

Країна	Марка	Характеристика
США	E10	Газохол (10%-ва суміш етанолу з бензином)
Бразилія	E70-E85 E25-E75 E100	У різних регіонах співвідношення етанолу і бензину варіюються. Суміші з найвищим вмістом етанолу застосовують для заправки адаптованих автомобілів Flex-Fuel
Європа	E5	Суміш з неетильованим бензином
	E85	Наразі мало поширена



**Рис. 3.** Світове виробництво моторного біопалива (за даними Renewable Fuels Association, 2017 р.), млн галонів

очевидні переваги, так і низку серйозних недоліків.

До безперечних переваг біоетанолу належить низька токсичність, практично повна відсутність СО в продуктах згоряння і біорозкладання, можливість підвищення ефективності використання ресурсів сільського господарства, зменшення залежності від нафти, послаблення парникового ефекту тощо.

Основними недоліками біоетанолу є використання харчової сировини, нестабільні врожаї деяких рослин – джерел біомаси, низька ефективність ферментувальних мікробів, гігроскопічність, підвищені витрати і низька теплота згоряння етанольного палива (порівняно з нафтовим) [1]. Слід зазначити, що в багатьох наукових центрах світу зараз ведуться активні дослідницькі роботи з метою подолання перелічених недоліків використання етилового спирту як палива, а тому можна сподіватися, що найближчим часом цю проблему вдасться вирішити.

Сировиною для виробництва біоетанолу є крохмале-, цукро- та лігноцелюлозовмісна сировина.

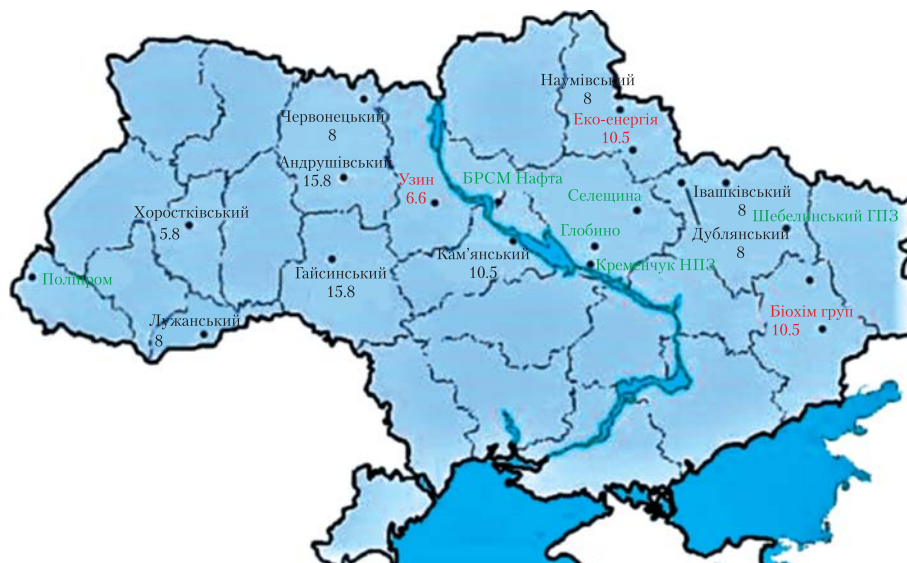


Рис. 4. Розміщення заводів з виробництва біоетанолу на території України

У процесі виробництва біоетанолу з крохмалевмісної сировини насамперед потрібно зруйнувати макромолекулярний ланцюжок крохмалю. При цьому отримують велику кількість глюкозних ланок, які являють собою розчин цукрів і можуть бути перетворені на етанол за допомогою дріжджів. У Північній Америці і Європі як крохмалевмісну сировину переважно використовують кукурудзу і пшеницю. Крім того, сировиною для виробництва етанолу можуть бути цукрова тростина, буряк, бульби картоплі, топінамбура, маниоки, відходи цукрового виробництва тощо [3].

Одним з найпривабливіших напрямів отримання біоетанолу є використання лігноцелюлозовмісних відходів сільського господарства і деревообробки. У процесі перетворення такої сировини на біоетанол головним завданням є її попередня підготовка до ферментації [4]. Для руйнування міцної структури лігноцелюлозного комплексу і видалення лігніну потрібен частковий або повний гідроліз геміцелюлози і переведення кристалічної целюлози в аморфний стан, придатний для подальшої переробки.

На початковому етапі гідролізу проводять попередню підготовку (обробку) лігноцелюлози з метою руйнування структури клітинної

стілки деревини для вилучення геміцелюлози і полегшення доступу гідролітичних ферментів, а отже, підвищення реакційної здатності целюлози. Передобробка може здійснюватися різними фізичними методами [5]: оброблення  $\gamma$ -променями, потоком електронів, НВЧ-випромінюванням [6], нагрівання, охолодження, оброблення за підвищеного або зниженого тиску, під дією ультразвукових коливань тощо.

Усі відомі способи переробки відходів рослинної сировини можна розподілити на три групи: механічні (розмелювання), хімічні (конверсія), біологічні (біоконверсія). В біотехнологіях ці способи зазвичай поєднують.

Сьогодні біоетанол з лігноцелюлозної сировини є неконкурентоспроможним на ринку рідкого палива через його високу собівартість. Зниженню собівартості такого біоетанолу може сприяти вдосконалення процесу гідролізу і створення економічно ефективного та екологічно чистого виробництва.

Економічна ефективність виробництва біоетанолу залежить насамперед від виду сировини й технологій її підготовки до біоконверсії.

Відомі порівняльні економічні розрахунки собівартості біоетанолу із зерна та деревини (виробничі дані). У структурі собівартості ета-

нолу із зерна витрати на сировину і ферментні препарати становлять 62–70%. У гідролізно-му виробництві етанолу з відходів переробки деревини витрати на сировину оцінюються у приблизно 12% його собівартості. Досить велику частку витрат на сировину в першому випадку можна пояснити високими цінами на ферментні препарати — витрати на них становлять 5% повної собівартості продукції, проте процес отримання біоетанолу із зерна характеризується низькими витратами теплоенергоресурсів. У разі виробництва етилового спирту з деревини найбільші витрати припадають на теплоенергоресурси (40%) та покриття постійних витрат (близько 40%) [7].

Розвиток виробництва біоетанолу в Україні є актуальним, проте відбувається досить повільно. Власний видобуток сировини (нафти і газових конденсатів) забезпечує можливість виробництва лише 20% від необхідної кількості, решту бензину виробляють з імпортованої нафти або завозять паливо із сусідніх країн.

Бензинову залежність України можна істотно знизити, розвиваючи виробництво і розширюючи сфери використання альтернативних видів палива, зокрема біоетанолу. На карті (рис. 4) наведено приблизне розміщення діючих підприємств з виробництва біоетанолу. Зараз в Україні є 12 виробників біоетанолу, з них 9 заводів державної форми власності, які перебувають в оренді у приватних компаній, а 3 заводи — приватні. Зацікавленість інвесторів цим видом діяльності з'явилася лише тоді, коли ціна літра бензину на заправках досягла рівня 1,25–1,35 дол. США. Собівартість етаноловмісних добавок на згаданих вище підприємствах становить 0,7–0,8 дол. США за літр. Змішані з дешевим прямогінним або газоконденсатним бензином, вони дають змогу отримувати бензин марки А-95 з низьким вмістом сірки і ароматичних вуглеводнів. Назви етаноловмісних добавок, які виробляють ці заводи, переважно є варіантами аббревіатури терміна «компонент моторного палива альтернативний»: КМПА, ОМПА, КБПА тощо.

На думку заступника директора з наукової роботи Інституту харчової біотехнології та ге-

номіки НАН України доктора технічних наук С.П. Циганкова, вживати термін «біоетанол» не варто з таких причин. Згідно з прийнятим національним стандартом, чинним з 1 січня 2011 р., біоетанол має містити не менш як 98,3% (об.) етанолу і не більш як 0,2% (об.) води. При цьому біоетанол є підакцизним товаром, хоча й з нульовою ставкою, і підлягає всім вимогам і правилам регулювання його виробництва і обігу:

- ліцензія на виробництво;
- податковий пост на підприємстві;
- супровід перевезення;
- особливі вимоги до обліку зберігання;

• оформлення банківського векселя в розмірі акцизного збору на харчовий спирт (приблизно 5 тис. дол. США за кубометр) при відвантаженні споживачеві з терміном погашення до 90 днів у разі використання біоетанолу за призначенням.

За таких умов усі виробники етаноловмісних паливних добавок уникають випуску саме біоетанолу відповідно до національного стандарту. Вони виробляють етанольну продукцію, яка формально не підпадає під товарну назву «біоетанол», тобто за складом відрізняється від вимог стандарту. Чотири з перелічених вище заводів продають свою продукцію нафтотрейдерам з власною мережею заправок. У бензинах марки А-95, які реалізуються на українських АЗС, міститься до 15% етанолу, яким замінюють більш дорогий метилтретбутиловий ефір. У продажі є також види палива, що містять до 40% етанолу, під власними торговими марками, наприклад «Pulsar-95», «А-95ек», «Ultimate-95». Завод «БіоХімГруп» організував власне виробництво біопалива А-95а з вмістом понад 30% етанолу і успішно його реалізує.

Сировиною для паливного етанолу в Україні поки що майже повністю є меляса — побічний продукт бурякоцукрового виробництва. Це пояснюється тим, що меляса, незважаючи на періодичні цінові сплески, наразі є найдешевшою сировиною для етаноловмісних добавок. Для виробництва 30 тис. т етаноловмісних компонентів за рік використовують 120 тис. т

меляси. На жаль, це сировинне джерело з кожним роком усе більше вичерпується. У 1991 р. в Україні діяло 192 цукрових заводи, які виробляли 5,3 млн т цукру і майже 2 млн т меляси на рік. У минулорічному сезоні 42 працюючих заводи виробили 1,82 млн т цукру. З огляду на те, що меляса є сировиною для виробництва багатьох видів продукції — від хлібопекарських дріжджів до харчових компонентів, потенціал виробництва м'ясного біоетанолу навряд чи перевищить 100 тис. т на рік.

Отже, як для вітчизняного, так і загалом для світового виробництва біоетанолу, актуальним є розроблення інноваційного енерго- та ресурсоощадного обладнання й технологій переробки лігноцелюлозної сировини (відходів сільськогосподарської та лісотехнічної промисловості).

Проблеми і труднощі, пов'язані з процесом перероблення лігноцелюлозної сировини в біоетанол, було описано вище. Шляхи їх подолання намагаються знайти вчені різних країн світу, в тому числі й науковці НАН України. Зокрема, співробітники Інституту харчової біотехнології та геноміки НАН України під керівництвом доктора технічних наук С.П. Циганкова розробили установку для зневоднення (дегідратації) спиртової пари при виробництві біоетанолу. Наразі в Україні працюють дві такі установки продуктивністю 3000 та 6000 дал на добу за зневодненим продуктом.

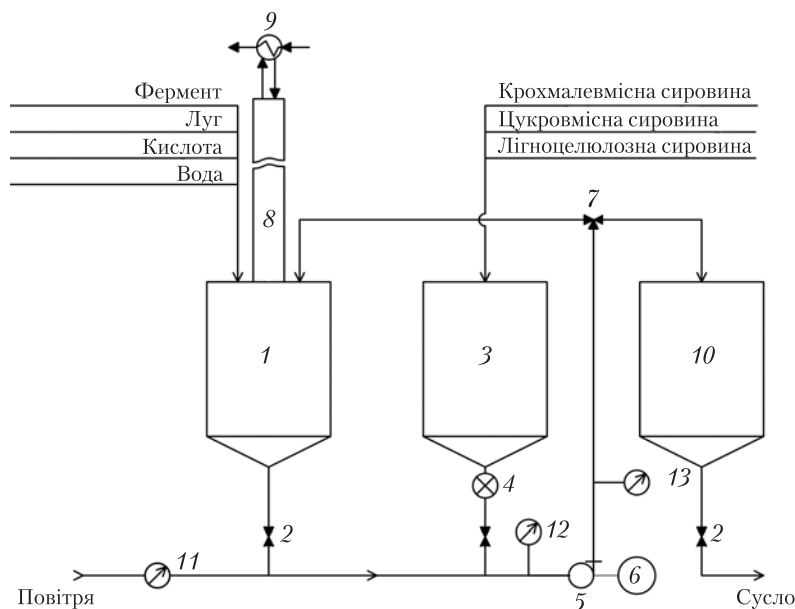
Вище вже було зазначено, що одним з найбільш технічно і технологічно складних питань виробництва біоетанолу з лігноцелюлозовмісної сировини є підготовка сировини до гідролізу, тобто процес приготування сусли. Для цього застосовують різні способи конверсії: хімічні, фізичні, біологічні та комбіновані, які реалізують за допомогою різноманітного обладнання й технологій.

Вчені НАН України поставили собі за мету розробити універсальне, багатофункціональне тепломасообмінне обладнання, за допомогою якого можна одночасно проводити різні процеси, що сприяють конверсії лігноцелюлозної сировини, а саме: диспергування, перемішування, нагрівання, розчинення, гідроліз,

ферментацію тощо. Вирішення поставленого завдання пов'язане із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення та трансформації енергії (ДІВЕ) як узагальнювального методу спрямованого, локального та інтенсивного використання концентрованої енергії в рідких дисперсних середовищах [8]. Ідея ДІВЕ полягає в тому, щоб попередньо стаціонарно введеної і довільним чином розподілену в робочому об'ємі енергію акумулювати (сконцентрувати) в локальних дискретних точках системи і надалі імпульсно реалізувати для досягнення необхідних теплофізичних ефектів. Мета ДІВЕ полягає в інтенсифікації тепломасообмінних і гідродинамічних процесів у технологічних середовищах, а також у створенні методики їх оптимізації і способів керування ними.

Реалізація методу ДІВЕ передбачає створення великої кількості рівномірно розподілених у дисперсному середовищі робочих органів чи робочих елементів, які трансформують стаціонарну теплову, механічну або інші види енергії в енергетично потужні імпульси, дискретні в часі і просторі. Ударні хвилі, які супроводжують ці явища, міжфазна турбулентність, мікрокавітація, проникні кумулятивні мікрострумені, вихори спричинюють на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея–Тейлора або Кельвіна–Гельмгольца, що приводить до інтенсивного дроблення дисперсних включень, значного збільшення сумарної поверхні контакту фаз і посилення процесів масо- і теплопереносу. Подібні ефекти часто недосяжні в разі використання традиційних методів обробки дисперсних середовищ, навіть за значно більшого рівня питомих енерговитрат.

Співробітниками Інституту технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України накопичено великий досвід з виготовлення різних видів енергоощадного тепломасообмінного обладнання, що дозволяє їм успішно реалізувати цей метод. Найчастіше його використовують у роторно-пульсаційних апаратах, які широко застосовуються в різних галузях промисловості: харчовій, фармацевтичній, хімічній, мікробіологічній, в агропромисловому комплексі тощо [9].



**Рис. 5.** Апаратурно-технологічна схема приготування сушла в технології біоетанолу:

- 1 – приймальний бункер;
- 2 – двоходовий кран;
- 3 – бункер для подачі сировини;
- 4 – дозатор;
- 5 – роторно-пульсаційний апарат;
- 6 – електродвигун;
- 7 – триходовий кран;
- 8 – ректифікаційна колона;
- 9 – дефлегматор;
- 10 – збірник готового сушла;
- 11 – ротаметр;
- 12 – вакуумметр;
- 13 – манометр

На думку фахівців, використання такого об'єднання при приготуванні сушла з лігноцелюлозної сировини може інтенсифікувати технологічний процес, а саме: зменшити тривалість попередньої підготовки, гідролізу та ферментації, збільшити кількість редуруючих речовин у суслі, знизити енерговитрати і загалом зробити цю технологію більш економічно привабливою. Співробітники ІТТФ НАН України розробили універсальний роторно-пульсаційний апарат (РПА), призначений для приготування сушла при виробництві біоетанолу. Схему технологічної лінії наведено на рис. 5.

Приготування сушла для виробництва біоетанолу за запропонованою схемою відбувається так. У приймальний бункер 1 подають воду, за необхідності (залежно від виду оброблюваної сировини) додають кислоту, луг, ферментні препарати та інші інгредієнти. Відкривають двоходовий кран 2 і приготовлений розчин подають у роторно-пульсаційний апарат 5, який одночасно є насосом. Потім відкривають триходовий кран 7 так, щоб розчин повертався в приймальний бункер 1. За 2–3 цикли прокачування через роторно-пульсаційний апарат всі інгредієнти розчину добре перемішуються. На 3–4-му циклі прокачування вмикають дозатор, який у встановлених пропорціях подає вихід-

ну сировину в потік розчину. Змішуючись з потоком, тверда вихідна сировина подається в робочі органи роторно-пульсаційного апарата (ротор, статор), де відбуваються одночасно процеси диспергування, розчинення, нагрівання, гідролізу. Одночасність цих процесів досягається завдяки впливу ударних хвиль, міжфазної турбулентності, кавітації та вихорів. Це дозволяє зруйнувати не лише структуру більш слабого крохмального комплексу (амілоза та амілопектин), а й міцну структуру лігноцелюлози з видаленням лігніну і переведенням кристалічної целюлози в аморфний стан, придатний для подальшої переробки.

Суміш рідкого розчину та переробленої сировини циркулює по контуру приймальний бункер 1 – роторно-пульсаційний апарат 5 від кількох хвилин до кількох годин. За цей час у суміші відбуваються процеси диспергування, перемішування, розчинення, нагрівання. Комплекс таких операцій забезпечує підготовку рослинної сировини до гідролізу. Після цього в приймальний бункер 1 подають ферментні препарати і знову в режимі рециркуляції проводять гідроліз полісахаридів до вуглеводів, які далі зброджуються. Після гідролізу готове сушло подають до збірника готової продукції. Далі біоетанол отримують за класичною схе-



**Рис. 6.** Зовнішній вигляд експериментальної універсальної установки для виробництва біоетанолу із застосуванням методу ДІВЕ

мою: зародження, брагоректифікація, зневоднення на молекулярних ситах.

Запропонована установка універсальна і дозволяє отримувати сусло для виробництва біоетанолу з цукро-, крохмале- та целюлозовмісної сировини (рис. 6).

Технологічна, енергетична та економічна привабливість такого способу полягає в тому, що процеси диспергування, перемішування, розчинення, нагрівання та гідролізу відбуваються одночасно з використанням одного виду обладнання.

**Висновки.** Виробництво біоетанолу є сектором біопаливної галузі, що наразі розвивається найбільш динамічно. На його частку припадає 85% світового виробництва біопалив. Найбільші країни-виробники — США і Брази-

лія — забезпечують 89% загальносвітового виробництва. В ЄС працює близько 50 заводів з випуску біоетанолу, які забезпечують 10–15% світового виробництва.

Головним напрямом використання біоетанолу є отримання паливних сумішей (етанол + бензин) з високим енерговмістом.

В Україні біоетанол отримують з меляси. Його річне виробництво становить 36 тис. т, що відповідає приблизно 0,7% світового виробництва. Для виробництва КМПА (компонент моторного палива альтернативний) в 99,85% випадків використовують біоетанол першого покоління, який виробляють з продовольчої сировини, багатої на цукор або крохмаль. Це спричинює протиріччя між популяризацією біопалива та забезпеченням продовольчої безпеки, особливо гострою ця проблема є у країнах Азії та Африки.

Перед світовою наукою та промисловістю постає завдання з розроблення економічно вигідної технології та обладнання для виробництва біоетанолу другого покоління, який виготовляють з непридатної для харчового споживання сировини — лігноцелюлозної біомаси, до якої відносять побічні продукти сільського господарства, відходи лісового господарства, багаторічні трави, муніципальні відходи тощо. Виробництво біоетанолу другого покоління порівняно з біоетанолом з крохмалевмісної сировини наразі залишається енерго- та ресурсозатратнішим через особливості структури целюлозовмісної сировини. Поєднання декількох методів обробки целюлозовмісної сировини в процесі попереднього оброблення при підготовці до гідролізу (кислотного або ферментативного) дозволяє збільшити ступінь конверсії біомаси та вихід продукту (біоетанолу) завдяки зменшенню ступеня кристалічності целюлозної матриці, розділенню основних компонентів сировини, забезпеченню кращого доступу гідролітичних ферментів (при ферментативному гідролізі) до поверхні матеріалу. Незважаючи на те, що комбіновані методи попередньої обробки в деяких випадках компенсують енергетичні витрати, пов'язані з етапом помелу, виробництво біоетанолу другого по-



коління залишається енерговитратнішим, ніж виробництво біоетанолу з крохмалевмісної сировини. Виходом може стати вдосконалення технології завдяки застосуванню енергоефективного обладнання, що працює за принципом ДІВЕ і дає можливість інтенсифікувати процес попередньої підготовки сировини до гідро-

лізу без збільшення енерго- та ресурсовитрат. Для зниження енерго- та ресурсовитрат у виробництві біоетанолу в ІТТФ НАН України розроблено універсальну тепломасообмінну установку, яка дозволяє одночасно в одному апараті проводити процеси диспергування, розчинення, нагрівання, гідролізу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cardona C.A., Sanchez O.J. Fuel Ethanol Production: Process Design Trends and Integration Opportunities. *Biore-source Technology*. 2007. **98**: 2415. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>
2. Bringezu S., Schutz H., O'Brien M., Kauppi L., Howarth R.W., McNeely J. Towards sustainable production and use of resources: assessing biofuels. United Nations Environment Programme, Washington, DC, 2009. P. 38.
3. Walker G.M. *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. Holstebro: Ventus Publishing ApS, 2010. P. 32.
4. Janick J., Whipkey A. *Trends in new crops and new uses*. Alexandria: ASHS Press, 2002. P. 17.
5. Budaeva V.V., Mitrofanov R.Yu., Zolotukhin V.N. Investigation of enzymatic hydrolysis of cereal processing waste. *Polzunovskiy vestnik*. 2008. (3): 322.  
[Будаева В.В., Митрофанов Р.Ю., Золотоухин В.Н. Исследование ферментативного гидролиза отходов переработки злаков. *Ползуновский вестник*. 2008. № 3. С. 322–327.]
6. Kisurin I.V., Arapov K.A., Gushchin P.A., Ivanov E.V., Vinokurov V.A. Prospects for the use of microwave radiation in the process of conversion of cellulose. *Bashkirskiy khimicheskii zhurnal*. 2010. **17**(3): 167.  
[Кисурин И.В., Арапов К.А., Гущин П.А., Иванов Е.В., Винокуров В.А. Перспективы использования микроволнового излучения в процессе переработки целлюлозосодержащего сырья. *Башкирский химический журнал*. 2010. Т. 17, № 3. С. 167–173.]
7. Yarotsky S.V., Sushkova V.I., Sineokiy S.P., Lukina G.P. Economic analysis of biobutanol production and its development prospects. Moscow, 2008.  
[Яроцкий С.В., Сушкова В.И., Синеокий С.П., Лукина Г.П. Экономический анализ производства биобутанола и перспективы его развития. М.: Деп. в ВИНТИ 10.04.2008, № 308. 65 с.]
8. Dolinskiy A.A. The principle of discrete-impulse energy input and its use in technological processes. *Visnyk of Academy of Sciences of Ukraine*. 1984. (1): 39.  
[Долінський А.А. Принцип дискретно-імпульсного введення енергії та його використання в технологічних процесах. *Вісник АН УРСР*. 1984. № 1. С. 39–46.]
9. Dolinskiy A.A. et al. *Micro- and nano-level processes in the technologies of DIEI*. Kyiv: Akadempriodyka, 2015.  
[Долінський А.А. и др. *Микро- и наноразмерные процессы в технологиях ДИВЭ*. К.: Академперіодика, 2015.]

A.A. Dolinsky, A.N. Obodovych

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

#### THE REALITIES OF THE PRESENT AND THE PROSPECTS OF THE PRODUCTION OF BIOETHANOL AS A COMPONENT OF MIXED FUELS

The development of the biofuel industry, in particular, the production of bioethanol in Ukraine and in the world in general, are analyzed in the paper. It is noted that in Ukraine bioethanol is obtained mainly from molasses. Prospects for the production of second-generation bioethanol, which is made from non-edible raw materials - lignocellulosic biomass (by-products of agriculture, forestry waste, municipal waste, etc) are considered. To reduce energy and resource consumption in the production of bioethanol from lignocellulosic biomass, the Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine has developed a multipurpose heat and mass exchange setup that allows simultaneous carrying out of processes of dispersion, dissolution, heating, hydrolysis in one apparatus.

**Keywords:** bioethanol, starch-containing raw materials, sugar-containing raw materials, lignocellulose-containing raw materials, DIEI- technology, multipurpose heat and mass exchange setup.