

# ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА З МІСКАНТУСУ

ГАНЖЕНКО О.М. - канд. тех. наук,

ГУМЕНТИК М.Я. - канд. с.-г. наук,

КВАК В.М. - канд. с.-г. наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

Швидкі темпи використання викопних енергоресурсів і глобальна зміна клімату планети викликають стурбованість у більшості населення світу. Як наслідок, одним із важливих питань екологічної та економічної політики Європейських країн постає підвищення ефективності використання енергоресурсів та пошук нових альтернативних джерел енергії, серед яких значної уваги приділяється відновлювальним джерелам енергії на основі органічної сировини та спеціально вирощеної біомаси багаторічних злакових культур [1, 2].

У сегменті біопаливної індустрії здійснюється активний пошук перспективних, нових і більш ефективних технологій вирощування та переробки сировини для виробництва твердих видів біопалива.

Серед широкого спектру високопродуктивних біоенергетичних культур вагоме місце посідає міскантус (*Miscanthus A.*) - багаторічна трав'яниста рослина з механізмом фотосинтезу C4, що належить до родини злакових. Назва походить від грецьких слів 'mischos' ніжка та 'anthos' квітка, і утворена способом поєднання цих компонентів. Відомо близько 40 видів рослини, які поширені в тропічній, субтропічній та помірній кліматичних зонах Азії, Африки й Австралії. Крім того, в даний час міскантус вирощується в Північній Америці та Європі в якості декоративних

рослин [3, 4, 5].

Для виробництва біопалива найбільший інтерес представляє міскантус гігантеус (*Miscanthus giganteus*), який є гібридом міскантусу китайського (*Miscanthus sinensis*) та міскантусу цукрокувкового (*Miscanthus sacchariflorus*). Він забезпечує стабільно високу врожайність сухої біомаси (до 25 т/га) та теплотворну здатність (5 кВт/год/кг або 18 МДж/кг), має низьку природну вологість стебел на час збирання (до 25%). Стебла міскантусу містять 64...71 % целюлози і можуть бути заввишки до 4 метрів, що обумовлює його високу енергетичну цінність (рис. 1).

Під час згорання біомаси міскантусу виділяється менша кількість вуглекислого газу, ніж було його абсорбовано рослинами в процесі фотосинтезу, тому використання біопалива з міскантусу не сприятиме парниковому ефекту. Крім того, вирощування міскантусу позитивно впливає на родючість ґрунту, оскільки після чотирьох років вирощування накопичується 15...20 т/га кореневищ, що еквівалентно 7,2...9,2 т/га вуглецю.

Разом з тим, на вирощування 1 тони міскантусу необхідно значно менше прямих експлуатаційних витрат, ніж на вирощування кукурудзи чи ріпаку. Тривалість використання плантації міскантусу становить близько 20 років, а комерційного вирощування близько 15

років. Біомасу можна збирати щорічно, починаючи з другого року після закладання плантації. Для збирання біомаси можна застосовувати звичайні комбайни, а отримана біомаса (щепа) може використовуватись безпосередньо на вироблення тепла або перероблятися в паливні брикети чи гранули. Одна тонна сухої маси міскантусу еквівалентна 420 кг дизельного палива (рис. 2).

Щепа міскантусу може використовуватись в якості біопалива на більшості твердопаливних котлів, обладнаних системою автоматичної подачі палива в камеру згорання. Однак, в разі транспортування на значні відстані, використання щепи міскантусу, стає мало ефективним, оскільки її насипна маса становить 0,117 т/м<sup>3</sup>. Для паливних гранул, виготовлених з міскантусу, цей показник становить 0,650 т/м<sup>3</sup>, тобто 1 тонна щепи займатиме у 5,5 раза більший обсяг порівняно з паливними гранулами.

**Технологія виробництва паливних гранул.** В основі технології виробництва паливних гранул і брикетів лежить процес пресування подрібненої біомаси міскантусу. Процес виробництва гранул складається з чотирьох етапів [6]:

- 1) Подрібнення біомаси
- 2) Сушіння (зволоження) біомаси
- 3) Гранулювання
- 4) Охолодження та пакування.



а)

б)

Рис. 1. Міскантус гігантеус 2 рік вегетації (Дослідне поле Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН): а) влітку; б) восени.

### Подрібнення біомаси

Для надійної роботи преса - гранулятора сировина (щепи) міскантусу попередньо подрібнюється до стану борошна. Фракція біомаси на вході в гранулятор повинна бути не більше 4 мм. Таку фракцію можуть забезпечити молотковий млин або стружковий верстат. Результати наукових досліджень свідчать, що на енергоємність процесу пресування значний вплив має ступінь подрібнення біомаси. Чим менший розмір частинок міскантусу після подрібнення, тим менші затрати енергії під час пресування. За подрібнення біомаси до мікрорівня за допомогою дезінтегратора відбувається руйнування клітин, в результаті чого процес пресування буде проходити з мінімальними енерговитратами. При цьому кінцевий продукт (гранули або брикет) матиме вищі показники щільності, твердості та теплотворної здатності.

### Сушіння біомаси

Біомаса міскантусу перед пресуванням за традиційною технологією повинна мати вологість  $10 \pm 2\%$ . Сировина з більшою або меншою вологістю вимагає додаткового сушіння або зволоження. Сушіння біомаси міскантусу може здійснюватися на сушарках двох типів: стрічкових і барабанних (рис. 3). За якістю, надійністю та безпечністю сушіння біомаси перевагу мають сушарки стрічкового типу, хоча їх вартість вища. В якості сушильного агента в сушарках може застосовуватись топковий газ, нагріте повітря або водяний пар. Паливом для сушарок здебільшого служить природний газ або відходи сільського господарства (солома, стебла, лузга) та деревообробної промисловості (тирса, щепи).

Сировина з вологістю менше 8% погано піддається гранулюванню, тому

### 1 т паливних гранул з міскантусу



=

1,2 т деревини;  
 515 м<sup>3</sup> природного газу;  
 420 кг дизельного палива;  
 460 кг мазуту;  
 820 кг кам'яного вугілля;  
 440 кг нафти.

Рис. 2. Енергетичний еквівалент міскантусу.

потрібне додаткове її зволоження у шнекових змішувачах за допомогою води або водяної пари. Пар застосовують для зниження міцності й збільшення пластичності сировини міскантусу. Гранулятори деяких виробників через конструктивні особливості не потребують обробки паром. Доцільно застосовувати обробку паром для старої злежаної біомаси, але з такої сировини складно отримувати гранули високої якості.

### Гранулювання

Після сушки (зволоження) сировина потрапляє у гранулятор, в якому борошно із міскантусу пресують у паливні гранули. Під дією сил тертя та адіабатичних процесів, що відбуваються під час різкого стиснення біомаси міскантусу, температура в робочій зоні преса сягає 100 °С. Через високу температуру лігнін, який міститься у структурі біомаси міскантусу, розм'якшується і склеює частинки в щільні циліндри. Тому паливні гранули з сировини міскантусу мають вищу щільність та меншу гігроскопічність.

Гранулювання відбувається на спеціальних пресах з циліндричною або плоскою матрицею 1, на робочій

поверхні якої розміщено декілька рядів отворів (рис. 4). У процесі роботи роторні вальці 2 перекочуються по поверхні матриці, створюючи контактне напруження змінання біомаси. Таким чином, під дією вальців біомаса продавлюється через отвори в матриці, зрізання сформованих гранул здійснюється спеціальними ножами. Питоме споживання електроенергії під час гранулювання складає від 30 до 50 кВт-год на 1 тону.

Сьогодні існує кілька десятків виробників пресів з різних країн світу (CPM, Andritz, Salmatec, Amandus Kahl, Buhler, Munch та багато інших).

Конструкція преса з циліндричною матрицею розроблялась для комбікормової, харчової та хімічної промисловості, а прес з плоскою матрицею для утилізації промислових і побутових твердих відходів. На сьогоднішній день преси обох модифікацій можуть бути використані для виробництва паливних гранул з біомаси міскантусу.

### Охолодження і пакування

Як зазначалось раніше, у процесі гранулювання відбувається сильне нагрівання гранул, що істотно знижує їх міцність. Для охолодження та позбав-

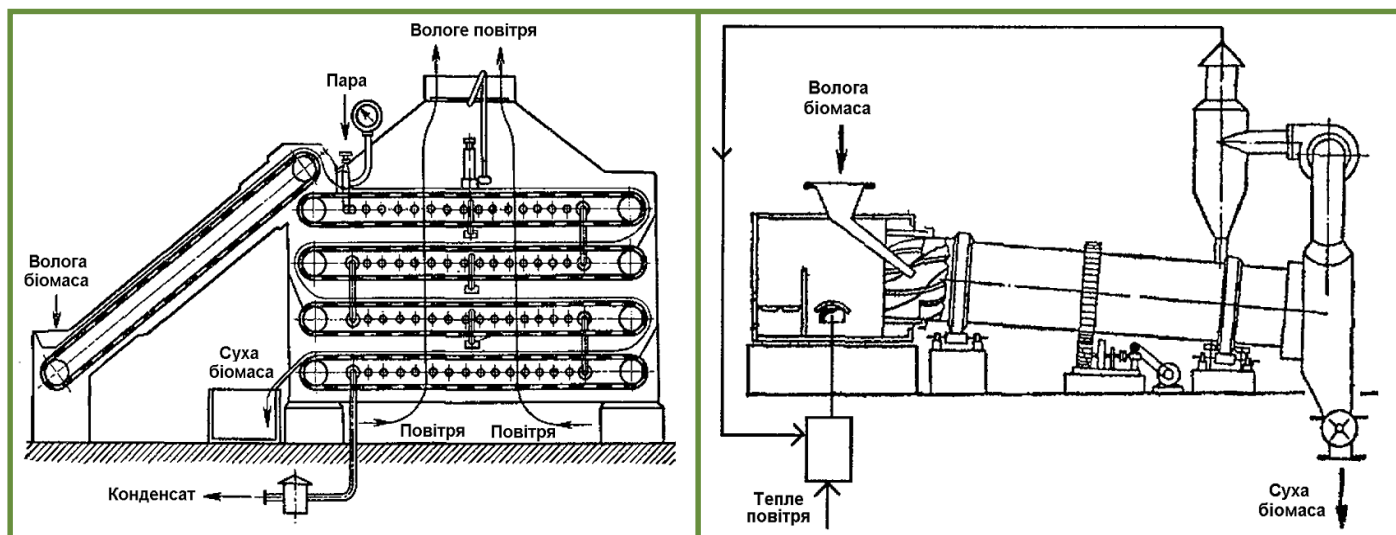


Рис. 3. Сушарки біомаси міскантусу: а) стрічкова; б) барабанна.



Вимоги Європейських стандартів до пелет [7]

Таблиця 1.

Показник	DIN 51731	O-Norm M 7135	DIN plus	SS 18 71 20
	Німеччина	Австрія	Німеччина	Швеція
Діаметр, мм	4-10	4-10		<25
Довжина, мм	<50	<5xd	<5xd	<5xd
Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	>1,0-1,4	>1,12	>1,12	*
Вологість, %	<12	<10	<10	<10
Насипна маса, кг/м <sup>3</sup>	650	650	650	>500
Брикетний порошок, %	*	<2,3	<2,3	*
Зольність, %	<1,5	<0,5	<0,5	<1,5
Теплотворна здатність, МДж/кг	17,5-19,5	>18	>18	>16,9
Вміст сірки, %	>0,08	>0,04	>0,04	>0,08
Вміст азоту, %	>0,3	>0,3	>0,3	*
Вміст хлору, %	>0,03	>0,02	>0,02	>0,03
Миш'як, мг/кг	>0,8	*	>0,8	*
Свинець, мг/кг	>10	*	>10	*
Кадмій, мг/кг	>0,5	*	>0,5	*
Хром, мг/кг	>8	*	>8	*
Мідь, мг/кг	>5	*	>5	*
Ртуть, мг/кг	>0,05	*	>0,05	*
Цинк, мг/кг	>100	*	>100	*

\* величина не регламентується.

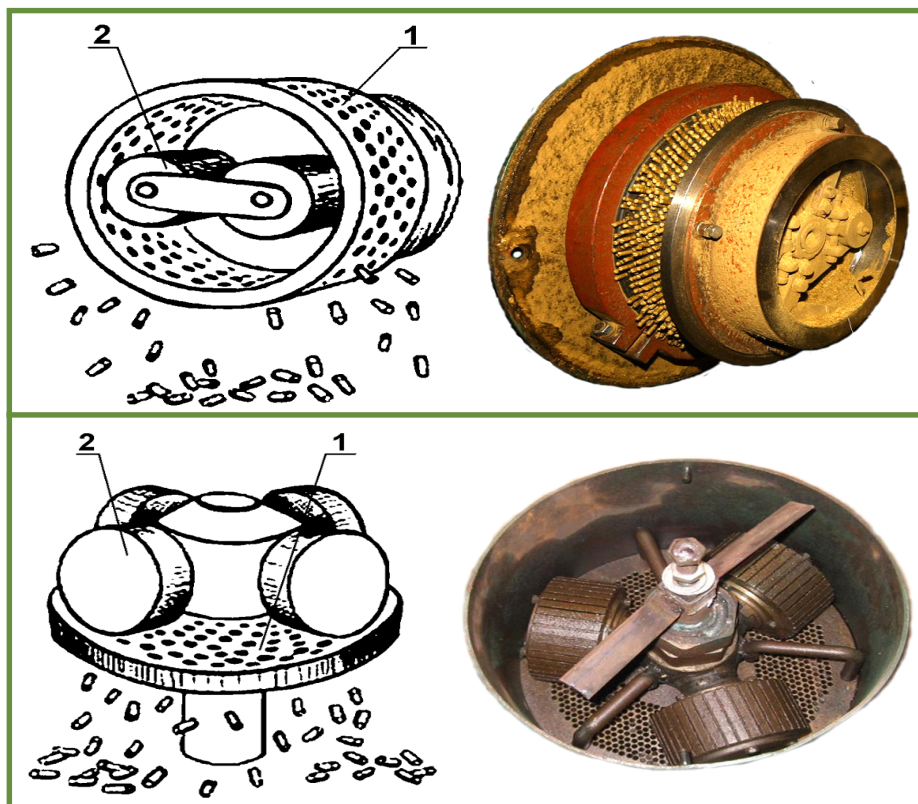


Рис. 4. Прес з циліндричною (а) та плоскою (б) матрицею.

лення зайвої вологи паливні гранули з преса потрапляють на транспортер (норію), яким подаються в колону охолодження через шлюзовий затвор. Потік повітря, створений вентилятором циклону, проходить через шар гранул, охолоджуючи їх. Колони охолодження спроектовані таким чином, що потік повітря рухається у зустрічному напрямку відносно гранул, при цьому вже охолоджені паливні гранули першими зустрічаються з холодним повітрям.

Така технологія дозволяє уникнути ефекту «теплого шоку», коли під впливом холодного повітря поверхня гранул швидко охолоджується і покривається сухою кіркою, в той час як серцевина гранули залишається вологою. Крім того, потоком повітря відділяється пил і дрібна фракція, які виводяться через циклон.

У процесі охолодження вологість гранул знижується, пелети набувають необхідну міцність, вологість і температуру. З колони охолодження гранули потрапляють на стіл розсіювання, на якому некондиційні гранули та уламки відділяються від готового продукту. Весь відбракований матеріал надходить на вторинну переробку, завдяки чому досягається безвідходність виробництва.

Після охолодження та додатково го очищення готові паливні гранули стрічково-скребковим транспортером подаються у фасувальну тару. Пакування гранул для промислових споживачів здійснюється у великі мішки (біг-беги) масою 620-1000 кг або насипом у контейнери масою від 10 до 20 т. Для приватних і невеликих промислових споживачів паливні гранули фасуються у маленькі поліетиленові пакети масою 15-25 кг.

Належне виконання усіх технологічних операцій (подрібнення, висушування, гранулювання, охолодження та фасування) дають змогу отримати належні характеристики готової продукції. Головні показники якості паливних гранул, визначення європейськими нормативними документами наведені у таблиці.

**Паливні брикети.** З біомаси міскантусу можна виготовляти також паливні брикети, технологія виробництва яких схожа з технологією гранулювання, але є більш простою.

Основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність брикету, є його щільність. Чим щільніший брикет, тим вищі показники його якості. Якість брикетів також у значній мірі залежить від вологості біомаси, оптимальне значення якої для міскантусу становить 8-10%. За більш високої вологості внутрішній тиск води, що виникає під час стиснення

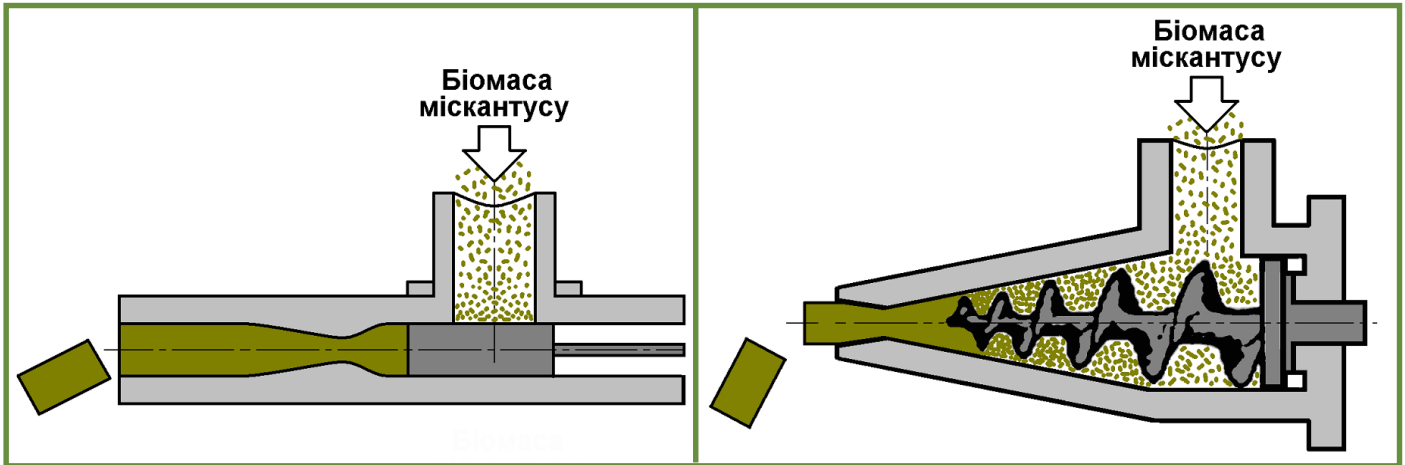


Рис. 5. Брикетувальні преси: а) поршневого типу; б) шнекового типу.

подрібненої біомаси міскантусу, не дозволить сформувати якісні брикети.

Для виробництва паливних брикетів із міскантусу застосовують поршневі або шнекові преси. Перед пресуванням матеріал додатково подрібнюють і підсушують (вологість не повинна перевищувати 12 - 14%).

Поршневий прес працює циклічно під час кожного ходу поршень продавлює певну кількість біомаси через конічне сопло. У конструкції приводу поршневого пресу завжди передбачено маховик, який дозволяє вирівняти навантаження на електродвигун. Поршневі преси відносно дешеві і тому досить поширені (рис. 5).

Особливістю шнекових пресів (екструдерів) є їх менша маса, порівняно з поршневими, через відсутність масивних поршня і маховика. Продукція з таких пресів виходить безперервно, тому її можна розрізати на частини необхідної довжини. Щільність брикетів, виготовлених на екструдерах є вищою, ніж на поршневих пресах. Шнекові преси менш шумні, завдяки відсутності ударних навантажень. До недоліків можна віднести більші витрати енергії та швидкий знос шнека.

Залежно від способу виробництва брикети бувають різних форм у вигляді цегли, циліндра або шестикутника з отвором всередині (рис. 6). Стандартних розмірів у даній продукції немає.

**Циліндричні брикети.** Цей вид паливних брикетів отримують шляхом пресування біомаси міскантусу на обладнанні ударно-механічного типу. Циліндричні брикети мають високу щільність і можуть бути будь-якої довжини (від шайби до полена), через що користуються великою популярністю в Європі та на внутрішньому ринку. Такі брикети бувають не тільки круглої форми, але й квадратної або восьмикутної, з отвором всередині або без нього.

**Екструдерні брикети.** Ці брикети обов'язково мають отвір всередині і

темну (обпалену) зовнішню поверхню. В основі екструдерної технології виробництва брикетів лежить процес пресування біомаси міскантусу шнеком під високим тиском за температури від 250 до 350 °С. Висока температура сприяє оплавленню поверхні брикетів, які завдяки цьому стають міцнішими. Такі брикети закладаються вручну в топку котла чи в грубку, вони користуються попитом у Прибалтиці й Росії.

**Брикети у вигляді цеглинки.** Такий брикет має вигляд прямокутного паралелепіпеда зі скошеними кутами і виготовляється шляхом гідравлічного пресування. Брикети у вигляді цегли користуються попитом на внутрішньому ринку та відмінно купуються в усіх європейських країнах.

#### Висновки:

1. Сільське господарство України має можливість стати основним локомотивом розвитку вітчизняної економіки, якщо галузь буде запроваджувати новітні технології вирощування і використання високопродуктивних біоенергетичних культур та концентрацію зусиль на подальші процеси переробки, що сприятиме збільшенню доходів господарств та створенню нових робочих місць.

2. Основною перевагою міскантусу як біоенергетичної культури є: висока продуктивність сухої біомаси 18-22 т/га за теплотворної здатності 17-18 МДж/кг, тривалий час використання плантації 15-20 років, низький вміст зольних елементів у біомасі до 1,5%, невибагливі умови до вирощування.



Рис. 6. Різні види твердого біопалива



3. Енергетичні плантації міскантусу, контрольовані на основі сучасного агрономічного досвіду, зменшуватимуть ерозію ґрунту, сприятимуть поліпшенню екологічного стану повітря ґрунту та навколишнього середовища.

4. В разі довгострокового зберігання або транспортування на значні відстані доцільною є переробка біомаси міскантусу на паливні гранули або брикети.

#### Список використаної літератури

1. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко О.М. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України // Цукрові буряки. 2011. №1. С. 6-7.

2. Роїк М. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур [Електронний ресурс] / М.Роїк, В.Курило, М.Гументик, О.Ганженко, В.Квак // Збірник наукових праць. Вісник Львівського національного аграрного університету 2011. №15(2) Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Vldau/Agr/2011\\_15\\_2/files/11rmfbbf.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Vldau/Agr/2011_15_2/files/11rmfbbf.pdf)

3. Курило В. Л. Міскантус - перспективна енергетична культура для виробництва біопалива / В. Л. Курило, М. Я. Гументик, В. М. Квак // Агробіологія: Збірник наукових праць. Білоцерків. нац. аграр. ун-т. Біла Церква, 2010. №4 (80). С. 62-66.

4. Міскантус (MISCANTHUS) сем. Мятликовіе [Електронний ресурс] / Енциклопедія декоративних садових рослин. Режим доступу: <http://flower.onego.ru/zlak/miscanthus.html>.

5. *Miscanthus sinensis* Anderss [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.dcnr.state.pa.us/forestry/invasivetutorial/miscanthus.htm>.

6. Бунецький В. О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива в вигляді пелет або брикетів / Бунецький В. О. // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. 2011. №10. С. 328-340.

7. Чурілов Д.Г. Державне регулювання ринку твердого біопалива як один із чинників збалансованого природокористування / Д.Г. Чурілов, В.М. Калініченко, А.В. Калініченко, Л.В. Малинська // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2012. №2. С. 89-93.

#### Анотація

У статті висвітлюється технологія пресування подрібненої біомаси високопродуктивних біоенергетичних культур, зокрема міскантусу гігантеуса (*Miscanthus giganteus*), для виробництва паливних гранул і брикетів, що сприятиме збільшенню доходів господарств та створенню нових робочих місць.

#### Аннотация

В статье освещается технология пресования измельченной биомассы высокопроизводительных биоэнергетических культур, в частности мискантуса гигантеуса (*Miscanthus giganteus*), для производства топливных гранул и брикетов, что будет способствовать увеличению доходов хозяйств и созданию новых рабочих мест.

#### Annotation

The article highlights the technology of pressing crushed biomass of high performance energy crops including *Miscanthus giganteus* for the production of solid fuel pellets and briquettes, which will increase revenues and the create new jobs.

## ПРЕЗИДЕНТ УКРАЇНИ ПІДПИСАВ ЗАКОН ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНКУРЕНТНИХ УМОВ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Президент Петро Порошенко підписав Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії». Про це йдеться в повідомленні прес-служби глави держави.

Законом запроваджуються механізми стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії.

Зокрема, уточнюється обов'язок оптового ринку електричної енергії України щодо купівлі у суб'єктів господарювання, яким встановлено «зелений» тариф, та здійснення повної оплати вартості електричної енергії, виробленої на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії за «зеленим» тарифом, з урахуванням надбавки до «зеленого» тарифу.

Побутовому споживачеві надається право на встановлення у своєму приватному домогосподарстві генеруючої установки, призначеної для виробництва електричної енергії з енергії сонячного випромінювання та/або енергії вітру, величина встановленої потужності якої не перевищує 30 кВт, але не більше потужності, дозволеної до споживання за договором про користування електричною енергією.

Уточнюється, що «зелений» тариф на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлюється єдиним для кожного виду альтернативного джерела енергії.

Крім того, скасовується використання тарифного коефіцієнта, що застосовується для пікового періоду часу (для тризонної тарифної класифікації), під час формування «зеленого» тарифу для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання, з геотермальної енергії, для приватних домогосподарств, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання, з енергії вітру, для суб'єктів господарю-

вання, які експлуатують мікро-, міні- або малі гідроелектростанції.

Запроваджуються коефіцієнти «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані на дахах та/або фасадах будинків, будівель та споруд, без обмеження величини встановленої потужності; для електроенергії, виробленої з енергії вітру об'єктами електроенергетики приватних домогосподарств, величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт; для електроенергії, виробленої з геотермальної енергії.

Диверсифікуються коефіцієнти «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії, для об'єктів або його черг/пускових комплексів, що будуть введені в експлуатацію в найближчі 4 роки. Крім того, у 1,8 разів збільшуються існуючі коефіцієнти «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії, для об'єктів або його черг/пускових комплексів, введених в експлуатацію по 31.03.2013 включно та з 01.04.2013 по 31.12.2014.

До 1 січня 2017 року для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання наземними об'єктами електроенергетики, величина встановленої потужності яких перевищує 10 МВт, що були введені в експлуатацію до 1 липня 2015 року, встановлюються окремі коефіцієнти «зеленого» тарифу.

Підготували проект Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії» народні депутати України Домбровський О. Г., Лівік О.П., Войціцька В.М., Бандуров В.В., Сфімов М.В., Чижмарь Ю.В., Лук'янчук Р.В., Кацер-Бучковська Н.В., Насалик І.С., Рябчин О.М., Мельниченко В.В., Заболотний Г.М., Матвієнко А.С., Мушак О.П.