

УДК 620.92

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З АГРОБІОМАСИ В УКРАЇНІ

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук, Желі́зна Т.А., канд. техн. наук, Драгнєв С.В., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.11>

Метою роботи є виконання попереднього техніко-економічного обґрунтування типових проектів з виробництва та споживання брикетів з агробіомаси в Україні. Розглянуто існуючі в країні успішні приклади, визначено пріоритетні види відповідних проектів, оцінено основні технічні та економічні показники кількох типових проектів.

Целью работы является выполнение предварительного технико-экономического обоснования типичных проектов производства и потребления брикетов из агробiomассы в Украине. Рассмотрены существующие в стране успешные примеры, определены приоритетные виды соответствующих проектов, оценены основные технические и экономические показатели нескольких типичных проектов.

Purpose of the work is prefeasibility study of some typical projects on the production and consumption of agribiomass briquettes. Existing successful examples of such projects are considered, priority project types are determined, main technical and economic indexes of several typical projects are assessed.

Бібл. 4, табл. 2.

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, біоенергетика, біомаса, біопаливо, тверде біопаливо, брикети.

ПРООН – програма розвитку Організації Об'єднаних Націй;

ПГ – природний газ;  
ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

**Актуальність роботи** обумовлена необхідністю розвитку відновлюваної енергетики в Україні як інструменту для скорочення споживання дорогих викопних палив. Тверді біопалива можуть виступати в ролі прямих заміників викопних палив при виробництві теплової енергії. Особливу увагу необхідно приділити розвитку виробництва і використання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження з огляду на існуючі передумови та потенційні переваги цього напрямку.

Огляд основних типів брикетів з біомаси, можливих видів сировини та вимог до неї, а також аналіз законодавчої бази виробництва паливних брикетів з біомаси проведено в роботах [1, 2]. **Метою** даної роботи є виконання попереднього техніко-економічного обґрунтування типових проектів з виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні. **Завдання** роботи полягає в аналізі і узагальненні отриманих результатів ТЕО. **Методи дослідження** включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва та використання паливних брикетів з біомаси, визначення пріоритетних видів відповідних проектів, оцінку основних технічних та економічних показників кількох типових біоенергетичних проектів. **Результати** роботи дають змогу зробити висновок про

доцільність або недоцільність реалізації певних видів проектів у даному сегменті біоенергетики.

### **Огляд прикладів успішних проектів з виробництва та використання паливних брикетів з біомаси в Україні**

Виробництво та використання паливних брикетів з біомаси є важливим і перспективним сегментом розвитку біоенергетики в Україні з огляду на ті економічні, екологічні та соціальні вигоди, які він може дати. Брикети виготовляються з доступної місцевої біомаси, яка являє собою відновлюване джерело енергії і є CO<sub>2</sub>-нейтральною. Запровадження бізнесу із виробництва і продажу брикетів сприяє підвищенню енергетичної незалежності регіонів, створенню нових робочих місць у сільській місцевості і розвитку місцевої економіки.

На сьогодні в Україні вже існують приклади успішної реалізації проектів з виробництва та споживання паливних брикетів з різних видів біомаси, деякі з них розглянуто нижче. Ці приклади включають як проекти, впроваджені за грантові кошти, так і бізнес-проекти [3].

Завод із виробництва брикетів з соломи збудований і запущений у 2016 р. у с. Кінські Роздори Запорізької області у рамках програми ЄС/ПРООН з розвитку

сільської місцевості. Жителі села розробили бізнес-план, організували кооператив і звернулися в офіційне представництво програми в області. Як результат, на реалізацію проекту було виділено 80% від потрібних інвестицій, інше вклав кооператив. Загальні витрати на запуск брикетної лінії з ударно-механічним пресом склали близько 750 тис. грн. Потужність виробництва по готовій продукції становить 250...300 кг/год. Брикети формують компактні, щоб помістилися у будь-який котел, піч або камін. Споживачем брикетів є місцеве населення, у будинках якого переважає пічне опалення. Члени кооперативу (наразі 50 чоловік) отримують брикети за собівартістю. У перспективі кооператив має намір виготовляти брикети з лущиння соняшника, стебел бур'янів та сухих гілок використаних новорічних ялинок.

Пілотний для півдня Одеської області міні-завод з виробництва брикетів з біомаси в с. Кам'янка (Ізмаїльський район) розпочав роботу в кінці 2016 р. Головним інвестором проекту виступило ТОВ «Ізмаїльська виробнича компанія». Потужність виробництва складає 2 тис. т продукції на рік, основний вид сировини – солома. Існують також плани по виробництву брикетів з виноградної лози та біомаси від обрізки садових дерев. Міні-завод є модельним підприємством, на якому місцевими фахівцями відпрацьовані технології брикетування різних видів біомаси, у тому числі і виноградної лози, яка є специфічною сировиною для брикетів, що потребує особливого обладнання для подрібнення перед пресуванням. Наразі вироблені брикети відпускаються місцевому населенню, в перспективі можливе постачання на об'єкти соціальної сфери (басейн, школа). За оцінками керівника проекту, потреба району у паливних брикетах в найближчому майбутньому може досягти 5 тис. т/рік.

У квітні 2018 року в рамках проекту ЄС «uP\_running – Стале використання деревної біомаси від обрізки і викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень» програми Горизонт 2020 [4] на міні-завод в с. Кам'янка було доставлено пробну партію минулорічної виноградної лози. Метою цього заходу було вироблення брикетів з лози і демонстрація можливості їх спалювання в існуючому твердопаливному котлі. Сировина була подрібнена і перероблена на ударно-механічному пресі продуктивністю 350 кг/год у брикети типу NIELSEN. Пробне спалювання біопалива у котлі центру первинної медико-санітарної допомоги м. Болград підтвердило хороші паливні характеристики брикетів з виноградної лози.

У лютому 2016 р. ТОВ «Світанок» впровадило брикетувальну лінію для соломи у с. Непедовка Вінницької області. Інвестиції в польське обладнання компанії ASKET склали 5,6 млн. грн. Обладнання працює у дві зміни, потужність по готовій продукції – до 5 т за зміну. Ще одна брикетувальна лінія у Вінницькій області з аналогічним обладнанням була запущена у с. Обухів на базі фермерського господарства «Вищеольчедаївське» у липні 2017 р. На виробництві працюють 6 робітників у 2 зміни. Брикетами забезпечуються обласні об'єкти соціальної сфери.

Фермерське господарство «АгроК» (Миколаївська область) виробляє брикети з власної соломи зернових культур та інших рослинних відходів. Для виробництва використовується обладнання польської компанії ASKET. Поточна потужність брикетувальної лінії невелика – 90 кг/год, але існують плани по її збільшенню до 160...180 кг/год. Брикетувальна лінія може працювати при температурі оточуючого середовища не нижче 5 ЯС. Запасу власної сировини фермерського господарства вистачає на рік безперервної роботи. Брикети продаються споживачам в сусідні сіла, більшість яких є негазифікованими.

Перша лінія з брикетування зернових відходів від очищення олійних культур була встановлена на підприємстві ТОВ «Колосовський елеватор» агрохолдингу «Нібулон» (Миколаївська область) в кінці 2017 р. Перед брикетуванням з сировини віджимається олія в процесі короткої термічної обробки в сушарці, яка працює на біопаливі власного виробництва. Паливні брикети використовуються у твердопаливних котлах філіалів Нібулону «Новоодеський», «Прибужановський», «Баштанський», «Кам'янець-Подільський». Наразі розглядається можливість впровадження лінії з брикетування зернових відходів в одному з філіалів Нібулону у Вінницькій області.

Мешканці с. Лосятин Тернопільської обл. об'єдналися у два кооперативи, що займаються вирощуванням малини та суниці. Згодом кооператив «Ягідний край» трансформувався у енергетичний – відходи вирощування малини (обрізані стебла), які раніше просто спалювалися на полях, з початку 2017 року використовуються для виробництва паливних брикетів. Впровадження брикетувальної лінії було фінансово підтримано проектом ЄС/ПРООН. Члени кооперативу купляють паливні брикети по собівартості.

У м. Вилкове Одеської області компанія «Еко-Дельта» з 2014 року виробляє брикети з відходів очерету. Потужність лінії – 400 кг/год. Сировину для брикету-

вання постачають місцеві підприємства, які займаються заготівлею очерету. Від діяльності дев'яти таких фірм щорічно утворюється майже 300 т відходів. Брикети використовуються для опалення адміністративних будівель, а також реалізуються для потреб місцевого населення. Брикетувальну лінію було впроваджено в рамках реалізації україно-румунно-молдавського проекту «Адаптація дельти Дунаю до кліматичних змін шляхом інтегрованого управління водними і земельними ресурсами», профінансованого Євросоюзом.

### **ТЕО проектів з виробництва та споживання брикетів з агробіомаси в Україні**

Для умов України можна запропонувати кілька перспективних варіантів виробництва та використання паливних брикетів з біомаси. Типові варіанти проектів з виробництва даного виду біопалива наступні:

- Варіант 1: підприємство в сільській місцевості виробляє брикети з агробіомаси і продає їх як заміник дорогого вугілля місцевому населенню та іншим споживачам, що використовують невеликі котли з ручним завантаженням. Такими споживачами можуть бути об'єкти соціальної сфери (школи, лікарні тощо). Перевагою даного виду проекту є можливість продажу брикетів по ринковій вартості.

- Варіант 2: мешканці села або члени об'єднаної територіальної громади створюють енергетичний кооператив, в рамках якого виробляють брикети з біомаси для власного споживання. Такий кооператив може бути або

новоствореним, або ж діяльність вже існуючого кооперативу (наприклад, ягідного або садового) розширюється на виробництво паливних брикетів. Переваги проекту: можливість використання дешевої (безкоштовної) власної біомаси, відсутність плати за оренду виробничого приміщення, можливість придбання членами кооперативу вироблених брикетів по собівартості.

- Варіант 3: крупне аграрне підприємство (агрофірма, агрохолдинг) виробляє брикети з власної сировини (побічних продуктів або відходів сільськогосподарського виробництва) і продає частину продукції своїм співробітникам, а решту – зовнішнім споживачам. Переваги проекту: можливість використання сировини (біомаси) по собівартості, відсутність плати за оренду виробничого приміщення, можливість продажу частини брикетів працівникам підприємства по ціні, близькій до собівартості (як складова «соціального пакету»).

Порівняльне (попереднє) ТЕО зазначених варіантів виробництва брикетів для випадку використання соломи як сировини представлено у таблиці 1. Результати ТЕО показують, що всі варіанти є економічно життєздатними з дисконтованим терміном окупності менше 4 років і внутрішньою нормою дохідності більше 25%.

Типові види проектів з використання паливних брикетів з біомаси можуть бути наступними:

- Варіант А: індивідуальний споживач використовує брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому або новопридбаному побутовому твердопаливному кот-

Табл. 1. Техніко-економічні показники типових проектів з виробництва брикетів з біомаси в Україні [3]

Показники	Варіант 1: Підприємство	Варіант 2: Енергокооператив	Варіант 3: Агрохолдинг
Продуктивність брикетної лінії, кг/год	320,0	160,0	640,0
Продуктивність річна, т/рік	1536,0	640,0	2560,0
Ціна сировини (соломи), євро/т без ПДВ	20,2	0,0	14,0
Капітальні витрати, тис. євро	40,5	23,4	136,7
Експлуатаційні витрати, тис. євро/рік	86,7	18,5	112,2
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	60	60	60
Ставка по кредиту, %	7	7	7
Продажна ціна брикетів, євро/т без ПДВ	64	38	60 (70%)*; 49 (30%)**
Простий термін окупності, років	3,3	2,9	2,8
Дисконтований термін окупності, років	3,7	3,3	3,3
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	26%	35%	36%

\* Продаж брикетів стороннім споживачам.

\*\* Продаж брикетів співробітникам підприємства.

Табл. 2. Техніко-економічні показники типових проектів з використання брикетів з біомаси в Україні [3]

Показники	Варіант А: індивідуальний споживач		Варіант Б: заклад торгівлі/сфери обслуговування		Варіант В: промислове/комерційне підприємство	
	існуючий котел (вар. А1)	новий котел (вар. А2)	існуючий котел (вар. Б1)	новий котел (вар. Б2)	існуючий котел (вар. В1)	новий котел (вар. В2)
Потужність котла, кВт	20	20	100	100	1000	1000
Капітальні витрати, євро		900		3500		30000
Ціна брикетів з соломи, грн./т з ПДВ	1600*	1600*	2600	2600	2300	2300
Економія коштів на придбанні палива**, євро/рік	408 по вугіллю	408 по вугіллю	409 по вугіллю	2307 по ПГ	10207 по вугіллю	29190 по ПГ
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %		60		60		60
Ставка по кредиту, %		7		7		7
Простий термін окупності, років		3,9		2,4		1,5
Дисконтований термін окупності, років		4,7		2,7		1,6
Внутрішня норма дохідності (IRR), %		26%		43%		68%

\* По собівартості.

\*\* У розрахунках прийнято ціну вугілля 6000 грн./т з ПДВ, ціну природного газу – 10042 грн./тис. м<sup>3</sup> з ПДВ.

лі потужністю до 50 кВт. Можливість ефективного спалювання брикетів з біомаси в існуючих твердопаливних котлах було обґрунтовано в роботі [3].

- Варіант Б: заклад торгівлі або сфери обслуговування (магазин, готель тощо) споживає брикети з біомаси як замітник вугілля в існуючому твердопаливному котлі або переходить з природного газу на спалювання брикетів з біомаси у новопридбаному котлі потужністю до 100 кВт.

- Варіант В: підприємство (промислове, комерційне) споживає брикети з біомаси як замітник вугілля в існуючому твердопаливному котлі або переходить з природного газу на спалювання брикетів з біомаси у новопридбаному котлі потужністю до 1000 кВт.

Результати (попереднього) ТЕО зазначених варіантів споживання для випадку брикетів з соломи показують, що всі варіанти є економічно доцільними (таблиця 2). У разі використання брикетів у новопридбаному твердопаливному котлі організацією або промисловим підприємством, дисконтований термін окупності становить менше 3 років. Для індивідуального споживача

термін окупності складає майже 5 років через більшу питому вартість котла (45 євро/кВт) і меншу питому вартість енергії у вугіллі (близько 240 грн./ГДж), яке заміщується брикетами, у порівнянні з природним газом для промислових (комерційних) споживачів (близько 295 грн./ГДж). У випадку використання брикетів з біомаси в існуючих твердопаливних котлах споживачі отримують економію коштів за рахунок різниці ціни вугілля і паливних брикетів з соломи (табл. 2).

### Висновки

Брикети з біомаси – вид твердого біопалива, який широко використовується в країнах, що розвиваються, і інтерес до якого давно існує і зростає в розвинутих країнах Європи і Північної Америки. Виробництво та використання паливних брикетів з біомаси є важливим і перспективним сегментом розвитку біоенергетики в Україні з огляду на ті економічні, екологічні та соціальні вигоди, які він може дати. В першу чергу, необхідно нарощувати обсяги виробництва брикетів з біомаси сільськогосподарського походження, враховуючи наявність в країні значного енергетичного потенціалу такої

біомаси і велику ємність ринку з боку споживання біопалива.

Брикетти виготовляються з доступної місцевої біомаси, яка являє собою відновлюване джерело енергії і є CO<sub>2</sub>-нейтральною. Запровадження бізнесу із виробництва і продажу брикетів сприяє підвищенню енергетичної незалежності регіонів, створенню нових робочих місць у сільській місцевості і розвитку місцевої економіки. Результати ТЕО типових варіантів виробництва і споживання паливних брикетів з агробіомаси показують, що всі проекти є економічно доцільними з дисконтованим терміном окупності в межах 3...5 років.

Для подальшого розвитку даного сегменту біоенергетики в Україні необхідно вдосконалювати законодавчу базу (наприклад, стосовно створення і функціонування енергетичних кооперативів), вирішувати питання стандартизації і сертифікації твердого біопалива, розвивати ринок біопалива.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А., Драгне́в С.В., Баи́товий А.І. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2018. – Т. 40, № 4. – С. 62-68 <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2018.9>
2. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А., Драгне́в С.В., Баи́товий А.І. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 2 // Теплофізика та теплоенергетика. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.8>
3. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А., Драгне́в С.В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 20, 2018 <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>
4. Проект ЄС «uP\_running – Стале використання деревної біомаси від обрізки і викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень». Програма досліджень та інновацій ЄС Горизонт 2020 <http://ua.up-running.eu/>

## FEASIBILITY STUDY OF THE PRODUCTION AND CONSUMPTION OF AGRIBIOMASS BRIQUETTES IN UKRAINE

**Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.**

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.11>

The purpose of the work is to carry out a preliminary feasibility study of some typical projects on the production and consumption of agribiomass briquettes in Ukraine. The task of the work is to analyse and summarize the results of the feasibility study. The research methods include an overview of the successful examples of the production and use of biomass briquettes in Ukraine, the identification of priority types of relevant projects, the assessment of the main technical and economic indicators of several typical bioenergy projects. The results of the work make it possible to conclude whether it is feasible or not to implement certain types of projects in this segment of bioenergy. It is shown that today in Ukraine there are already examples of successful implementation of projects on the production and consumption of different biomass type briquettes. These examples include projects implemented for grants and business projects. For Ukraine, several promising options for the production and use of biomass briquettes can be suggested. The three typical variants of the biofuel production projects are as follows: (1) a rural enterprise produces agribiomass briquettes and sells them as a substitute for expensive coal to the local population and other consumers using small boilers with manual loading; (2) villagers or members of a united territorial community create an energy cooperative within which they produce biomass briquettes for their own consumption; (3) a large agrarian enterprise produces briquettes from its own agricultural raw materials and sells the product partly to its employees, partly to other consumers. Typical types of projects for the use of biomass briquettes can be as follows: an individual consumer or a trade/service organization or an industrial/commercial enterprise uses biomass briquettes in an existing boiler (replacement of coal) or in a newly purchased boiler of the appropriate capacity (replacement of coal/natural gas). The results of the preliminary feasibility study of these typical projects show that all the projects are economically feasible with a discounted payback period of 3-5 years.

References 4, tables 2.

**Key words:** renewable energy sources, bioenergy, biomass, biofuel, solid biofuel, briquettes.

1. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.* Analiz mozhyvostei vyrobnytstva i spozhyvannia palyvnykh bryketiv z biomasy silskohospodarskoho pokhodzhennia v Ukraini. Chastyna 1 [Analysis of possibilities for the production and consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine. Part 1], *Promyslova teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering]. – 2018, V. 40, № 4, P.62–68 (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2018.9>

2. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.* Analiz mozhyvostei vyrobnytstva i spozhyvannia palyvnykh bryketiv z biomasy silskohospodarskoho pokhodzhennia v Ukraini. Chastyna 2 [Analysis of possibilities for the production and consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine. Part 2], *Teplofizyka ta teploenergetyka* [Thermophysics and Thermal Power Engineering] 2019, V.1, № 1, P. – (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.8>

3. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V.* Analiz mozhyvostei vyrobnytstva ta vykorystannia bryketiv z ahrobiomasy v Ukraini. Analychna zapyska Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy [Analysis of the possibilities of production and use of briquettes from agro biomass in Ukraine] UABio Position Paper No. 20, 2018] (Ukr.)

<http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

4. Proekt ES «uP\_running – Stale vykorystannia de-revnoi biomasy vid obrizky i vykorchovuvannia bahato-richnykh silskohospodarskykh nasadzen». Prohrama doslidzhen ta innovatsii YeS Horyzont 2020 [EU Project “uP\_running – Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal”. Horizon 2020 EU Framework Programme for Research and Innovation] <http://ua.up-running.eu/>

*Отримано 22.08.2018*

*Received 22.08.2018*