

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-5-69-3>

УДК 622.7

Міхал Бембенек

AGH Науково-технічний університет, Краків, Польща

ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ У ВИРОБНИЦТВІ БРИКЕТІВ І ПЕЛЕТІВ

Анотація. Промисловість та життєдіяльність людей у цілому залежать від традиційних видів палива, а саме: нафти, газу та вугілля. Альтернативою використання джерел енергії є біомаса. Її виготовляють з залишків сільськогосподарства (рослинних і тваринних), лісового господарства та близьких до них галузей промисловості. Це робить біомасу безпечною для довкілля та здоров'я людини. Зазначимо, що біомаса потребує розроблення технологій переробки на паливо. Представлені технології виробництва біопалива є не єдиними на ринку, але є основними. Виконані нами дослідження дають змогу оцінити переваги і недоліки того чи іншого виробництва біопалива, погрупувати і по-новому подивитись на стан галузі, вибрати який метод виготовлення біопалива варто використовувати в тих чи інших умовах виробництва. Стаття може допомогти у розробці нових технологій, провадження яких дасть змогу забезпечити країну альтернативними джерелами енергії.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, біомаса, преси для ущільнення біомаси, брикетування, гранулювання, пелетування, агломерація біомаси, зольність, вміст вологи.

Michał Bembenek

AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

USING BIOMASS IN THE PRODUCTION OF BRIQUETTES AND PELLETS

Summary. The industry and livelihoods of people in general depend on traditional fuels, namely oil, gas and coal. The main problem that arises when using these types of energy carriers is that their natural resources are limited and they are decreasing all the time. An alternative to using such energy sources is biomass. It is made from the remnants of agriculture (plant and animal), forestry and related industries. Biomass can also be obtained from specially selected plants such as miscanthus. There are also known cases of using cereals as wheat for energy purposes. Another advantage is the large resources that are renewable. This makes biomass safe for the environment and human health. Biomass in the raw state does not have high values in terms of its use in the power industry. This is mainly due to the low bulk density and high moisture content. Biomass requires processing to change it into a fuel. There are many methods for biomass consolidation. Due to the diversity of sources of biomass declination, its parameters in the raw state, chemical composition, grain size, bulk density and, in particular, the purpose of biomass after integration, there is no universal method of its agglomeration. The describes above biofuel production techniques are not the only available one on the market, but the main. The research makes it possible to assess the advantages and disadvantages of biofuel production, to categorize and analyze the industry in a new way, to choose which method and type of biofuel production should be used in certain production conditions. The specialized equipment using in biomass processing industry is also presented. The article can help in the development of new technologies, the implementation of which will enable the country to provide alternative energy sources.

Keywords: alternative energy sources, biomass, biomass compaction presses, briquetting, granulation, pelletization, agglomeration of biomass, ash content, moisture content.

Постановка проблеми. В умовах стрімкого розвитку технологій кількість спожитої енергії лише збільшується. Внаслідок цього запаси традиційних енергоресурсів, тобто природного газу, вугілля та нафти зменшуються, а ціни на них зростають. Також все більш очевидною стає енергетична криза в галузі вуглеводневого палива. Згідно з світовими прогнозами, таких ресурсів вистачить, щонайбільше, на 100 років. Окрім того, надмірне споживання природних ресурсів негативно впливає на екологію нашої планети – зростає концентрація парникових газів, що затримують інфрачервоне випромінювання в атмосфері, виникає забруднення ґрунтових вод, океанів нафтовими плямами.

Негативний вплив традиційних джерел енергії зумовлює посилений інтерес до альтернативних джерел енергії. Одним з таких є використання біомаси в якості палива та для побутових цілей. Саме тому, важливо детально розгляну-

ти класифікацію та використання біопалива у сучасних умовах.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В ході написання статті проаналізовано наукові праці таких польських науковців, як Гриневич М., Дзик Т. і Шізлак-Барглович Дж. Також були розглянуті роботи українських вчених: Дубневич Ю., Гелетуха Г., Кухар В., Соловей О.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Не зважаючи на велику кількість наукових праць, присвячених переробці та використанні біомаси, тема залишається актуальною. Актуальність нашої праці зумовлена тим, що теоретичний аспект вивчення біомаси є недостатньо дослідженим; відсутністю єдиної класифікації біомаси та систематизації знань про неї. У статті коротко описано увесь життєвий цикл біомаси від її утворення і переробки до використання.

Мета статті. У ході виконання роботи нами поставлені наступні цілі:

1. Розкрити зміст поняття «біомаса».
2. Виділити основні переваги біомаси над традиційними джерелами енергії.
3. Окреслити основні характеристики біомаси та пелетів, брикетів.
4. Описати технологію виробництва брикетів, пелетів та гранул.

Виклад основного матеріалу. Для задоволення енергетичних потреб сьогодні дедалі більше людей використовує нетрадиційні (альтернативні, від-новлювальні) джерела енергії. Найпоширенішими серед них є енергія сонячного випромінювання, вітру, морів, річок та ін. На нашу думку, серед альтернативних джерел енергії паливо з біомаси заслуговує на особливу увагу, адже воно не призводить до посилення глобального парникового ефекту. Таке паливо є екологічно чистим, відновлюваним. Біопаливо з дерева є нейтральним: при спалюванні деревини кількість CO_2 , що виділяється в атмосферу не перевищує рівня викидів природного розкладання деревини [17; 25].

У сучасних умовах біомаса є практично невичерпним джерелом одержання енергії. Енергетичний потенціал біомаси розділяється на дві групи: плантації рослин, які спеціально вирощують для потреб енергетичного характеру (ріпак, міскантус, топінамбур, кукурудза тощо) та рештки, відходи органічного характеру (рештки культурних рослин, відходи вирощування і переробки рослинної продукції, відходи від тваринництва, комунальні відходи) [4; 14; 16].

Національним планом дій щодо відновлюваної енергетики України постановлено за мету досягти у 2020 році 11% відновлюваних джерел енергії у вальному кінцевому енергоспоживанні [26].

Більшість видів біомаси пресують, адже це допомагає досягнути хороших параметрів з точки зору горіння (тепловіддача), мати високу щільність – щоб довше горіти, компактну і зручну форму для легшого транспортування і завантаження в котельні установки. У сирому вигляді біомаса має нижчі характеристики і погано горить.

Використання біомаси в якості палива. На сьогодні не існує єдиного визначення терміну «біомаса», адже різні нормативно-правові акти по-різному тлумачать значення терміну.

До прикладу, у Європі використовують таке визначення: «Біомаса – біодеградовані фракції продуктів, відходів та залишків сільського господарства (рослинних і тваринних), лісового гос-

подарства та близьких до них галузей промисловості (вуглецевмістких органічних речовин рослинного і тваринного походження: деревина, солома, рослинні залишки сільськогосподарського виробництва, гній тощо)» [19].

Згідно з Законом України «Про альтернативні види палива», біомаса – біологічно відновлювана речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів) [21].

На нашу думку, відсутність єдиної установленної дефініції пов'язане з різноманітністю видів біомаси, найпоширенішими серед яких є: вугілля, деревина тріска, торрефікація деревини та солома [12].

Особливої уваги для використання як палива заслуговує тріска і тирса. Тріска – подрібнені вздовж волокон кусочки деревини розміром до 50 мм, отримані зі стовбурів дерев, пеньків і гілок. Тирса – більш дрібні частинки деревини розміром до 5 мм, отримані під час пиляння тощо [17].

Використання палива із залишків рослин залежить від виду культур, якими засівають площі землі та від характеру, кількості залишків, які отримують з одиниці посівної площі. До прикладу, овочеві культури дають менше відходів, аніж культури, вирощені на полі [13].

Рослинні відходи можна визначити, помноживши масу культури на від-повідний коефіцієнт залишку.

Відповідно:

- кукурудза – 0,55-1,20;
- цукровий буряк – 0,07-0,20;
- соя – 0,55-2,60;
- пшениця – 0,5-1,75.

Величина коефіцієнтів варіюються від способу збору культури, умов вирощування і методу, яким визначали коефіцієнт [18].

Основними компонентами, що входять у біомасу є: смоли, целюлоза, лігнін, геміцелюлоза, а також мінеральна складова, яка визначає кількість золи. Геміцелюлоза складає 17-40% біомаси та порівняно з іншими компонентами, має низьку теплоту згорання, температурна нестійкість (розкладається при температурах 200-295°C) є передумовами підвищення теплоти згорання біопалива внаслідок термічної обробки [11].

Таблиця 1

Характеристики видів палива та їх енергетичні характеристики [23]

Вид палива	Характеристики палива				$Q_{\text{н}}$		$Q_{\text{в}}$	
	зольність	волога	кисень	вуглець	МДж/кг	ккал/кг	МДж/кг	ккал/кг
Дрова/Тріска	0,6	40	25,1	30,3	10,22	2440,9	12,04	2875,3
Солома	4,5	15	37,3	37,7	13,50	3224,3	15,01	3584,3
Вугілля	19,8	10	7,5	55,5	21,57	5151,7	22,66	5411,5
Торф	6,3	50	15,2	24,7	8,12	1939,3	9,96	2379,7
Лушпиння соняшника	2,4	15	34,5	42,5	15,40	3678,1	16,88	4032,7
Лушпиння гречки	1,27	1,12	44,9	45,86	16,80	4012,4	18,18	4343,1
Шрот ріпаку	4,3	10	35,65	42	17,25	4119,9	19,00	4537,9
Лушпиння сої	3,2	9,3	38	45	14,80	3534,8	15,89	3795,8
Лушпиння рису	19,5	7,8	32,2	36,2	13,31	3178,9	14,39	3436,3

$Q_{\text{н}}$ – нижча теплота згорання палива, $Q_{\text{в}}$ – вища теплота згорання палива.

Характеристиками здебільшого однорідних рослинних залишків є щільність, вміст вологи, попелу та розмір частинок, з яких складається біомаса. Відходи зернових культур прийнято вважати відносно сухими, адже їхня вологість приблизно рівна 15%. Як відомо, вологість впливає на теплоту згорання біопалива, тож низький рівень вологи є запорукою постійної ефективності спалювання.

Більшість рослинних відходів згорає виділяючи теплоту рівну 11000-18000 кДж/кг. У таблиці 1 наведено характеристику основних видів палива. Для повного розуміння таблиці важливими є терміни «вища теплота згорання» та «нижча теплота згорання» [20].

Вища теплота згорання – це кількість тепла, що виділилася при згоранні 1 кг біомаси при повній конденсації всієї пари води, що утворилася при горінні, з віддачею ними тепла, витраченого на їх випаровування (так званої прихованої теплоти пароутворення).

Нижча теплота згорання – кількість тепла, що виділилася при згоранні 1 кг біомаси, без обліку тепла, витраченого на випаровування вологи, що утворилася при згорянні цього палива [23].

Біологічну сировину можна застосовувати не переробленою, для систем опалення (котли, каміни), в установках що виробляють теплову та електричну енергію шляхом спалювання. Сировину пресують у гранули, брикети і пелети для збільшення питомої теплоти згорання, покращення зберігання та зручності транспортування і автоматизації керованого процесу спалювання в паливних установках [13; 15].

Технологія виробництва пелетів, гранул і брикетів. Паливні гранули – це дрібні частинки біологічного походження ущільнені під тиском, які зазвичай мають циліндричну форму (рис. 1). Циліндричні гранули більш сипкі і підходять для всіх систем подачі автоматизованих котелень, до прикладу, таких, як транспортери та шнеки (табл. 2). Гранули можна виготовляти з соломи, деревної тирси, трави, деревного борошна, торфу лушпиння соняху, а також їх сумішей.

Паливні гранули високої якості, на вигляд, мають рівну, блискучу поверхню, без тріщин і здуття. Гранули з відходів деревообробних і лісопильних виробництв є біло-жовтими. Коричневі і чорні вкраплення свідчать про додавання кори і лушпиння соняшника та інших культур. Паливні гранули повинні тонути у воді, адже їх щільність більша за 1 кг/дм³. Запах повинен відповідати сировині, з якої виготовили гранули, не вказувати на застосування хімічних добавок і сирість через неправильне зберігання.



Рис. 1. Паливні гранули [28]

В основі технології гранулювання, пелетування і брикетування лежить пресування подрібненої біомаси. Біологічна сировина подрібнюється в дробарці до стану борошна. Після чого її сушать та спресовують у грануляторах отримуючи гранули. Підчас стиснення підвищується температура і розм'якшений аморфний полімер – лігнін, що міститься в клітинах біомаси, покриває частинки склеюючи їх в щільні циліндри. На виробництво однієї тони гранул йде від трьох до п'яти кубометрів деревних відходів природної вологості [15; 25]. Щойно спресовані гранули, охолоджують і розфасовують в упаковки або насипом.

Гранулювання, а саме пелетизація відбувається в пресах різної конструкції з плоскою (рис. 2) або циліндричною матрицею (рис. 3). Біомасу впресовують в матрицю з безліччю отворами (фільтери), це відбувається в кільцевих пресах, де роторні валці обертаючись створюють контактне напруження змінання сировини.

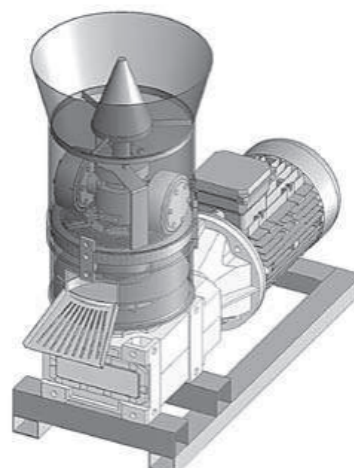


Рис. 2. Гранулятор з плоскою матрицею [3]

Основні якісні показники гранул згідно вимог [15]

Таблиця 2

Параметри	DIN 51 731	DIN plus	O-Norm M 7135	SS 18 71 20
Діаметр (d), мм	4-10		4-10	<25
Довжина (l), мм	<50	<5 x d	<5 x d	<5 x d
Щільність, кг/дм ³	>1,0-1,4	>1,12	>1,12	н.о.
Вологість (відносна), %	<12	<10	<10	<10
Зольність, %	<1,5	<0,5	<0,5	<1,5
Теплота згорання (нижча робота), МДж/кг	17,5-19,5	>18	>18	>16,9
Насипна вага, кг/м ³	650	650	650	>500

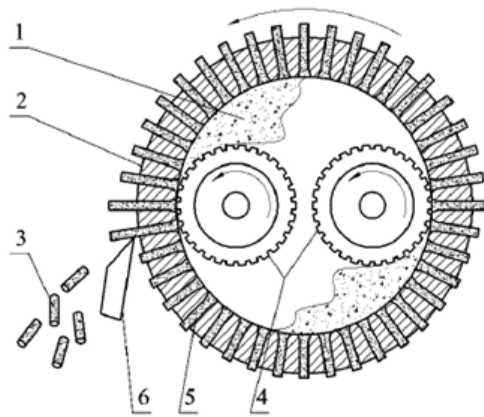


Рис. 3. Гранулятор з кільцевою матрицею:
1 – матеріал, що піддається ущільненню,
2 – кільцева матриця з формувальними отворами, 3 – готові гранули, 4 – роторні вальці, 5 – матеріал під час формування, 6 – ніж для відсікання гранул відповідної довжини [6]

Пройшовши через отвори, біомаса зрізається спеціальними ножами і відділяється від дрібних частинок, які йдуть на повторну переробку. Для виготовлення пресів використовують особливо міцні, зносостійкі матеріали, які піддають термообробці і гартуванню. Питоме споживання електроенергії складає від 30 до 50 кВт в годину на тону [25]. За даними компанії California Pellet Mill, оптимальна температура гранулювання 88-102°C, тому що плавлення лігніну та відсутність утворення водяної пари, що розриває плавні гранули можливе при 90°C [23].

Процес брикетування – це стискування матеріалу під високим тиском, з виділенням температури від сил тертя [25]. Як ми вже зазначали, вологість є важливою характеристикою, не можна допускати перевищення 14%, в інакшому випадку брикет розпадатиметься на шматки. Об'єм готового брикету становить від 1/5 до 1/10 об'єму сировини, з якої його виготовили, як наслідок брикети вигідніше транспортувати і зберігати.

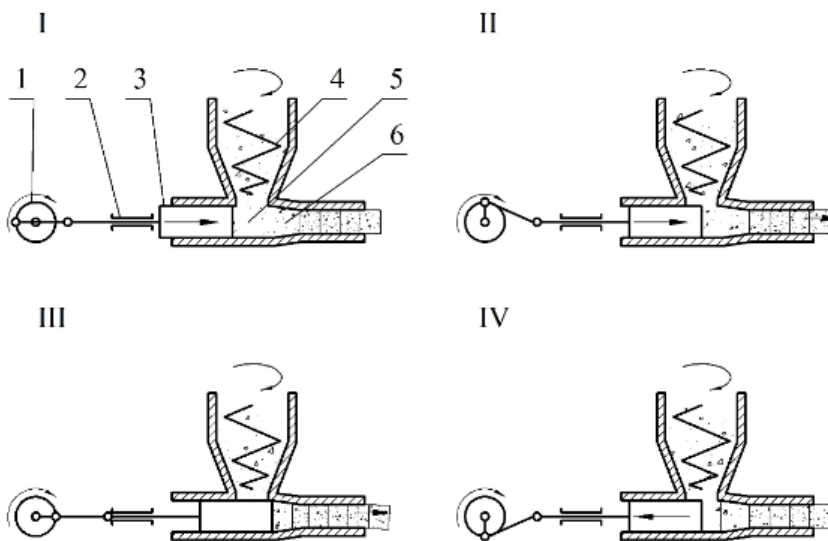


Рис. 4. Схема роботи поршневого пресу: 1 – шатунний або ексцентричний механізм, 2 – повзунок, 3 – штампувальний поршень, 4 – механізм подачі сировини, 5 – ущільнювальна камера, 6 – пресувальна камера [5]

Преси для брикетування

Поршневий прес. Із кожним циклом ходу поршень стискає і продавлює нову дозу сировини крізь сопло із конічним завуженням (рис. 4). Через циклічність процесу на поверхні залишаються відповідні пароутворення. Для згладження моторних навантажень використовують маховик. Малий хід поршня забезпечує йому довговічність. Через постійне проходження сировини через сопло швидко втрачає свої параметри. Простота конструкції і дешевизна забезпечують їх розповсюдження (рис. 5).



Рис. 5. Приклад конструкції гідравлічного преса для брикетування (відкрита камера) [32]

Шнековий прес (рис. 6) компактніший і легший за поршневий через відсутність маховика і поршня. Продукт виходить рівномірно і безперервно, тому його розрізають спеціальним ножом на куски заданого розміру. Шнек частково перемишує і постійно ущільнює матеріал під тиском понад 100 МПа, а температура становить близько 200 градусів Цельсія., тому на виході продукт має більшу щільність. Під час формування брикет додатково нагрівається, це дозволяє вивільнити зв'язуючі речовини, що містяться в сировині, завдяки чому він отримує достатню міцність і зчеплення. Шнеки є тихішими за поршневі, бо не створюють шум від ударів (рис. 7). Водночас вони є енергозатратнішими, а поверхні шнека швидко зношуються.

Вальцьовий брикетний прес.

Спершу ролики обертаються на зустріч один одному, сировина з бункера попадає між кільця під силою власного тяжіння або подається гвинтом. Можна попередньо ущільнити матеріал для отримання щільніших виробів. Порожнини на кільцях формують під високим тиском сировину в готовий продукт, який автоматично випадає з вальків (рис. 8). Преси цього типу є надійними і міцними, мають високий ККД і витримують тиск в декілька тон. Рослинну біомасу можна брикетувати тільки в перемішку з бурим або чорним вугіллям. Частка рослин не повинна перевищувати 20% [7; 8].

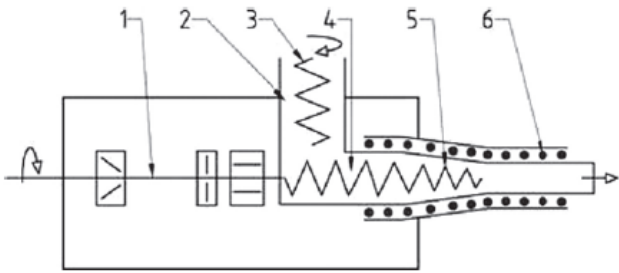


Рис. 6. Схема шнекового брикетувального пресу:
1 – підшипникова конструкція, 2 – камера подачі сировини, 3 – гвинт подачі сировини, 4 – ущільнювальна камера, 5 – шнековий вал, 6 – нагрівальна система [1]



Рис. 7. Приклад конструкції шнекового преса [31]

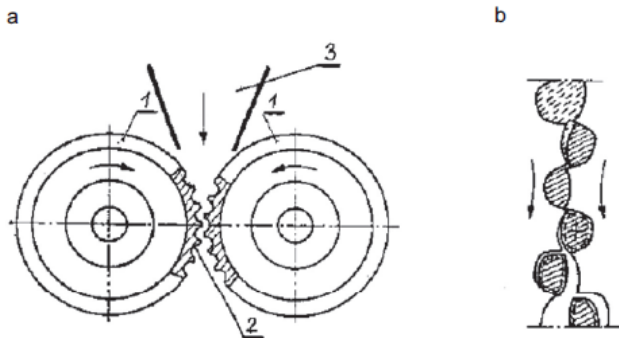


Рис. 8. Принцип роботи брикетувальних роликів: а) форма і взаємодія ролонів, б) формування брикетів, 1 – робочі валки, 2 – формувальні порожнини, 3 – джерело живлення біомасою [1]

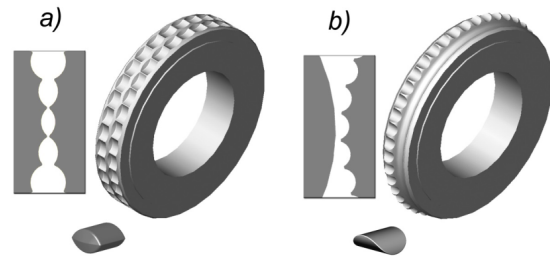


Рис. 9. Приклади елементів, які формують валковий прес і дозволяють утворювати брикети: а) у вигляді краплі з площиною поділу; б) у вигляді сідла [10]

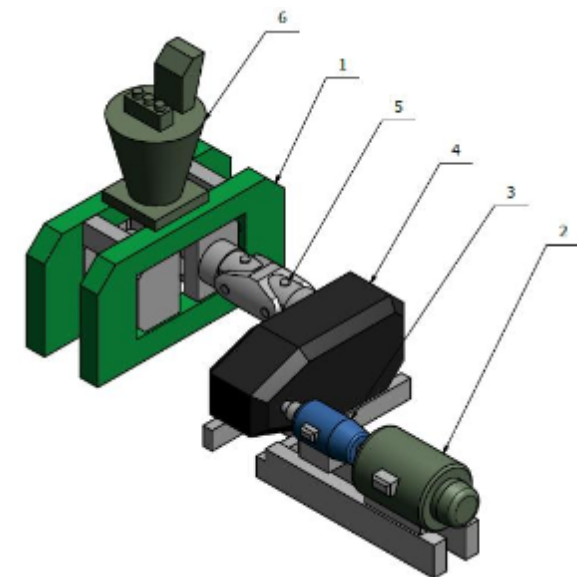


Рис. 10. Модель роликів преса PW 1000:
1 – рама робочих валків, 2 – електродвигун DSUo – 72-6, 3 – генератор GGB 400.1.2K, 4 – редуктор WD206-15, 5 – шарнірний кардан, 6 – шнековий бункер [2]

Будова формувальних кілець впливає на міцність брикету і значення тиску при брикетуванні. Розрізняють кільця які продукують брикети у вигляді краплі із площиною поділу і у вигляді сідла (рис. 9).

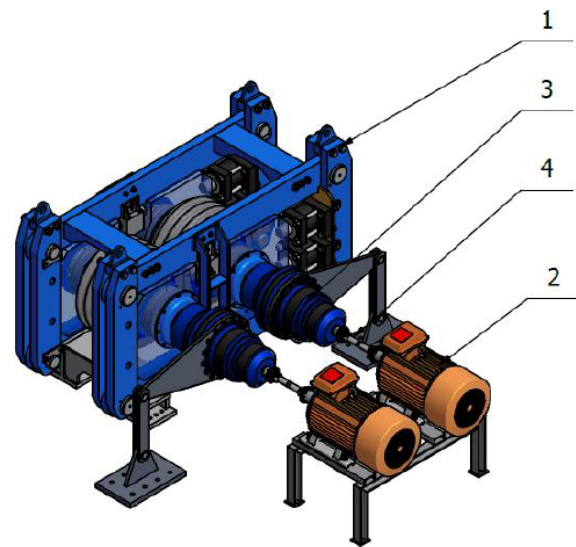


Рис. 11. Модель, що ілюструє циліндричний прес із приводом двох роликів: 1 – рама робочих валків, 2 – електродвигун dSg315S6-EP, 3 – планетарні редуктори SL18003 з реакційним кронштейном, 4 – шарнірний з'єднувач [2]

Кільця у формі сідла набагато краще для брикетування сумішей, що містять біомасу. Привід пресів виконують двома способами: один циліндр приводить в дію другий, передаючи йому крутний момент, або кожен з роликів має власний двигун. Приклад одноциліндрового приводу (рис. 10).

Приклад приводу з двома двигунами (рис. 11): В обох випадках один ролик жорстко закріплений, а інший підпружинений гідроциліндром.



Рис. 12. Брикети, отриманий з пресів з відкритою камерою [29]



Рис. 13. Брикети, отриманий з пресів із закритою камерою [30]



Рис. 14. Приклади брикетів створених у гвинтовому пресі [27]

Це потрібно для того, щоб ролики не зламались в процесі експлуатації, через те, що між кільця може попасти матеріал набагато твердіший, ніж передбачуваний.

Паливні брикети – це спресована біомаса прямокутної, циліндричної, шестикутної з отвором в середині і інших форм, довжиною від 100 до 300 мм, діаметром більше за 25 мм, переважно, від 60 до 75 мм [23]. Брикети горять протягом півгодини і тліють півтора години. Теплоота згорання майже рівна кам'яному вугіллю. Майже не виділяють диму, не іскрять і не стріляють. Сировиною в брикетах є ті ж матеріали, що і в гранулах. Виготовлення брикетів дозволяє підвищити ефективність емкостей при транспортуванні відходів у 4-8 рази. Найменування брикетів і їх форма часто впливають з назви фірми, що виробляє їх, наприклад: брикети RUF, NESTRO, Pini-Kaу. Для брикетування використовують ударно механічні, гідравлічні і шнекові преси.



Рис. 15. Приклади брикетів у формі сідла [27]

Брикети циліндричної форми NESTRO утворені на ударно-механічному обладнанні. Можуть мати нескінченну довжину, їх розрізають на поліна або шайби. Висока щільність зумовила їхню популярність. Діаметр від 50 мм до 80 мм, вологість 6-15%, продуктивність 500-700 кг/год (рис. 12).

Брикети RUF мають форму цеглин із скошеними кутами (Рис. 13). Вологість продукту близько 6-15%, продуктивність 400-450 кг/год. Їх виготовляють внаслідок гідравлічного пресування. Обладнання для таких брикетів дороге при купівлі і в обслуговуванні, має низьку продуктивність, але все одно користується попитом.

Екструдерні брикети Pini-Kaу мають чотирикутну, шестикутну або восьмикутну форму з отвором всередині (рис. 14). Їх виготовляють за допомогою шнекового механізму. Обпалена поверхня та отвір посередині є обов'язковими характеристиками. Основою технології є пресування під високим тиском при температурі 250-350°C. Висока температура обпалює поверхню і сприяє її зміцненню, що важливо при транспортуванні. Вологість таких брикетів близько 6-8%, продуктивність 350-400 кг/год. Дешеве обладнання, висока щільність брикету і ціна на ринку є їх перевагами. До недоліків виготовлення можна віднести енергоспоживання, продуктивність, швидке зношення деталей, велика кількість чадного диму при брикетуванні [24; 25].

Як вже згадувалося в вальцювому пресі, неможливо виробляти брикети, що містять тільки рослинну біомасу. Приклад брикетів у формі сідла з біомасою наведено на рисунку 15.

Висновки і пропозиції. Біомаса (солома, гній, деревні і сільськогосподарських відходи, органічні частини твердих побутових відходів) є надзвичайно перспективним, вигідним енергетичним джерелом, адже її ресурси поновлюються

щороку, вона є відновлювальним джерелом. Порівняно із використанням мінеральних палив, застосування твердого біопалива значно знижує забруднення довкілля. Найбільша перевага такого палива – біомасу безпечно використовувати у системах опалення багатьох об'єктах соціальної інфраструктури, житлових, виробничих, адміністративних будинків. У зв'язку з цим технологія її отримання та використання щороку розвивається.

За видами та формами розрізняють гранули, пелети, брикети, RUF, NESTRO, Pini-Kayu, брикети у вигляді краплі з площиною поділу, брикети у вигляді сідла. Основними характеристиками біомаси є вологість, щільність, розмір фракції, теплота згорання, насипна маса, зольність, інші домішки. Це стало основою для відображення в статті сучасних тенденцій спалювання біомаси в енергетичних цілях.

Список літератури:

1. Borowski G. Wykorzystanie brykietowania do zagospodarowania odpadów [The use of briquetting for waste management]. Lublin : Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 2011.
2. Hryniewicz M., Stary J. Rozwój konstrukcji prasy walcowej do brykietowania węgla brunatnego [Development of the roller press construction for brown coal briquetting]. Problemy rozwoju maszyn roboczych. Łódź : Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2015. 148–157 pp.
3. Hryniewicz M., Dzik T. Badania i doskonalenie konstrukcji granulatora z płaską matrycą [Research and improvement of the construction of the granulator with a flat die]. Problemy rozwoju maszyn roboczych. Łódź : Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2015. 78–87 pp.
4. Szyszlak-Bargłowich J., Piekarski W. Charakterystyka biomasy jako paliwa [Characteristics of biomass as a fuel]. Wieś Jutra, 2011, vol. 10, 16–19 pp.
5. Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie: Systemy jakości w produkcji i obrocie biopaliwami stałymi [Quality systems in the production and marketing of solid biofuels]. Zajęcia III – Techniki i technologie produkcji brykietów.
6. Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie: Systemy jakości w produkcji i obrocie biopaliwami stałymi [Quality systems in the production and marketing of solid biofuels]. Zajęcia IV – Techniki i technologie produkcji peletów.
7. Бембенек М. Виробництво гранулянтів з дрібнозернистих матеріалів при допомозі процесу двоступеневої грануляції. *Молодий вчений*. 2019. № 1. С. 179–183.
8. Бембенек М. Моделювання змінності модуля юнга під час об'єднання дрібнозернистих матеріалів. *Молодий вчений*. 2018. № 12. С. 229–235.
9. Бембенек М. Моделювання навантажень в системі приводу валкового пресу на прикладі пресу для брикетування бурого вугілля. *Механіка і передові технології*. 2018. № 3. С. 113–124.
10. Бембенек М., Вданий П. Підвищення придатності та параметрів дрібнозернистого палива й енергоносіїв шляхом їх брикетування у валкових пресах. *Молодий вчений*. 2018. № 11. С. 344–349.
11. Гвізда Н. Паливні брикети з біомаси як альтернативне паливо. Київ, 2016. 125 с.
12. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии. *Экотехнология и ресурсосбережение*. 1998. № 6. С. 3–12.
13. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Матвеев Ю.Б., Жовнір М.М. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні. *Промышленная теплотехника*. 2006. № 2. С. 85–93.
14. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Жовмир Н.М., Матвеев Ю.Б. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине. *Промышленная теплотехника*, 2005. № 1. С. 78–85.
15. Гелетуха Г.Г. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні: Практичний посібник / за ред. Г.Г. Гелетухи. Київ : Поліграф плюс, 2016.
16. Домарецький В., Шиян П. Джерело відновлюваної енергії. *Харчова і переробна промисловість*. 2007. № 6. С. 4–6.
17. Дубневич Ю. Потенціал біомаси у формуванні енергетичної безпеки України. *Аграрна економіка*. 2012. № 1-2. С. 116–128.
18. Заборски О. Биомасса как источник энергии. Киев : Мир, 1985. 118 с.
19. Кухар В., Кузьмінський Є., Голуб Н. Екобіотехнологія та біоенергетика: проблеми становлення та розвитку. *Вісник НАН України*, 2005. № 9. С. 3–18.
20. Мізернюк С. Чи змінить біодизель село, як колись світ – дизельний двигун? URL: <http://ukrslovo.com.ua>
21. Закон України «Про альтернативні види рідкого та газоподібного палива» : Закон України від 14 січня 2000 р. № 1391-14 / Верховна Рада України // *Відомості Верховної Ради України*. 2000. № 12. Ст. 94.
22. Соловей О.І. та ін. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії : Навчальний посібник / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернянський, Г.В. Курбака; За заг. ред. О.І. Солов'я. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 490 с.
23. О. Гайденок Тверде біопаливо: технологічні вимоги, властивості компонентів та технологія виробництва. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopalyvo-tekhnologichni-vymohy-vlastyosti-komponentiv-ta-tekhnohohiia-vyrobnystva.html>
24. Характеристика трьох типів виробництв паливних брикетів – 04.03.2017. URL: https://bioekoprom.com.ua/ua/novini/harakteristika_treh_tipov_proizvodstv_toplivnyh_briketov/
25. Технологія виробництва різних видів біопалива. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/>
26. Альтернативне енергозабезпечення. URL: <https://propozitsiya.com.ua/alternativne-teplozabezpechennya-apk-ch-1>
27. Brykieciarki ślimakowe i hydrauliczne [Screw and hydraulic briquetting machines]. URL: <http://www.redmet.pl/m-do-biomasy,brykieciarki-slimakowe-i-hydrauliczne.html>
28. Jak rozpoznać dobry pellet [How to recognize a good pellet]. URL: <http://www.obud.pl/art,11932,jak-rozpoznac-dobry-pellet,d-instalacje>
29. Systemy kominowe od producentów [Chimney systems from producers]. URL: <https://www.kominy.pl/brykiet-kominkowy-ecomax-paleta-756kg.html>
30. Zbuduj dom [Build a house]. URL: <http://www.zbudujdom.net/ogrzewanie/brykiet-czy-drewno/>
31. Brykiet czy drewno [Briquette or wood]? URL: <https://www.comerc.pl/linie-do-produkcji-brykietu-60>
32. Hydrauliczna brykieciarka F35 [Hydraulic briquetting press F35]. URL: <https://www.cormak.pl/pl/brykieciarki/414-hydrauliczna-brykieciarka-f35.html>
33. Lignin briquettes price manufacturers suppliers [Lignin briquettes price manufacturers suppliers]. URL: <http://ukrfuel.com/lignin-agricultural-biomass-briquettes-o5277.html>

References:

- Borowski G. (2011). Wykorzystanie brykietowania do zagospodarowania odpadów [The use of briquetting for waste management]. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin.
- Hryniewicz M., Stary J. (2015). Rozwój konstrukcji prasy walcowej do brykietowania węgla brunatnego [Development of the roller press construction for brown coal briquetting]. Problemy rozwoju maszyn roboczych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, pp. 148–157.
- Hryniewicz M., Dzik T. (2015). Badania i doskonalenie konstrukcji granulatora z płaską matrycą [Research and improvement of the construction of the granulator with a flat die]. Problemy rozwoju maszyn roboczych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, pp. 78–87.
- Szyszlak-Bargłowich J., Piekarski W. (2011). Charakterystyka biomasy jako paliwa [Characteristics of biomass as a fuel]. Wieś Jutra, vol. 10, pp. 16–19.
- Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie: Systemy jakości w produkcji i obrocie biopaliwami stałymi [Quality systems in the production and marketing of solid biofuels]. Zajęcia III – Techniki i technologie produkcji brykietów.
- Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie: Systemy jakości w produkcji i obrocie biopaliwami stałymi [Quality systems in the production and marketing of solid biofuels]. Zajęcia IV – Techniki i technologie produkcji peletów
- Bembenek M. (2019). Vyrobnystvo hranuliantiv z dribnozernystykh materialiv pry dopomozi protsesu dvostupenevoi hranuliansii [Production of granular materials from fine-grained materials with the help of the process of two-stage granulation]. *Young Scientist*, no. 1, pp. 179–183.
- Bembenek M. (2018). Modelyuvannya zminnosti modulya yunga pid chas obyednannya dribnozernystykh materialiv [Modeling of modulus modulus during combining fine-grained materials]. *Young Scientist*, no. 12, pp. 229–235.
- Bembenek M. (2018). Modeliuvannya navantazhen v systemi pryvodu valkovoho presu na prykladi presu dla brykietuvannya buroho vuhillia [Modeling of loads in the drive system of a roll press on an example of a press for briquetting of brown coal]. *Mechanics and advanced technologies*, no. 3, pp. 113–124.
- Bembenek M., Vdanyecz P. (2018). Pidvyschennia prydatnosti ta parametriv dribnozernystoho palyva y enerhonosiiv shliakhom yikh brykietuvannya u valkovykh presakh [Improvement of suitability and parameters of fine-grained fuel and energy carriers by their briquetting in roll presses]. *Young Scientist*, no. 11, pp. 344–349.
- Gvizda N. (2016). Palyvni brykety z biomasy yak alternatyvne palyvo [Fuel briquettes from biomass as an alternative fuel]. Kiev. (in Ukrainian)
- Geletuxa G.G., Zhelezna T.A. (1998). Obzor tekhnologiy szhiganiya solomy s tsel'yu vyrabotki tepla i elektroenerгии [Review of straw burning technologies for heat and power generation]. *Eco-technology and resource-saving*, no. 6, pp. 3–12.
- Geletuxa G.G., Zhelyezna T.A., Matveyev Yu.B., Zhovnir M.M. (2006). Vykorystannya mistsevykh vydiv palyva dla vyrobnystva enerгии v Ukraini [Use of local fuels for energy production in Ukraine]. *Cieplownictwo przemysłowe*, no. 2, pp. 85–93.
- Geletuxa G.G., Zhelezna T.A., Zhovmyr N.M., Matveev Yu.B. (2005). Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya bioenergetiki v Ukraine [Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine]. *Industrial heat engineering*, no. 1, pp. 78–85.
- Geletuxa G.G. (2016). Pidhotovka ta vprovadzhennia proektiv zamishchennia pryrodnoho hazu biomasoju pry vyrobnystvi teplovoi enerгии v Ukraini: [Preparation and implementation of biomass substitution projects for heat energy production in Ukraine]. Kiev : Polygraph plus. (in Ukrainian)
- Domareczkyj V., Shyyan P. (2007). Dzherelo vidnovlyuvanoyi energii [Renewable energy source]. *Food and processing industry*, no. 6, pp. 4–6.
- Dubnevych Yu. (2012). Potencial biomasy u formuvanni energetychnoyi bezpeky Ukrayiny [Potential of biomass in the formation of Ukraine's energy security]. *Agrarian economy*, no. 1–2, pp. 116–128.
- Zaborsky O. (1985). Biomassa kak istochnik energii [Biomass as a source of energy]. Kiev : World. (in Ukrainian)
- Kuxar V., Kuzminskyj Ye., Golub N. (2005). Ekobiotehnologiya ta bioenergetyka: problemy stanovlennya ta rozvytku [Ecobiotechnology and bioenergy: problems of formation and development]. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, no. 9, pp. 3–18.
- Mizernyuk S. Chy zminyt biodyzel selo, yak kolys svit – dyzelnyi dvyhun? [Will the biodiesel village change, as once the world is a diesel engine]? URL: <http://ukrslovo.com.ua>
- Zakon Ukrainy Pro alternatyvni vydy ridkogo ta gazopodibnogo palyva: pryiniaty 14 sich. 2000 roku № 1391-14 [Law of Ukraine on alternative types of liquid and gaseous fuels from January 14 2000, № 1391-14]. (2000). *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny - Information from the Verkhovna Rada of Ukraine*, 12, pp. 94. (in Ukrainian)
- Solovej O.I., Lega Yu.G., Rozen V.P., Sy'tnyk O.O., Chernyanskyj A.V., Kurbaka G.V. (2007). Netradycijni ta ponovlyvalni dzherela energii [Unconventional and renewable sources of energy]. Cherkasy : Cherkasy State Technological University. (in Ukrainian)
- Gajdenko O. Tverde biopalyvo: texnologichni vymogy, vlastyvoli komponentiv ta texnologiya vyrobnycztva [Solid biofuels: technological requirements, component properties and production technology]. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8366-tverde-biopalyvo-tekhnolohichni-vymohy-vlastyvoli-komponentiv-ta-tekhnolohiia-vyrobnycztva.html>
- Xarakterystyka trox typiv vyrobnycztv palyvnyx bryketiv [Characteristics of three types of production of fuel briquettes]. URL: https://bioekoprom.com.ua/ua/novini/harakteristika_treh_tipov_proizvodstv_toplivnyih_bryketiv/
- Texnologiya vyrobnycztva riznyx vydiv biopalyva [Technology of production of various types of biofuels]. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/2344/>
- Alternatyvne energozabezpechennya [Alternative energy supply]. URL: <https://propozitsiya.com/ua/alternativne-teplozabezpechennya-apk-ch-1>
- Brykieciarki ślimakowe i hydrauliczne [Screw and hydraulic briquetting machines]. URL: <http://www.redmet.pl/m-do-biomasy,brykieciarki-slimakowe-i-hydrauliczne.html>
- Jak rozpoznać dobry pellet [How to recognize a good pellet]. URL: http://www.obud.pl/art,11932,jak-rozpoznać-dobry-pellet,d_instalacje
- Systemy kominowe od producentów [Chimney systems from producers]. URL: <https://www.kominy.pl/brykiet-kominkowy-ecomax-paleta-756kg.html>
- Zbuduj dom [Build a house]. URL: <http://www.zbudujdom.net/ogrzewanie/brykiet-czy-drewno/>
- Brykiet czy drewno [Briquette or wood]? URL: <https://www.comerc.pl/linie-do-produkcji-brykietu-60>
- Hydrauliczna brykieciarka F35 [Hydraulic briquetting press F35]. URL: <https://www.cormak.pl/pl/brykieciarki/414-hydrauliczna-brykieciarka-f35.html>
- Lignin briquettes price manufacturers suppliers [Lignin briquettes price manufacturers suppliers]. URL: <http://ukrfuel.com/lignin-agricultural-biomass-briquettes-o5277.html>