

УДК: 620.952

**СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ  
РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ  
ВИРОЩУВАННЯ  
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ  
КУЛЬТУР В УКРАЇНІ**

**В.А. МАЗУР**, віце-президент ННБК  
«Всеукраїнський науково-навчальний  
консорціум», канд. с.-г. наук, доцент,  
ректор ВНАУ

**О.М. ГАНЖЕНКО**, канд. тех. наук,  
с. н. с, зав. відділу

Інститут біоенергетичних культур і  
цукрових буряків НААН

**Д.С. ШЛЯХТУРОВ**, канд. с.-г. наук,  
с. н. с., старший викладач

Вінницький національний аграрний  
університет

*У статті висвітлено сучасні тенденції розвитку технологій вирощування біоенергетичних культур в Україні. Доведено, що в Україні є суттєвий потенціал для значного поліпшення енергозабезпечення за рахунок біоенергетичних культур. Вітчизняна біоенергетика стає важливим чинником стримування дефіциту на вуглеводневу сировину та в перспективі може стати основою енергетичної безпеки держави. Досягти цього можливо лише за тісної співпраці аграріїв, інженерів, економістів і науковців, проведення широкомасштабних досліджень щодо встановлення оптимальних умов вирощування біоенергетичних культур та найефективніших технологічних процесів отримання високоякісного біопалива з урахуванням організаційно-правових, технічних, технологічних, економічних та соціальних аспектів функціонування біоенергетичної галузі.*

**Ключові слова:** біоенергетичні культури, біогаз, біоетанол, верба, світчграс, тверде біопаливо, цукрові буряки

**Літ.25.**

**Постановка проблеми.** Вичерпність корисних копалин, зокрема нафти, газу, вугілля, поставила перед багатьма країнами гостру проблему забезпечення енергоресурсами. До числа цих країн відноситься і наша держава, адже близько 65% енергоносіїв Україна імпортує. Недостатня забезпеченість власними енергоносіями та висока імпортна ціна на них створили в Україні сприятливі економічні передумови для розширення площ під біоенергетичними культурами. Для стимулювання вітчизняної біоенергетичної галузі Кабінетом Міністрів України прийнято ряд важливих постанов, серед яких чільне місце займають Постанова № 293 «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання» [1], Постанова № 453 «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного та місцевого бюджетів» [2], а також Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року, ухвалений розпорядженням КМУ №902-р від 01.10.2014 [3], у якому

передбачено у майбутньому збільшити частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному обсязі виробленої енергії до 10%.

Світова біоенергетична галузь розвивається досить стрімко. Для прикладу, однією з ключових тенденцій, що визначила динаміку світового енергетичного ринку в 2016 році стало те, що 50% введених потужностей в електроенергетиці - це відновлювані джерела енергії [4].

Директивою ЄС 28/2009 від 23 квітня 2009 р., яка є основним нормативним актом Європейського Парламенту і Ради у сфері біоенергетичних технологій, визначено концепцію сталого розвитку, яка передбачає раціональне використання природних ресурсів, зокрема використання енергії з відновлюваних джерел [5]. Нині чинні директиви і регламенти, які спрямовані на суміжні сфери, однак опосередковано впливають на біоенергетичні технології у енергетиці, а саме: Директива 2012/27/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 25.10.2012 про енергоефективність, яка змінює Директиви 2009/125/ЄС та 2010/30/EU і скасовує Директиви 2004/8/ЄС та 2006/32/ЄС [6]; Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та скасування деяких Директив [7]; Директива 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради про якість бензину та дизельного палива та про внесення змін і доповнень до Директиви Ради 93/12/ЄС [8]; Директива 2003/87/ЄС Європейського Парламенту та Ради щодо заснування схеми для зменшення викидів в атмосферу парникових газів, торгуючи в межах Співтовариства та про внесення змін до Директиви Ради 96/61/ЄС [9].

Для вирішення проблеми раціонального використання природних ресурсів, зокрема використання енергії з відновлюваних джерел, і призначена біоенергетична галузь, зокрема вирощування культур на біоенергетичні цілі. Таким чином, актуальність питання щодо ефективного розвитку біоенергетичної галузі з врахуванням технологічних, технічних, екологічних, економічних та соціальних аспектів не викликає сумніву.

Метою даної статті є огляд, узагальнення та аналіз матеріалів щодо перспектив розвитку технологій вирощування біоенергетичних культур.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вивченням актуальних питань щодо вирощування біоенергетичних культур займаються такі вчені, як Г.М. Калетнік, М.В. Роїк, В.М. Сінченко, В.Л. Курило, В.С. Бондар, Ю.В. Кернасюк, О.М. Ганженко, М.Я. Гументик та ін. Однак, потребує додаткового вивчення питання забезпечення біоенергетичної галузі високоякісною сировиною в контексті енергетичної безпеки України.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** До основних пріоритетів вирощування біоенергетичних культур вчені відносять пошук дешевої сировини, створення необхідної інфраструктури для вирощування енергетичних рослин та переробки біомаси за допомогою фізичних, хімічних та мікробіологічних процесів у різні види твердого (паливні гранули, брикети,

пелети, солома, дрова), рідкого (етанол, метанол, бутанол, біодизель) і газоподібного (метан, синтез-газ, водень) палива [10]. Проведений Г.М. Калетніком глибокий аналіз організаційно-структурних змін функціонування аграрного сектора України щодо забезпечення проблем продовольчої і енергетичної безпеки свідчить, що в Україні не існує проблеми «продовольство проти палива» [11].

Спектр біоенергетичних культур, які вирощують для отримання рідкого палива досить широкий. У Бразилії, Аргентині, інших країнах південної півкулі вирощують цукрову тростину, у північній півкулі - кукурудзу, зернові культури, цукрові та кормові буряки, цукрове сорго, з яких отримують біоетанол, ріпак озимий і ярий – для отримання біодизеля. Біоетанол застосовують переважно у вигляді паливних сумішей для підвищення октанового числа. Крім того, додавши до бензину 10% етанолу, можна зменшити викиди оксиду вуглецю на 30%. Сировиною для його виробництва можуть слугувати рослини, що в достатній кількості містять цукор або крохмаль. Шляхом ферментації, тобто біохімічних перетворень під час бродіння, або термохімічної конверсії з них отримують біоетанол.

Н.В. Пришляк вважає, що найперспективнішою сировиною для виробництва біоетанолу в Україні є цукровий буряк. Дана культура забезпечує найбільший вихід етанолу із 1 га (до 9000 л), не потребує додаткових затрат на попередню обробку сировини, дасть змогу зменшити викиди парникових газів в атмосферу та щонайважливіше – допоможе відродити бурякоцукрову галузь в Україні, вберегти від закриття цукрові заводи та створити додаткові робочі місця [12]. Слід також згадати важливий екологічний аспект – гектар посівів цукрових буряків під час вегетаційного періоду поглинає 29,4 тис. м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, а під час виробництва і подальшого спалювання біоетанолу, що отриманий з них, в атмосферу виділяється лише 6,4 тис. тис. м<sup>3</sup> вуглекислого газу. Отже, покращується баланс кисню і вуглекислого газу в атмосфері.

Перспективною культурою для виробництва біоетанолу в умовах України, особливо в посушливих південних регіонах держави, є цукрове сорго. Ця культура досить економно витрачає вологу на формування одиниці сухої речовини (транспіраційний коефіцієнт дорівнює 300), має добре розвинену кореневу систему, що глибоко проникає в ґрунт, тому добре адаптується до посушливих і спекотних умов. Вчені визначили, що вихід соку із стебел культури, який використовується для виробництва біоетанолу, становить до 60 % зеленої маси рослини [13]. Після видалення соку стебла можуть бути сировиною для виробництва твердого біопалива або його можна використовувати для виробництва біогазу [14].

Вченими Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, який входить до структури ННВК «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум» проведено значний обсяг досліджень щодо технологій вирощування біоенергетичних культур, зокрема дослідження щодо

ефективного підбору гібридів, встановлення оптимальних строків сівби та доз мінеральних добрив під сорго на біоенергетичні цілі [13, 15]. Визначено, що в умовах недостатнього зволоження східного Лісостепу України оптимальним строком сівби є третя декада квітня, внесення високих доз добрив та вирощування гібридів Фаворит і Мамонт.

Група вчених на чолі з М.В. Роїком наголошують, що найбільш ефективним і універсальним енергоносієм з усіх біологічних видів палива є біогаз, який отримують в результаті мікробного розкладання відтвореної речовини і органічних відходів у вологому середовищі за відсутності кисню [16]. Основним компонентом біогазу є метан, вміст якого коливається від 50 до 75 % і залежить від типу сировини і процесу бродіння. Сировиною для біогазових установок вчені розглядають як сільськогосподарські субстрати (рідкий та стійловий гній), промислові та органічні відходи комунального господарства, так і біоенергетичні культури (цукрові буряки, кукурудза, цукрове сорго, міскантус тощо).

Вихід біогазу з різних культур неоднаковий. За підрахунками науковців [16], цукрове сорго забезпечує вихід біогазу на рівні 17,6 тис. м<sup>3</sup>/га, кукурудза – 16,0, цукрові буряки – 10,9, кормові буряки – 10,8 тис. м<sup>3</sup>/га. В контексті світової біоенергетики найпоширенішою культурою, що використовується для виробництва біогазу, є кукурудза на силос. Проте, таке використання культури може стати загрозою продовольчій безпеці людства, оскільки зумовить зменшення виробництва продуктів харчування і кормів. Тому сьогодні в країнах Євросоюзу діє Закон про поновлювані джерела енергії (EEG 2012), згідно якого масова частка кукурудзи в живильному субстраті для біогазових установок не повинна перевищувати 60%. Як альтернативу кукурудзі країни Західної Європи розглядають цукрові буряки. В посушливих умовах Півдня України перспективною культурою для виробництва біогазу є цукрове сорго. Вчені підраховали, що у разі вирощування сорго на площі 500 тис. га, за врожайності культури на рівні 100 ц/га, можна отримати близько 4,4 млрд. м<sup>3</sup> біометану. Вони доводять, що вирощування кукурудзи на силос, цукрових буряків і цукрового сорго на площі 3,5 млн га дозволить замінити 27,4 млрд. м<sup>3</sup> природного газу. У той же час, така кількість біосировини вимагає побудови 28 тис. біогазових установок – для порівняння, у Німеччині станом на 2013 р. було задіяно 7772 установки. Однак М.Я. Гументик [17] наголошує, що саме ферментація і газифікація серед широкого спектру технологій перероблення біомаси є найбільш ефективними і привабливі тим, що дозволяють отримувати екологічне чисте паливо та енергоносії з низькою собівартістю.

Таким чином, для отримання як рідких, так і газоподібних видів палива вимагається спеціальне обладнання – біогазові установки, устаткування для виробництва біоетанолу, що вимагає вкладення додаткових коштів. Тому найбільшого розвитку сьогодні в Україні набуло виробництво твердого біопалива.

Слід зазначити, що форми використання сировини в якості твердого біопалива з часом зазнали істотних змін. Першими кроками у цій сфері було застосування наявних решток сільськогосподарського виробництва – соломи, бадилля, стебел кукурудзи, ріпаку, соняшника тощо. Однак певні складнощі при експлуатації котлів, які працювали на такому паливі, а саме – високий залишок золи після згорання виводив з ладу опалювальне обладнання, змусили шукати інші культури, які стали новим словом в біоенергетиці. До них відносяться як трав'янисті культури - міскантус гігантський, просо лозовидне (світчграс), топінамбур, сільфія пронизанолиста, так і деревні - декілька видів енергетичної верби, тополі, акації та ряд інших. Слід зауважити, що у більшості трав'янистих культур з цього переліку фотосинтез відбувається за  $C_4$  – типом, що дає змогу рослинам інтенсивно трансформувати енергію сонця в енергомістку біомасу. Ці рослини невимогливі до родючості ґрунту, не потребують значного використання добрив, запобігають ерозійним процесам, сприяють збереженню та покращенню агроєкосистем, забезпечують низьку собівартість біомаси. Спільні дослідження з цими культурами проводять науковці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН і Бранденбурзького технологічного університету (Котбус, Німеччина) за міжнародним проектом SEEMLA «Стале вирощування біомаси на маргінальних землях в Європі», що виконується в рамках програми «Горизонт 2020» [18].

Декілька слів про культури. Міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) - багаторічна злакова високопродуктивна енергетична трав'яниста рослина. Забезпечує вихід з 1 га 22-26 т сухої маси або 380-400 ГДж теплової енергії. Використовується для виготовлення твердого біопалива (паки, пелети) з сухої біомаси, зібраної в пізньоосінній або зимовий період. Розмножується ризомами (частинами коріння), які висаджують широкорядним способом рано навесні. Є невеликі плантації у виробничих умовах з метою виготовлення твердого біопалива, де застосовують механізовані способи закладання плантацій і збирання урожаю. Особливістю міскантусу є те, що його стебла не накопичують зольних елементів і важких металів, тому його можна вирощувати на одному полі впродовж 20 років [19].

Просо лозовидне (*Panicum virgatum*) належить до багаторічних злакових культур. Забезпечує вихід з 1 га 15 т сухої маси або 255 ГДж/га теплової енергії. За відповідного догляду за рослинами врожай біомаси світчграсу можна збирати 15 років.

Топінамбур (соняшник бульбистий) (*Helianthus tuberosus* L.) - перспективна багаторічна високопродуктивна енергетична трав'яниста рослина з родини айстрових (складноцвітих). Забезпечує вихід з 1 га 21-25 т сухої маси або 360-385 ГДж/га теплової енергії. Біомаса може використовуватись для виготовлення біогазу за дво- або триразового скошування протягом вегетаційного періоду або твердого біопалива (паки, пелети) з сухої біомаси, за одноразового скошування в пізньоосінній або зимовий період, а бульби

– для біоеталону. Розмножується бульбами, збирають і висаджують 1,5-2 т/га рано навесні.

Сильфія пронизанолиста (*Silphium perfoliatum L.*) - трав'яниста рослина з родини айстрових (складноцвітих). Забезпечує вихід з 1 га 20-24 т сухої маси або 350-370 ГДж/га теплової енергії. Біомаса може використовуватись для виготовлення біогазу за дво-триразового скошування протягом вегетаційного періоду або твердого біопалива (паки, пелети) з сухої біомаси, за одноразового скошування в пізньоосінній або зимовий період.

Вчені [20] стверджують, що така біомаса рослинного походження за рахунок високого вмісту «горючих» елементів (целюлози, геміцелюлози та лігніну) та низької концентрації зольних елементів є високоенергетичною сировиною для виробництва твердого біопалива, наприклад, вміст «горючих» речовин у сухій біомасі міскантусу становить 99%. Слід брати до уваги й екологічний ефект - за вирощування енергетичних культур з високою продуктивністю біомаси відбувається значне надходження органічних речовин в ґрунт з кореневою системою і післяжнивними рештками, що сприяє збереженню і відтворенню ґрунтової родючості.

Науковці [21] вбачають одним з перспективних напрямів біоенергетики вирощування енергетичної сировини на плантаціях швидкорослих деревних порід, зокрема верб, тополь та інших культур, здатних до легкого відновлення надземної частини після її зрізання. Завдяки високій інтенсивності, вирощування енергетичної верби більш наближене до сільськогосподарського виробництва і має ряд переваг порівняно з традиційним веденням лісового господарства. Продуктивність вербових насаджень, за оцінками експертів, становить 8-12 т сухої деревини в рік, що перевищує продуктивність традиційних лісових насаджень у 14 разів. За використання сучасних котлів, що працюють на сировині з верби, у 4 рази зменшуються витрати на опалення приміщень порівняно з традиційними газово-опалювальними системами. Для закладки вербових плантацій слід використовувати понижені частини рельєфу, заплави річок, нижні частини пологих схилів, осушені землі. Оптимальним садивним матеріалом для верб є однорічні здерев'янілі живці завдовжки 20-30 см і діаметром 5-17 мм з висаджуванням їх у ґрунт вертикально і на всю довжину [22]. З енергетичної точки зору найкращим для збору енергетичної верби вважається третій рік вегетації, оскільки саме в цей період відмічено найвищі показники накопичення сирої золи, целюлози, геміцелюлози та лігніну в рослинах [23].

Останнім часом в якості біоенергетичної культури окремі фірми пропонують дерева виду Павловнія. В мережі Internet можна знайти досить широкий асортимент пропозицій. З 2015 року компанія «Павловнія Груп Україна» навіть почала пропонувати клони цієї деревної культури в Україні, а саме Paulownia Clone In Vitro 112® [24].

Павловнія або адамове дерево (*Paulownia*) — рід рослин родини Павловній, яку ототожнюють або зараховують до Норичникових. Батьківщиною більшості видів роду є Східна Азія.

Павловнія вважається сировиною для виробництва біопалива: швидко росте і має високі показники тепловіддачі, може відігравати значну роль у вирішенні енергетичної кризи. В оптимальних умовах вирощування за 5 років може досягати 20-метрової висоти і використовуватися в якості сировини. Павловнія, завдяки своїй динамічній кореневій системі, виключно придатна для залісення територій, що перебувають під загрозою ерозії [25]. Це є сталою практикою в деяких країнах, наприклад у США. Компанія-продавець клонів павловнії вказує, що з 1 га можна отримати від 915 до 1095 ГДж енергії.

Однак існують окремі перестороги щодо павловнії. По-перше, деревина досить легка – щільність сухої деревини 300-310 кг/м<sup>3</sup>. А енергію, як відомо забезпечує не об'єм, а маса. Друге – в перший рік вегетації існує загроза загибелі рослин павловнії від морозів. Таким чином, питання широкого використання цієї культури як сировини для біоенергетики, на нашу думку, може розглядатися лише після низки масштабних технологічних дослідів на всій території країни для визначення оптимальних умов вирощування. Також мають бути проведені інженерно-технічні дослідження – чи дійсно ця культура забезпечуватиме задекларований вихід енергії.

**Висновки.** Отже, в Україні є суттєвий потенціал для значного поліпшення енергозабезпечення за рахунок біоенергетичних культур. Вітчизняна біоенергетика стає важливим чинником стримування дефіциту на вуглеводневу сировину та в перспективі може стати основою енергетичної безпеки держави. Цього можливо досягти лише за тісної співпраці виробників і науковців, проведення широкомасштабних досліджень щодо встановлення оптимальних умов вирощування біоенергетичних культур та найефективніших технологічних процесів отримання високоякісного біопалива з урахуванням організаційно-правових, технічних, технологічних, економічних та соціальних аспектів функціонування біоенергетичної галузі.

### Список використаної літератури

1. Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання / Постанова КМУ №293 від 09.07.2014. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF>
2. Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного та місцевого бюджетів / Постанова КМУ №453 від 10.09.2014. — Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF>
3. Про Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року / Розпорядження КМУ №902-р від 01.10.2014. — Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%8D/page>

4. Ключевые тенденции мирового энергетического рынка в 2016 году – Электронный ресурс: [Biowatt – інтернет-платформа з підтримки і розвитку українського ринку біопалива і біоенергетики]. - Режим доступу: <http://www.biowatt.com.ua/trends/klyuchevye-tendentsii-mirovogo-energeticheskogo-rynka-v-2016-godu>

5. Directive 2009/28/EC Of The European Parliament And Of The Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. - Official Journal of the European Union. – P. 16-62

6. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>

7. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>;

8. Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:01998L0070-20151005>

9. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20140430>

10. Роїк М.В. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку / М.В. Роїк, В.Л. Курило, М.Я. Гументик, О.М. Ганженко // Біоенергетика – 2013. - №1. – С. 5-10

11. Калетнік Г. М. Економіка виробництва біопалива в Україні та забезпечення продовольчої безпеки / Г. М. Калетнік // Економіка АПК. – 2010. – №1. – С. 30-35

12. Пришляк Н.В. Біоетанол з цукрових буряків та ефективність його виробництва в Україні / Н.В. Пришляк – Вісник Харківського НАУ. – 2014. - №7. – С. 280-288

13. Ганженко О.М. Вплив елементів технології вирощування цукрового сорго на енергетичну продуктивність / О.М. Ганженко, Л.А. Герасименко, О.Г. Іванова // Цукрові буряки. – 2015. - №4. – С. 17-19

14. Ганженко О.М. Цукрове сорго / О.М. Ганженко / The Ukrainian Farmer. - 2012. - №10. - С.42-44

15. Вербняк А.А. Сорго цукрове – перспективна біоенергетична культура в умовах недостатнього зволоження Східного Лісостепу України / А.А. Вербняк, О.М. Ганженко, В.М. Смірних, Л.М. Левченко // Цукрові буряки. – 2016. - №4. – С. 9-10
16. Роїк М.В. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні / М.В. Роїк, О.М. Ганженко, В.Л. Тимощук // Біоенергетика – 2014. - №2. – С. 6-8
17. Гументик М.Я. Оцінка ефективності перероблення біомаси енергетичних культур на біопаливо / М.Я. Гументик // Біоенергетика. – 2016 - №2 (8). – С. 28-31
18. Плідна співпраця біоенергетиків Києва і Німеччини / Біоенергетика. – 2016 - №2 (8). – С. 31
19. Роїк М.В. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні / М.В. Роїк, О.М. Ганженко, В.Л. Тимощук // Біоенергетика – 2015. - №1. – С. 5-8
20. Ганженко О.М. Теплотворні властивості твердого біопалива / О.М. Ганженко, М.Я. Гументик // Біоенергетика. – 2016. - №1 (7). С. 14-16
21. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / [М.В. Роїк, В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило та ін. Під заг. ред. д. с.г. н. В.М. Сінченка]. – Вінниця: ТОВ «Нілан - ЛТД», 2015. – 340 с.
22. Сінченко В.М. Особливості вирощування енергетичної верби / В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило, М.Я. Гументик // Біоенергетика. – 2016. - № 1 (7). – С. 11-13
23. Бойко І.І. Залежність якості біомаси енергетичної верби від віку плантації та строків збирання врожаю / І.І. Бойко, О.О. Марчук, О.М. Ганженко, Г.С. Гончарук // Біоенергетика. – 2017. – №1 (9). С. 24-26
24. Павловнія – дерево-нефтяна скважина - Електронний ресурс: [Biowatt – інтернет-платформа з підтримки і розвитку українського ринку біопалива і біоенергетики]. - Режим доступу: <http://www.biowatt.com.ua/trends/pavlovniya-derevo-neftyanaya-skvazhina/>
25. Павловнія: характеристики. - Електронний ресурс: [Офіційний веб-сайт компанії «Paulownia Group Ukraine»].- Режим доступу: <http://www.paulowniagroup.com.ua/specifications/>

### Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Postanova KМУ №293 «Pro stymuliuvannia zamischennia pryrodnoho hazu u sferi teplopostachannia» [Resolution of KМУ №293 «On stimulation of substitution of natural gas in the field of heat supply»] (09.07.2014). – <http://www.rada.gov.ua> Retrieved from <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF> [in Ukrainian]
2. Postanova KМУ №453 «Pro stymuliuvannia zamischennia pryrodnoho hazu pid chas vyrobnytstva teplovoi enerhii dlia ustanov ta orhanizatsii, scho finansuiut'sia

z derzhavnoho ta mistsevoho biudzhativ» [Resolution of KМУ №453 «About stimulation of substituting for natural gas during the production of thermal energy for establishments and organizations that is financed from the state and local budgets»] (10.09.2014). - <http://www.rada.gov.ua> Retrieved from <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF> [in Ukrainian]

3. Rozporiadzhennia KМУ №902-r «Pro Natsional'nyi plan dii z vidnovliuval'noi enerhetyky na period do 2020 roku» [The Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 902-r «On the National Action Plan for Renewable Energy for the Period till 2020»] (01.10.2014). — <http://www.rada.gov.ua> Retrieved from <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%8D/page> [in Ukrainian]

4. Kliuchevye tendentsii mirovogo energeticheskogo rynku v 2016 godu [Key trends of the world energy market in 2016]. - [www.biowatt.com.ua](http://www.biowatt.com.ua) Retrieved from <http://www.biowatt.com.ua/trends/klyuchevye-tendentsii-mirovogo-energeticheskogo-rynka-v-2016-godu> [in Russian]

5. Directive 2009/28/EC Of The European Parliament And Of The Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. - Official Journal of the European Union. – P. 16-62

6. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>

7. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32012L0027>;

8. Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:01998L0070-20151005>

9. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC [Electronic resource] : [Official website of the European Union]. – Text data. – Way of access: URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20140430>

10. Roik M.V., Kurylo V.L., Humentyk M.Ia. & Hanzhenko O.M. (2013). Bioenerhetyka v Ukraini: stan ta perspektyvy rozvytku [Bioenergy in Ukraine: the state and prospects of development]. *Bioenerhetyka – Bioenergy, 1, 5-10* [in Ukrainian]

11. Kaletnik H. M. (2010). Ekonomika vyrobnytstva biopalyva v Ukraini ta zabezpechennia prodovol'choi bezpeky [The economy of biofuel production in Ukraine and food security]. *Ekonomika APK - The Economy of Agro-Industrial Complex, 1*, 30-35 [in Ukrainian]
12. Pryshliak N.V. (2014) Bioetanol z tsukrovyykh buriakiv ta efektyvnist' yoho vyrobnytstva v Ukraini [Bioethanol from sugar beets and its production efficiency in Ukraine]. *Visnyk Kharkivs'koho NAU - Bulletin of Kharkiv NAU, 7*, 280-288 [in Ukrainian]
13. Hanzhenko O.M., Herasymenko L.A. & Ivanova O.H. (2015). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroschuvannia tsukrovoho sorho na enerhetychnu produktyvnist' [The Influence of the Elements of Sugar Sorghum Technology on Energy Productivity]. *Tsukrovi buriaky - Sugar beets, 4*, 17-19 [in Ukrainian]
14. Hanzhenko O.M. (2012). Tsukrove sorho [Sugar Sorghum]. *The Ukrainian Farmer, 10*, 42-44 [in Ukrainian]
15. Verbniak A.A., Hanzhenko O.M., Smirnykh V.M. & Levchenko L.M. (2016). Sorho tsukrove – perspektyvna bioenerhetychna kul'tura v umovakh nedostatn'oho zvolozhennia Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Sugar Sorghum is a promising bioenergy culture under conditions of insufficient humidification of the Eastern Forest-steppe of Ukraine]. *Tsukrovi buriaky - Sugar beets, 4*, 9-10 [in Ukrainian]
16. Roik M.V., Hanzhenko O.M. & Tymoschuk V.L. (2014). Kontseptsiiia vyrobnytstva biohazu z bioenerhetychnykh roslyn v Ukraini [Concept of biogas production from bioenergetic plants in Ukraine]. *Bioenerhetyka – Bioenergy, 2*, 6-8 [in Ukrainian]
17. Humentyk M.Ia. (2016). Otsinka efektyvnosti pererobliannia biomasy enerhetychnykh kul'tur na biopalyvo [Evaluating the efficiency of biomass conversion of energy crops to biofuels]. *Bioenerhetyka – Bioenergy, 2(8)*, 28-31 [in Ukrainian]
18. Plidna spivpratsia bioenerhetykiv Kyieva i Nimechchyny [Fruitful cooperation bioenergetics from Kyiv and Germany] (2016). *Bioenerhetyka – Bioenergy, 2(8)*, 31 [in Ukrainian]
19. Roik M.V., Hanzhenko O.M. & Tymoschuk V.L. (2015). Kontseptsiiia vyrobnytstva i vykorystannia tverdykh vydiv biopalyva v Ukraini [Concept of production and use of solid biofuels in Ukraine]. - *Bioenerhetyka – Bioenergy, 1*, 5-8 [in Ukrainian]
20. Hanzhenko O.M. & Humentyk M.Ia. (2016). Teplotvorni vlastyvoli tverdoho biopalyva [Calorific properties of solid biofuels]. *Bioenerhetyka – Bioenergy, 1 (7)*, 14-16 [in Ukrainian]
21. Roik M.V., Sinchenko V.M., & Fuchylo Ia.D. ta in. (2015). *Enerhetychna verba: tekhnolohiia vyroschuvannia ta vykorystannia [Power Willow: Technology of Growing and Use]*. Vinnytsya: Nilan – LTD.
22. Sinchenko V.M., Fuchylo Ia.D., & Humentyk M.Ia. (2016). Osoblyvosti vyroschuvannia enerhetychnoi verby [Features of Power Willow growing]. *Bioenerhetyka – Bioenergy, 1 (7)*, 11-13 [in Ukrainian]
23. Boiko I.I., Marchuk O.O., Hanzhenko O.M., Honcharuk H.S. (2017) Zalezhnist' yakosti biomasy enerhetychnoi verby vid viku plantatsii ta strokiv zbyrannia vrozhaiu [Dependence of the quality of biomass of energy willow from the

age of the plantation and the terms of harvesting]. *Bioenerhetyka – Bioenergy*, 1 (9), 24-26 [in Ukrainian]

24. Pavlovniiia – derevo-neftianaia skvazhina [Pavlovniiia is a tree - oil well] (n.d.). [www.biowatt.com.ua](http://www.biowatt.com.ua) Retrieved from: <http://www.biowatt.com.ua/trends/pavlovniiia-derevo-neftianaia-skvazhina>

25. Pavlovniiia: kharakteristiki [Paulownia: Specifications]. (n.d.). [www.paulowniagroup.com.ua](http://www.paulowniagroup.com.ua) Retrieved from: <http://www.paulowniagroup.com.ua/specifications/>

## АННОТАЦИЯ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ / МАЗУР В.А., ГАНЖЕНКО А.Н., ШЛЯХТУРОВ Д.С.

*В статье освещены современные тенденции развития технологий выращивания биоэнергетических культур в Украине. Доказано, что в Украине есть существенный потенциал для значительного улучшения энергообеспечения за счет биоэнергетических культур. Определены приоритетные растения для получения различных видов топлива: твердого (топливные гранулы, брикеты, пеллеты, солома, дрова), жидкого (этанол, метанол, бутанол, биодизель) и газообразного (метан, синтез-газ, водород).*

*Перспективными культурами для производства биоэтанола в условиях Украины являются сахарная и кормовая свекла, кукуруза, а в засушливых южных регионах страны - сахарное сорго. Сырьем для производства биогаза служат сельскохозяйственные субстраты (жидкий и стойловый навоз), промышленные и органические отходы коммунального хозяйства, а также биоэнергетические культуры (сахарная свекла, кукуруза, сахарное сорго, мискантус и др.). В качестве твердого биотоплива используют как травянистые культуры - мискантус гигантский, просо лозовидное (свитчграс), топинамбур, сальфия пронзеннолистная, так и древесные - несколько видов энергетической ивы, тополя, акации и ряд других. Заслуживает внимания ученых и производителей и дальнейшее исследование новая перспективная культура - павловния. Отечественная биоэнергетика становится важным фактором сдерживания дефицита на углеводородное сырье и в перспективе может стать основой энергетической безопасности государства. Этого можно достичь только при тесном сотрудничестве производителей и ученых, проведении широкомасштабных исследований по установлению оптимальных условий выращивания биоэнергетических культур и эффективных технологических процессов получения высококачественного биотоплива с учетом организационно-правовых, технических, технологических, экономических и социальных аспектов функционирования биоэнергетической отрасли*

**Ключевые слова:** биоэнергетические культуры, биогаз, биоэтанол, ива, свитчграс, твердое биотопливо, сахарная свекла

**ANNOTATION**  
**STATE AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF BIOENERGETIC CULTURES GROWING TECHNOLOGIES IN UKRAINE / MAZUR V.A., HANZHENKO O.M., SHLYAHTUROV D.S.**

*The article highlights modern trends in the development of bioenergetic crops growing technologies in Ukraine. It is proved that Ukraine has significant potential for significant improvement of energy supply at the expense of bioenergy crops.*

*Priority plants have been identified for different types of fuel: solid (fuel pellets, briquettes, pellets, straw, firewood), liquid (ethanol, methanol, butanol, biodiesel) and gaseous (methane, synthesis gas, hydrogen). Promising crops for bioethanol production in Ukraine are sugar and fodder beets, corn, and in the arid southern regions of the state, sugar sorghum. Raw materials for the production of biogas are agricultural substrates (liquid and standing manure), industrial and organic wastes of communal services, as well as bioenergy crops (sugar beet, corn, sugar sorghum, miscanthus, etc.). As solid biofuels are used as herbaceous crops - giant miscanthus, millet twig (candles), artichoke, sylvia, perianth, and trees - several types of energy willow, poplar, acacia and others. The new promising culture - Pavlovnia - deserves attention of scientists and producers and further research.*

*Domestic bioenergy becomes an important factor in controlling the deficit on raw materials, and in the long run it can become the basis for the energy security of the state. This can only be achieved with the close cooperation of producers and scientists, conducting large-scale studies on the establishment of optimal conditions for the cultivation of bioenergy crops and the most efficient technological processes for obtaining high-quality biofuels taking into account the organizational, legal, technical, technological, economic and social aspects of the functioning of the bioenergy industry.*

**Key words:** *bioenergetic cultures, biogas, bioethanol, willow, candles, solid biofuels, sugar beets*

**Авторські дані**

**Мазур Віктор Анатолійович** – віце-президент ННВК «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум», канд. с-г. наук, доцент кафедри рослинництва, селекції та біоенергетичних культур, ректор Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3)

**Ганженко Олександр Миколайович**, канд. тех. наук, с. н. с, зав. відділу технологій вирощування біоенергетичних культур Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (03141, м. Київ, вул. Клінічна, 25. e-mail: ganzhenko74@gmail.com)

**Шляхтуров Денис Сергійович**, канд. с-г. наук, с. н. с., старший викладач кафедри рослинництва, селекції та біоенергетичних культур Вінницького національного аграрного університету(21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3. e-mail: dshlyahturov@gmail.com)