

for combine harvester is more than doubled compared to all grain harvester combines in groups.

Analysis and comparison of SMO characteristics for stable and unstable operating modes has shown that the mutual transition for grain harvester combines group lasts from 4 hours (20 combines) and up to 8 hours (1-5 combines). Taking into account the SMO model and the proposed method will allow obtaining more accurate characteristics of the QMS: waiting time in the queue, queue length and the like. The value of the total total losses at 1 hour of operation differs by a factor of almost 5 in comparison with the steady-state regime.

**Key words:** optimization, mass maintenance system, grain harvester combine, periodicity of maintenance

УДК 620.92

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПОВИХ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З АГРОБІОМАСИ В УКРАЇНІ**

**Г. Г. Гелету́ха, кандидат технічних наук  
ORCID 0000-0002-5249-3092**

**Т. А. Желєзна, кандидат технічних наук  
ORCID 0000-0002-9607-3022**

**С. В. Драгнєв, кандидат технічних наук  
ORCID 0000-0003-3754-4186**

**А. І. Баштовий, кандидат технічних наук  
ORCID 0000-0002-1510-2945**

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

**І. Л. Роговський, кандидат технічних наук  
ORCID 0000-0002-6957-1616**

**Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
e-mail: geletukha@nas.gov.ua**

**Анотація.** У статті проаналізовані та узагальнені результати техніко-економічного обґрунтування типових проектів виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні. Методи дослідження включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва і використання

© Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желєзна, С. В. Драгнєв,  
А. І. Баштовий, І. Л. Роговський, 2018

*паливних брикетів з біомаси, визначення пріоритетних видів відповідних проектів, оцінку основних технічних і економічних показників декількох типових біоенергетичних проектів. Для умов України можна запропонувати три типові варіанти проектів по виробництву паливних брикетів з біомаси: підприємство в сільській місцевості виробляє брикети з агробіомаси і продає їх як замітник дорогого вугілля місцевому населенню та іншим споживачам, які використовують невеликі котли з ручним завантаженням; жителі села або члени об'єднаної територіальної громади створюють енергетичний кооператив, в рамках якого виробляють брикети з біомаси для власного споживання; велике аграрне підприємство виробляє брикети з власної агросировини і продає частину продукції своїм співробітникам, а решту – зовнішнім споживачам. Типові види проектів по використанню паливних брикетів з агробіомаси можуть бути такими: індивідуальний споживач або заклад торгівлі/сфери обслуговування або підприємство (промислове, комерційне) використовує брикети з біомаси в існуючому котлі (заміщення вугілля) або в новопродбаному котлі відповідної потужності (заміщення вугілля/природного газу). Результати попереднього техніко-економічного обґрунтування зазначених типових проектів показують, що всі вони є економічно доцільними з дисконтованих терміном окупності у межах 3–5 років.*

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

**Постановка проблеми.** Актуальність дослідження обумовлена необхідністю розвитку відновлюваної енергетики в Україні для зменшення споживання імпортованих енергоносіїв та скорочення викидів парникових газів. 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.

**Аналіз останніх досліджень.** 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 [1–3]. Для розвитку сегменту біоенергетики із виробництва брикетів виникає необхідність в аналізі і узагальненні отриманих результатів техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО) типових проектів, що базуються на використанні агробіомаси.

**Мета досліджень** – виконання попереднього техніко-економічного обґрунтування типових проектів з виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні.

Матеріали і методи дослідження включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва та використання паливних брикетів з біомаси, визначення пріоритетних видів відповідних проектів, оцінку та аналіз основних технічних та економічних показників кількох типових біоенергетичних проектів.

**Результати досліджень.** На сьогодні в Україні вже реалізовані приклади успішних проектів із виробництва та використання паливних брикетів, що використовують різні види біомаси, у тому числі, сільськогосподарського походження. Ці приклади включають як проекти, впроваджені за грантові кошти, так і бізнес-проекти [3]. Проведений аналіз цих прикладів дозволив визначити кілька типових варіантів виробництва та використання паливних брикетів з агробіомаси:

- 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»).

У Національному університеті біоресурсів і природокористування України була проведена експериментально-виробнича перевірка технології брикетування рослинних решток, зокрема, соломи, на механічних шнекових пресах закордонного та вітчизняного виробництва, що підтвердила високу ефективність та доцільність її широкого впровадження в умовах АПК [4, 5]. Ця технологія була використана як базова для відібраних трьох типових варіантів виробництва паливних брикетів з агробіомаси у ТЕО.

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%.

### **1. Техніко-економічні показники типових проектів з виробництва брикетів з біомаси в Україні.**

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.

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 котлі 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 заміник 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 заміник 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).

## **2. Техніко-економічні показники типових проектів з використання брикетів з біомаси в Україні.**

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)
1	2	3	4	5	6	7
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

**Продовження табл. 2**

1	2	3	4	5	6	7
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	–	26%	–	43%	–	68%

\* По собівартості.

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

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.

**Висновки**

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.

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. Результати ТЕО типових варіантів виробництва і споживання паливних брикетів з агробіомаси показують, що всі визначені типові 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.

**Список літератури**

1. Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квас В. М. Технологія виробництва твердого палива з міскантусу. Біоенергетика. 2015. № 2. С. 13–17.

2. Коломийченко М. В. Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива України. Проект UNDP, GEF, 2016. URL: [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia\\_karta\\_z\\_rozvitku\\_rinku\\_tverdogo\\_biopaliva\\_ukrayini.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf).
3. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Драгнєв С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України. № 20, 2018. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>.
4. Дубровін В. О., Кухарець С. М., Поліщук В. М. Розробка ресурсощадних технологій виробництва та використання твердого біопалива для тепlopостачання виробничих та побутових приміщень агропромислового комплексу: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. Аграр Медіа Груп. 2014. 86 с.
5. *Waclaw Romaniuk, Victor Polishchuk, Andrzej Marczuk, Liudmyla Titova, Ivan Rogovskii, Kinga Borek*. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. 2018. Vol. 22. № 1. P. 105–125. doi:10.1515/agriceng-2018-0010.

### References

1. *Ganzhenko, O. M., Humenik, M. Ya., Kwak, V. M.* (2015). Technology of production of solid fuel from miscanthus. *Bioenergy*. 2015. No 2. 13–17.
2. *Kolomiychenko, M. V.* (2016). Road map for the development of the market of solid biofuels in Ukraine. The UNDP project, GEF. URL: [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia\\_karta\\_z\\_rozvitku\\_rinku\\_tverdogo\\_biopaliva\\_ukrayini.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf).
3. *Geletukha, G. G., Zheliezna, T. A., Drahniiev, S. V.* (2018). Analysis of possibilities of production and use of briquettes from agrobiomass in Ukraine. Policy brief Bioenergy Association of Ukraine. No 20. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-EN.pdf>.
4. *Dubrovin, V. O. Kuharets, S. M., Polishchuk, V. M.* (2014). Development of resource-saving technologies of production and use of solid biofuel for heating industrial and domestic premises of agro-industrial complex: recommendations for agro-industrial enterprises of Ukraine. Kiev. Agrar Media Group. 86.
5. *Waclaw Romaniuk, Victor Polishchuk, Andrzej Marczuk, Liudmyla Titova, Ivan Rogovskii, Kinga Borek.* (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. Vol. 22. № 1. 105–125. doi:10.1515/agriceng-2018-0010.

## ОБОСНОВАНИЕ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ АГРОБИОМАССЫ В УКРАИНЕ

**Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная, С. В. Драгнєв,  
А. И. Баштовой, И. Л. Роговский**

**Аннотация.** В статье проанализированы и обобщены результаты технико-экономического обоснования типичных проектов производства и потребления топливных брикетов из агробиомассы в Украине. Методы исследования включают обзор

существующих в Украине успешных примеров производства и использования топливных брикетов из биомассы, определение приоритетных видов соответствующих проектов, оценку основных технических и экономических показателей нескольких типичных биоэнергетических проектов. Для условий Украины можно предложить три типичных варианта проектов по производству топливных брикетов из биомассы: предприятие в сельской местности производит брикеты из агробиомассы и продает их как заменитель дорогого угля местному населению и другим потребителям, использующим небольшие котлы с ручной загрузкой; жители села или члены объединенной территориальной общины создают энергетический кооператив, в рамках которого производят брикеты из биомассы для собственного потребления; крупное аграрное предприятие производит брикеты из собственного агросырья и продает часть продукции своим сотрудникам, а остальное – внешним потребителям. Типичные виды проектов по использованию топливных брикетов из агробиомассы могут быть такими: индивидуальный потребитель или заведение торговли/ сферы обслуживания или предприятие (промышленное, коммерческое) использует брикеты из биомассы в существующем котле (замещение угля) или в новоприобретенном котле соответствующей мощности (замещение угля/ природного газа). Результаты предварительного технико-экономического обоснования указанных типичных проектов показывают, что все они являются экономически целесообразными с дисконтированным сроком окупаемости в пределах 3-5 лет.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, биоэнергетика, биомасса, биотопливо, твердое биотопливо, брикеты

## **SUBSTANTIATION OF THE TYPICAL PROJECTS FOR PRODUCTION AND CONSUMPTION OF AGRIBIOMASS BRIQUETTES IN UKRAINE**

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

**Abstract.** *In the article, results of the feasibility study of some typical projects on the production and consumption of agribiomass briquettes in Ukraine are analyzed and summarized. 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. Under Ukrainian conditions the following three typical variants of the biofuel production projects can be suggested: 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; villagers or members of a united territorial community create an energy cooperative, within which they produce biomass briquettes for their own consumption; 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 agribiomass briquettes can be as follows: an individual consumer or trade/service organization or industrial/commercial enterprise uses biomass briquettes in the existing boiler (replacement of coal) or in 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.*

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

УДК 631.171.075.4

## **ЕФЕКТИВНЕ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІКИ**

***Н. І. Болтянська, кандидат технічних наук  
ORCID 0000-0002-7887-4715***

***Таврійський державний агротехнологічний університет  
e-mail: bolt.n74@gmail.com***

*Анотація. У статті розглянуто розроблену математичну залежність для визначення потреби тваринницької техніки в запасних частинах із змінними факторами: кількість однакових деталей на одній машині; кількість однакових машин; закон розподілу ресурсу деталей та його параметри; точність визначення параметрів розподілу, яка включає розмір статистичної вибірки і довірчу ймовірність; час прогнозу, яка дозволить забезпечити споживачів достатньою кількістю запасних частин задля підтримання техніки в працездатному стані і якісному виконанню усіх агрозотехнічних операцій відповідно до вимог технологічного процесу, враховуючи особливість функціонального призначення та експлуатації засобів механізації і електрифікації на тваринницьких фермах, що полягає*

© Н. І. Болтянська, 2018