

УДК 631.353.3: 631.53.023: -026

Гайденко О. М.,
вчений секретар Кіровоградської
ДСГДС НААН, к. т. н., с. н. с.

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ, ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Вивчено основні технологічні вимоги до твердого біопалива (паливних гранул), відповідно до вимог сертифікатів країн Європи, властивості його компонентів та технологія виробництва при використанні рослинної біомаси сільськогосподарських культур (соломи).

Ключові слова: тверде біопаливо, паливні гранули, солома, рослинна біомаса, технологія виробництва.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку основними пріоритетними напрямками галузі є пошук дешевої біосировини, нових технологічних рішень і створення необхідної інфраструктури для вирощування та переробки біомаси за допомогою хімічних та біологічних процесів, термоконверсії, біоконверсії в різні види біопалива: рідкі, газоподібні і тверді. Для цього в нашій державі є всі необхідні передумови, особливо ґрунтово-кліматичні, що забезпечують вирощування енергетичних культур з високою врожайністю біомаси. Застосування адаптивних технологій, удосконалення технологічних процесів, вирощування біоенергетичних культур, переробки біомаси та використання біопалива дозволить збільшити частку біоенергетики в структурі енергетичного балансу України.

Процес освоєння нових джерел енергетичного забезпечення сільського господарства об'єктивно зумовлений змінами структури агропромислового виробництва, постійним зростанням диспаритету цін на енергетичну та сільськогосподарську продукцію. Солома, як цінний агропромисловий ресурс, є джерелом заміщення частки загального споживання первинних енергоносіїв в Україні.

Мета досліджень. Вивчити основні технологічні вимоги до твердого біопалива (паливних гранул), властивості його компонентів та технологія виробництва при використанні рослинної біомаси сільськогосподарських культур (соломи).

Результати досліджень. Технологічні вимоги до твердого біопалива (паливних гранул). Загальновідомо, що використання рослинної біомаси на енергетичні цілі з економічної точки зору сприяє заощадженню сировинних та енергетичних ресурсів, економічної – знижує забруднення навколишнього середовища, соціальної – створює нові підприємства з додатковими робочими місцями, що сприяє підвищенню рівня зайнятості населення. Однак для отримання максимальної економічної віддачі при використанні рослинної біомаси необхідно забезпечити підвищення теплотворної здатності (питомої теплоти згорання) твердого біопалива та забезпечити зручність транспортування (подачі) до теплових установок (котлів), керованість процесом горіння. З цією метою проводять переробку рослинної біомаси шляхом гранулювання або брикетування, внаслідок отримують кінцевий продукт переробки відповідно паливні гранули або брикети. Розглянемо основні види продуктів переробки рослинної біомаси та їх основні технологічні характеристики [1]:

ГАЙДЕНКО О. М.
ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

– паливні гранули – це спресовані частинки рослинного походження, що мають форму циліндрів максимального діаметра до 25 мм і завдовжки від 10 до 50 мм. Паливні гранули можуть бути виготовлені з деревини, торфу, трави, лушпиння, соломи, вугільного пилу і багатьох інших видів рослинної сировини, а також їх сумішей;

– паливні брикети – спресовані вироби циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми, довжиною 100-300 мм, яка не повинна перевищувати в п'ять разів їх діаметр, який більший ніж 25 мм, та зазвичай становить в межах від 60 до 75 мм.

Паливні гранули мають значні переваги порівняно з традиційними видами палива, так для їх виробництва витрачається близько 3 % енергії, при цьому під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько 10 %, а при виробництві електроенергії – 60 %, їх теплотворна здатність становить в межах від 4,5 до 5,0 кВт/кг, що в 1,5 раза більше ніж у звичайної деревини і вугілля. При спалюванні 2000 кг паливних гранул виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Горіння паливних гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує між від 0,5 до 1,0 % від загального об'єму використаного палива. При спалюванні паливні гранули не впливають негативно на оточуюче середовище.

Розглянемо порівняльну характеристику різних видів палива та продуктів їх переробки за вмістом основних елементів (сірки, золи, вуглекислого газу) наведену в таблиці 1.

Завдяки перевагам біопалива, а також аналізуючи значення, наведені в таблиці 1 слід відмітити, що паливні гранули (брикети) мають високу конкурентоспроможність порівняно з іншими видами традиційного палива. Ціни на біопалива не залежать від стрибків цін на викопні види палива і на екологічні податки, що збільшуються.

Для одержання якісних паливних гранул, необхідно: використовувати якісне обладнання, чітко дотримуватись технології виробництва та використовувати якісну сировину, яка має відповідати наведеним основним вимогам:

– сировина не повинна бути старою (злежаною), тому що вона гірше гранулюється, і паливні гранули виходять з меншою енергетичною цінністю;

– не містити залишків ґрунту, каміння та інших неорганічних включень, так як отримаємо окрім погіршення якості вихідного продукту ще і вихід з ладу обладнання;

– вологість сировина перед пресуванням має бути в межах 12-14 %, тому що при більшій вологості паливні гранули виходять менш міцними, і залишкова вологість після охолодження може бути вище норми, у таких гранул менша енергетична цінність й, відповідно, ціна.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика різних видів палива [1]

Вид палива	Вологість матеріалу, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %	Вміст вуглекислого газу, кг/ГДж
Природний газ, МДж/м ³	–	35-38	0	0	57
Камяне вугілля	–	15-25	1-3	10-35	60
Паливо для двигунів	–	42,5	0,2	1	78
Мазут	–	42	1,2	1,5	78
Гілки плодкових дерев	20	10,5	–	–	–
Виноградна лоза	20	14,2	–	–	–
Тріски дерев, опилки	40-45	10,5-12,0	0	2	0
Брикети з деревини	7-8	16,8-21,0	–	–	–

Новітні тенденції використання технологій та техніки для виробництва продукції АПК

Гранули з деревини	9-10	17,5-19,5	0,1	1	0
Солома	20	10,5-12,5	–	–	–
Солома в тюках	14-17	14,2	–	–	–
Гранули з соломи	8-10	16,5-18,8	0,2	4	0
Брикети з соломи	6-10	15,4-21,0	–	–	–
Брикети з полови	–	16,7	–	–	–
Стебла соняшнику	20	12,5	–	–	–
Брикети з лузги соняшнику	6-8	21,0-21,8	–	–	–
Гранули з лузги соняшнику	6-8	18,5-20,0	–	–	–
Стебла кукурудзи	20	12,5	–	–	–
Брикети з качанів	–	18,0	–	–	–

Після виготовлення якість паливних гранул необхідно зберегти, з цією метою необхідно:

- виключити можливість попадання в них вологи;
- звести до мінімуму деформуючі навантаження.

Найкраще паливні гранули зберігати у закритих мішках. Зовнішній вигляд паливних гранул з високими показниками якості має бути:

- поверхня блискучою, гладкою, без тріщин і здуття;
- колір не повинен бути сірим;
- запах – легкий солодкуватий запах клею.

Стандарти на тверде біопаливо. Паливні гранули є стандартизованим видом біопалива, проте у різних країнах прийняті різні стандарти виробництва паливних гранул. Однак до теперішнього часу, ще не встановлено українського стандарту на паливні гранули, окрім проекту ДСТУ “Брикети та гранули паливні. Технічні умови. Частина 1. Брикети та гранули паливні з деревинної сировини”, розробленого в Національному університеті біоресурсів і природокористування України у 2011 р. [2].

Єдиного Європейського стандарту на паливні гранули поки не існує, тому нижче наводяться назви деяких існуючих національних стандартів:

- Австрія – ONORM M 7135 Austrian Association pellets (briquettes and pellets);
- Англія – The British BioGen Code of Practice for biofuel (pellets);
- Німеччина – DIN 51731 (briquettes and pellets);
- США – Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI (pellet);
- Швейцарія – SN 166000 (briquettes and pellets);
- Швеція – SS 187 120 (pellets).

В таблиці 2 приводяться показники якості паливних гранул за вимогами сертифікатів країн Європи [2, 3].

Австрійський стандарт ONORM M 7135 класифікує паливні гранули за типом вихідної сировини: на гранули з деревини і на гранули з кори. Розміри в обох випадках такі: діаметр від 4 до 20 мм і довжина до 100 мм.

ГАЙДЕНКО О. М.
ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Таблиця 2. Показники якості паливних гранул за вимогами сертифікатів країн Європи [2, 3]

Параметр	DIN 51 731, ФРН	O-Norm M 7135, Австрія	DIN plus, ФРН	SS 187120, Швеція	EN plus-A1	EN plus-A2	EN-B	Проект значень
Діаметр, мм	4-10	4-10	4-10	< 25	6 (±1)	6 (±1)	6 (±1)	4-10
Довжина, мм	< 50	< 5×d	< 5×d	< 5×d	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40
Щільність, кг/дм ³	> 1,0-1,4	> 1,12	> 1,12	не має	не має	не має	не має	> 1,12-1,4
Вологість, %	< 12	< 10	< 10	< 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Насипна маса, кг/м ³	650	650	650	> 500	≥ 600	≥ 600	≥ 600	> 500
Брикетний пил, %	не має	< 2,3 %	< 2,3 %	не має	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Зольність, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5	≤ 0,7	≤ 1,0	≤ 3,0	< 0,5
Теплота згорання, МДж/кг	17,5-19,5	> 18	> 18	> 16,9	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,0	> 18
Температура плавлення золи, °С	не має	не має	не має	не має	≥ 1200	≥ 1100	≥ 1100	≥ 1100
Вміст сірки, %	< 0,08	< 0,04	< 0,04	< 0,08	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	< 0,04
Вміст азоту, %	< 0,3	< 0,3	< 0,3	не має	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	< 0,3
Вміст хлору, %	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,03	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,03	< 0,02
Міш'як, мг/кг	< 0,8	не має	< 0,8	не має	≤ 1	≤ 1	≤ 1	< 0,8
Свинець, мг/кг	< 10	не має	< 10	не має	≤ 10	≤ 10	≤ 10	< 10
Хром, мг/кг	< 8	не має	< 8	не має	≤ 10	≤ 10	≤ 10	< 8
Мідь, мг/кг	< 5	не має	< 5	не має	≤ 10	≤ 10	≤ 10	< 5
Цинк, мг/кг	< 100	не має	< 100	не має	≤ 100	≤ 100	≤ 100	< 100
Ртуть, мг/кг	< 0,05	не має	< 0,05	не має	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	< 0,05
Кадмій, мг/кг	< 0,5	не має	< 0,5	не має	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	< 0,5
Нікель, мг/кг	не має	не має	не має	не має	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Закріплювач, %	не має	< 2	< 2	не має	не має	не має	не має	< 2

Примітка: "не має" – означає: відомості відсутні, значення не визначене або відсутня їх величина.

Новітні тенденції використання технологій та техніки для виробництва продукції АПК

Відповідно до німецького стандарту DIN 51731 паливні гранули повинні мати діаметр в межах від 4 до 10 мм і довжину не більше 50 мм. В Європі до недавнього часу користувались німецьким стандартом DIN 51731, відповідно до якого паливні гранули мають довжину не більше 5 см, діаметр – від 4 до 10 мм, вологість не більше 12 %, вміст пилу не більше 0,5 % і т. д. Проте, у зв'язку з приходом на ринок низькосортних паливних гранул, виготовлених в основному за кордоном, з 2002 р. в Німеччині впровадили новий сертифікат DIN plus. Цей сертифікат об'єднав німецький і австрійський стандарти. Саме тому вітчизняні виробники орієнтуються на західноєвропейські стандарти. У Німеччині нормативи (вимоги якості) називаються DIN (Німецький промисловий стандарт).

Паливні гранули, згідно шведському стандарту (SS 187120) – це спресовані циліндри з максимальним діаметром 25 мм. Згідно з цим стандартом, паливні гранули діляться на три групи, починаючи з I-ої (гранули найвищої якості) і закінчуючи III-ї (промислової).

У США, наприклад, діє Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI (pellet). Стандартом дозволено виробництво паливних гранул двох сортів: “Преміум” та “Стандарт”. Паливні гранули сорту “Преміум” повинні містити не більше 1 % золи, а сорту “Стандарт” не більше 3 %. “Преміум” може застосовуватися для опалення будь-яких будівель, а на сорт “Преміум” припадає близько 95 % виробництва паливних гранул в США. Сорт “Стандарт” містить більший обсяг кори або сільськогосподарських відходів. Стандарти визначають також щільність, розміри паливних гранул, вологість, вміст пилу та інших речовин. У США паливні гранули не можуть бути більше 1½ дюймів у довжину, діаметр гранул повинен бути в діапазоні від ¼ дюйма до 5 1/16 дюйма.

У Європі з 2010 р. запровадили новий стандарт EN plus для паливних гранул побутового призначення та EN-B для “індустріальних” паливних гранул, які використовуються в промислових підприємствах і комунальних котельнях. Ініціатором розробки нових стандартів виступила Німеччина. Введення окремого стандарту якості для побутових і промислових паливних гранул дозволить вести чіткий облік споживання і контролювати якість продукції.

Всі діючі стандарти до твердого біопалива регламентують такий параметр як зольність, на який основний вплив має наявність у вихідній сировині кори, гілок та інших включень.

Паливні гранули високої якості (білі та сірі) використовують для опалення житлових будинків шляхом спалювання в невеликих котлах, печах і камінах. Вони, як правило, бувають діаметром 6-8 мм і довжиною менше 50 мм. У Європі їх частіше пакують в мішки вагою від 16 до 20 кг.

Однак на даний час в Україні не існує стандартів на паливні гранули, тому більшість виробників орієнтуються на західноєвропейські стандарти, які відрізняються від країни до країни або винаходять свої ТУ. Крім того, існуючі західноєвропейські стандарти часом включають в себе не тільки стандарт на самі паливні гранули, а також стандарти на їх виробництво, зберігання і транспортування.

З метою створення конкурентоздатної енергетичної продукції вітчизняного виробництва та виходу на Європейський ринок необхідно запровадити виробництво твердого біопалива у відповідності до вимог тих країн, де дана продукція буде реалізовуватися. Однак, враховуючи діапазон зміни значень показників якості твердопаливної продукції, необхідно дотримуватись “найжорсткіших” вимог щодо зазначеної продукції, розроблених на основі сертифікатів країн Європи, тому в таблиці 5.2 розроблено та запропоновано до використання проект нормативних значень вимог до

ГАЙДЕНКО О. М.
ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

твердопаливної продукції (паливних гранул), використання яких дозволить реалізовувати продукцію в будь-якій з країн Європи, так як вони враховують мінімальні нормативні значення діючих вимог до твердого біопалива.

Основні характеристики паливних гранул. Як уже зазначалось раніше, згідно вимог, паливні гранули – це пресовані циліндри з рослинної біомаси, діаметром до 25 мм, однак найбільшого поширення набули паливні гранули діаметром в межах від 6 до 10 мм. Паливні гранули, як і кожний кінцевий продукт виробничого процесу, має задані фізико-геометричні характеристики: діаметр, довжина, щільність, вологість, насипну масу, які визначаються параметрами устаткування по їх виробництву.

Набута циліндрична форма паливних гранул форма забезпечує їм сипкість і дозволяє використовувати всі відомі способи автоматизації в подаючих пристроях котельень. Саме завдяки цим геометричним характеристикам паливні гранули стали основним видом пресованого палива в Європі.

Якщо фізико-геометричні характеристики паливних гранул визначаються параметрами устаткування по їх виробництву, то хімічні – залежать від властивостей вихідної сировини. У процесі пресування не допускається використання сторонніх матеріалів, таких як клей і пластмаси.

Зазвичай паливні гранули біло-жовтого кольору виготовляються з відходів меблевого виробництва, паливні гранули з додаванням коричневих вкраплень виготовляють із сировини з додаванням кори, чорну – лушпиння соняшника, коричневі – лушпиння з гречки, жовті – соломи злакових культур та ін.(рис. 1).

Однак колір паливних гранул не є критерієм якості. За їх кольором можна визначити яка сировина використовувалася, як відбувався процес гранулювання і як паливні гранули зберігалися, але про якість самих паливних гранул колір скаже мало.

Ще однією характеристикою паливних гранул є кількість виділеної теплової енергії. Часто такий показник є основним при формуванні вартості на даний вид палива.

Паливні гранули завжди тонуть у воді, і хороші, і погані, так як щільність паливних гранул більше 1 кг/дм³. Не є критерієм оцінки запах паливних гранул, за винятком сторонніх запахів, що вказують на застосування хімічних сполучних або неправильного зберігання.



Рис. 1. Зразки паливних гранул в залежності від виду вихідної сировини: а – лушпиння гречки, б – солома зернових культур, в – деревна стружка, г – торф, д – лушпиння соняшника, ж – лушпиння рису

Провівши аналіз літературних джерел та критерії оцінки продукції твердопаливного виробництва було встановлено, що найбільш важливими параметрами, які характеризують, а отже і встановлюють параметри паливних гранул є [4]: габаритні розміри (діаметр та середня довжина), теплотворна здатність (теплота згорання), зольність, вміст вологи, питома щільність, насипна щільність, вміст хімічних елементів (хлор, азот, сірка та ін.), вміст інших компонентів та домішок. Розглянемо кожний параметр, яких характеризує тверде біопаливо, окремо:

Діаметр і середня довжина. Оскільки паливні брикети мають більш широке застосування і не вимагають спеціальних установок для їх спалювання (є альтернативою дровам), то відповідно їх діаметр і довжина залежать від вимог кінцевого споживача (довжина, як правило, приймається рівною п'ятикратному значенню діаметра).

Для паливних гранул прийняті жорсткіші вимоги до розмірів, ніж до паливних брикетів. Це пов'язано із застосуванням їх в паливних котлах з автоматизованою системою подачі (шнеками, транспортерами та ін.), а тому найбільш поширені є діаметри паливних гранул в межах від 6 до 8 мм.

Теплота згорання. Теплотою згорання біомаси називається кількість тепла, що виділяється при згоранні 1 кг речовини. Розрізняють вищу і нижчу теплоту згорання.

Вища теплота згорання – це кількість тепла, що виділилася при згоранні 1 кг біомаси при повній конденсації всіх пар води, що утворилися 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 згоранні цього палива [5].

Процес вимірювання теплоти згорання біопалива проводиться в так званій “калориметричній бомбі” в спеціалізованих лабораторіях. Теплоту згорання вимірюють зазвичай в МДж/кг або кДж/кг, причому за основу може бути прийнята маса вологого, сухого або сухого беззольного палива. Обумовлена більшістю стандартів теплота згорання паливних гранул становить в межах 18 ± 1 МДж/кг, в залежності від сировини з якого вони виготовлені [5].

Зола (зольність). Зольністю називають вміст мінеральних речовин у паливі, що залишаються після повного згорання всієї горючої маси. Зола є небажаною частиною палива, тому що знижує вміст горючих елементів і ускладнює експлуатацію топкових пристроїв. При проведенні аналізів вміст золи підраховується на суху масу палива.

Зміст золи в паливних гранулах складає, відповідно до стандарту європейських країн, менш 1,5 %. Слід зазначити, що при спалюванні в промислових установках з автоматичним золовидаленням, зольність паливних гранул не має великого значення.

Вміст вологи. Вологість біомаси – це кількісна характеристика, що показує вміст у біомасі вологи. Розрізняють абсолютну і відносну вологість біомаси.

Абсолютною вологістю називають відношення маси вологи до маси сухої сировини.

Відносної або робочою вологістю називають відношення маси вологи до маси вологої сировини.

Вологість впливає на теплотворність біопалива. Низький вміст вологи гарантує постійну ефективність спалювання.

ГАЙДЕНКО О. М.
ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Вологість суттєво впливає на якість паливних гранул, так при вологості сировини понад 14 % зменшується щільність гранул і внаслідок випаровування вологи в них виникають тріщини, що знижують їх міцність [2].

Питома щільність. Питома щільність якісних паливних гранул складає в межах від 1 до 1,4 кг/дм³, і змінюється в залежності від виду сировини, з якого виготовлено кінцевий продукт.

Насипна щільність. Насипна щільність – це співвідношення між вагою паливних гранул і кількістю займаного простору. При гранулюванні біомаси насипна щільність продукції збільшується з 100 до 650 кг/м³ [6-8].

Наприклад, якісні брикети мають насипну щільність не менше 650 кг/м³. Щільність є основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність паливних гранул. Чим щільніші паливні гранули, тим вище показники їх якості. Наприклад, при щільності гранул в межах від 650 до 750 кг/м³ калорійність їх станове від 12 до 14 МДж/кг, а при щільності від 1200 до 1300 кг/м³ – 25-31 МДж/кг [8, 9].

Хлор. Хлор є у деревині лише в невеликих кількостях. Низький вміст хлору свідчить про те, що брикети виготовлені з чистої сировини. Високий вміст хлору в димових газах може привести до корозії металевих поверхонь паливних систем.

Азот. Низький вміст азоту свідчить про те, що паливні брикети були зроблені з екологічно чистої сировини. Високий рівень азоту в димових газах може привести до корозії металевих поверхонь паливних систем.

Сірка. Низький вміст сірки свідчить про те, що паливні брикети були зроблені з чистої сировини. Високий рівень сірки в димових газах може привести до корозії паливного обладнання.

Добавки (домішки). Добавки використовуються в якості сполучних елементів. При використанні якісної технології та якісної сировини з досить низьким вмістом вологи, в пресоване паливо не додається жодних добавок.

Як зазначалось раніше, процес виробництва твердого біопалива, в т.ч. паливних гранул, потребує постійного та своєчасного контролю параметрів вихідної продукції. У виробничих умовах не завжди є можливим дотримання необхідних параметрів кінцевої продукції із-за ряду факторів: неоднорідність властивостей вхідної сировини, нестабільність процесу виробництва продукції та ін. Однак саме завдяки відповідності кінцевої продукції, в даному випадку паливних гранул, заданим параметрам якості і визначає їх вартість та кінцевого споживача.

У таблиці 3 розглянемо характеристики паливних гранул вітчизняного виробництва та відповідність їх нормативним значенням сертифікатів країн Європи [10].

На якість паливних гранул суттєво впливають вологість, ступінь подрібнення і фізико-хімічні властивості сировини. При вологості сировини понад 14 % зменшується щільність гранул і внаслідок випаровування вологи в гранулах виникають тріщини, що знижують їх міцність. Зі зменшенням середніх розмірів частинок біомаси до 2 мм [6, 11] якість паливних виробів зростає. Проте існує спірна думка, що дрібна біомаса сприяє зношуванню матриць [9].

Як свідчать результати виробничої перевірки, наведені в таблиці 3.3, у всіх наведених пробах вміст вологи не перевищує 10 %, що є чинником відсутності руйнування паливних гранул в процесі їх навантаження та транспортування.

Новітні тенденції використання технологій та техніки для виробництва продукції АПК

Таблиця 3. Характеристика якості зразків твердопаливних виробництв України

Параметри	Паливні гранули деревні світлі	Паливні гранули з лушпиння соняшника	Паливні гранули з соломи
Відповідність стандарту	DIN 51731, DIN plus,	EN-B	EN-B
Мета використання	для побутових споживачів	для котелень (тепло- та електростанцій)	для котелень (тепло- та електростанцій)
Сировина	хвойні породи, дуб, бук, осика, тополя	лушпиння соняшника	солома пшениці, проса, гречки
Діаметр, мм	6; 8	6; 8	6; 8
Довжина, мм	< 50	10-50	10-50
Щільність, кг/дм ³	> 1,12	1-1,4	1-1,2
Вміст вологи, %	< 10	< 10	< 10
Зольність, %	0,33-0,9	< 2,6	< 8
Вміст сірки, %	< 0,04	< 0,01	відсутній
Теплота згорання, МДж/кг	> 18	17,9-19,9	15-19,8
Насипна щільність, кг/дм ³	0,65	0,6-0,64	0,585
Фасування	насіпом у вагонах-хопперах, біг-бегах (1 т), мішках по 15-35 кг		

Темні паливні гранули з великим вмістом кори чи інших домішок спалюють в котлах більшої потужності, з метою отримання тепла та електроенергії для населених пунктів та промислових підприємств. Темні паливні гранули можуть бути більшого діаметру.

За вмістом загальної сірки в товарній продукції вітчизняні виробники витримують вимоги (менше 0,04 %). Теплота згорання твердого біопалива також перевищує нормативні значення європейських стандартів на рівні не нижче 18 МДж/кг [6-8].

Нормована європейськими стандартами величина зольності (0,5 %) практично недосяжна для вітчизняних виробників, лише проби паливних гранул, виготовлені з опилок хвойних порід, дуба, бука, осики та ін. витримують вимоги стандартів DIN 51731 та DIN plus, та мають значення в межах від 0,33 до 0,9 %. Нажаль паливні гранули, виготовлені з лушпиння соняшника та соломи, мають понаднормові значення зольності, відповідно до 2,6 та до 8 %, що і знижує їх показники якості та використання для котелень (тепло- та електростанцій).

Елементи технології виробництва паливних гранул з рослинної біомаси сільськогосподарських культур. На основі аналітичного огляду літературних джерел [9, 12] та вивчення елементів технології виробництва твердого біопалива з соломи сільськогосподарських культур, було визначено основні технологічні операції по виробництва твердого біопалива (паливних гранул) з рослинної біомаси сільськогосподарських культур за наступною схемою: велике подрібнення, сушка, дрібне подрібнення, зволоження, пресування, охолодження, фасування. Розглянемо детально основні елементи технології виробництва твердого біопалива (паливних гранул):

– **велике подрібнення:** з метою подальшого використання (переробки) тюки або рулони соломи укладають на планчасті рухомі транспортери, та подають їх по мірі

ГАЙДЕНКО О. М.
ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

завантаження до дробарки. Великі дробарки подрібнюють сировину для подальшого сушіння. Процес подрібнення має дійти до розмірів частинок не більше 10 мм. Велике подрібнення дозволяє швидко і якісно підготувати сировину для сушки та до подальшого подрібнення в дрібній дробарці.

– **сушка:** зазвичай солому зберігають у вигляді тюків або рулонів на відкритих майданчиках, однак під дією атмосферного впливу початкові значення вологості соломи можуть змінюватися, що негативно впливатиме на процес її подрібнення. Відходи з вологістю більше 15 % погано пресуються особливо пресами з круглими матрицями. Крім цього, виготовлені паливні гранули з підвищеною вологістю не мають відповідних параметрів якості. Тому сировина перед пресуванням повинна мати вологість в межах від 8 до 12 %. Для отримання якісного продукту вологість повинна складати 10 ± 1 %.

Для доведення вологості сировини до нормативних значень використовують сушарки барабанного або стрічкового типу. Вибір типу сушарки визначається видом сировини, вимогами до якості продукції і джерелом одержуваної теплової енергії. В технологічному процесі виробництва твердого біопалива сушка є найбільш енергоємним процесом.

– **дрібне подрібнення:** згідно технологічних вимог для пресування сировина повинна поступати фракціями з розмірами частинок до 4 мм. Тому з використанням дробарок досягають подрібнення сировини до необхідних розмірів. Для якісного продукту насипна вага після подрібнення повинна складати $150 \text{ кг/м}^3 \pm 5$ %, а основний розмір часток не повинен перевищувати 1,5 мм.

В переважній більшості для подрібнення сировини використовують молоткові дробарки, так як вони найбільше відповідають вимогам процесу подрібнення соломистої маси сільськогосподарських культур.

– **зволоження:** сировина з вологістю менше 8 % погано піддається “склеюванню” під час пресування, а готова продукція (паливні гранули) в процесі подальшого механічного впливу (фасування, навантаження, транспортування та ін.) втрачає початкові габаритні розміри, подрібнюється та утворюються пилоподібні частини, що негативно впливає на її якість. Саме тому занадто суха сировина має бути зволожена до нормативних значень вологості необхідних для пресування. Для проведення зволоження сировини використовують установку дозування води. Для проведення процесу зволоження сировини використовують шнекові змішувачі, в яких вбудовані входи для подачі води або пари.

– **пресування:** процес пресування (гранулювання) дійснюватися на пресах різних конструкцій, з плоскою або циліндричною матрицею. При цьому діаметр матриці може бути більше метра, а потужність преса до 500 кВт, в залежності від заданої продуктивності обладнання. Так само на продуктивність преса в межах 20 % впливає розмір одержуваних паливних гранул. Паливні гранули діаметром до 6 мм виготовляють для приватного споживання, до 10 мм – для промислового.

Речовиною, що пов’язує подрібнений матеріал у паливних виробках, є лігнін – аморфний полімер, який виділяється під дією тиску і температури і міститься у клітинах біомаси [13-14].

Важливо витримувати пресовану сировину у формуючій порожнині під тиском протягом певного часу, щоб відбулася релаксація напруження, а також міцна плівка на поверхні паливних гранул. Найбільшої міцності набуває біомаса, що пресується при температурі понад 150 °С. Верхньою межею температури пресування є 250 °С, коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси [15, 16]. За даними компанії California Pellet Mill [6, 9] оптимальна температура

Новітні тенденції використання технологій та техніки для виробництва продукції АПК

гранулювання має бути 88-102 °С, тому що забезпечується плавлення лігніну при 90 °С і відсутнє утворення водяної пари, що розриває паливні гранули.

– **охолодження:** процес охолодження готової продукції забезпечує отримання якісного кінцевого продукту. Під час охолодження паливні гранули, нагріті після пресування до 70–90 °С, втрачають зайву вологу. Після охолодження паливних гранул, з метою видалення пилоподібних частин сировини, їх просіюють, а утворений пил направляють на повторне гранулювання.

– **фасування:** після охолодження паливні гранули зберігаються в бункерах і транспортуються насипом. Однак для виключення втрати в якості рекомендується проводити їх фасування в великі мішки (Біг-Беги) місткістю 1000 кг. Для приватного споживання паливні гранули фасують у поліетиленові мішки місткістю 15-35 кг [12].

Слід відмітити, що в залежності від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів та фізико-механічних властивостей, кількість технологічних операцій та послідовність їх виконання може бути змінена в будь-якому окремо взятому випадку.

Слід відмітити, що в залежності від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів та фізико-механічних властивостей, кількість технологічних операцій та послідовність їх виконання може бути змінена в будь-якому окремо взятому випадку.

Висновки:

1. На основі результатів досліджень встановлено, що для отримання максимальної економічної ефективності, при використанні рослинної біомаси на енергетичні цілі, необхідно забезпечити підвищення питомої теплоти згоряння (теплотворної здатності) твердого біопалива та забезпечити зручність транспортування (подачі) до теплових установок (котлів), керованість процесом горіння. Для цього необхідно дотримуватися вимог технології виробництва продукції та використовувати якісну сировину, яка має відповідати встановленим основним вимогам по якості.

2. Паливні гранули є стандартизованим видом біопалива, проте у різних країнах прийняті різні стандарти виробництва паливних гранул. Враховуючи, що на даний час в Україні не існує стандартів на тверде біопаливо, більшість виробників орієнтуються на західноєвропейські стандарти, а тому з метою створення конкурентоздатної енергетичної продукції вітчизняного виробництва та виходу на Європейський ринок необхідно запровадити виробництво твердого біопалива у відповідності до вимог тих країн, де дана продукція буде реалізована.

3. На основі результатів аналітичних досліджень визначено основні технологічні операції по виробництві твердого біопалива (паливних гранул) з рослинної біомаси сільськогосподарських культур. Встановлено, що в залежності від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів та фізико-механічних властивостей, кількість технологічних операцій та послідовність їх виконання може бути змінена в будь-якому конкретно взятому випадку. Встановлено, що процес виробництва твердого біопалива, в т.ч. паливних гранул, потребує постійного та своєчасного контролю параметрів вихідної продукції. В той же час на якість паливних гранул суттєво впливають вологість, ступінь подрібнення і фізико-хімічні властивості сировини, однак завдяки відповідності кінцевої продукції заданим параметрам якості і визначається їх вартість та нарядок використання.

ГАЙДЕНКО О. М.
ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
КУЛЬТУР НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ЦІЛІ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ,
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОНЕНТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Список літератури:

1. Свистунова І.В. Тверде біопаливо в тепло забезпеченні села / І.В. Свистунова, В.О. Глотова, А.В. Філатова // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету : технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – Вип. 7. – С. 119–122.
2. Єременко О.І. Аналіз стану та тенденції розвитку твердопаливних виробництв / О.І. Єременко, О.В. Паянок, Д.М. Усенко // Вісник Степу : наук. зб. : – Ювілейний випуск до 100-річчя установи. – Кіровоград : “КОД”, 2012. – Ювілейний вип. 9. Ч. 2. – С. 234–240.
3. Плеті-стандарти. Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1574>
4. Пелети-характеристики. Джерело інформації: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1572>
5. Джерело інформації: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1149984>
6. Севастьянова С.Н. Биоэнергетика. Древесные (топливные) гранулы / С.Н. Севастьянова // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2009. – № 10. – С. 133-138.
7. Дроздник И.Д. Топливные пеллеты и брикеты: ресурсы, нормативная база / И.Д. Дроздник, Д.В. Мирошниченко // Відновлювальна енергетика. – 2009. – № 4. – С. 64–69.
8. Сарана В.В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур та деревини / В.В. Сарана, М.М. Гудзенко, С.М. Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика. – К.: НУБіП України, 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 190-198.
9. Проспекти ведучих компаній з розробок технологій та обладнання для виробництва твердого біопалива [Електронний ресурс]. Режим доступу до журн.: <http://fuelalternative.com.ua>; <http://www.pelletsgold.com/>; <http://www.bioesurs.com.ua/>; <http://www.evrobriquet.ru>; www.elo.ru; www.presmash.if.ua; www.briquetmal.kiev.ua; www.tk-ines.ru; www.ivtech.de; www.eco-en.ru; www.jasko.ru; www.weima.com.ua; <http://npk-atek.ru>; www.alligno.ru; www.generatortepla.ru; www.ecodrevprom.ru; www.pellets.narod.ru; www.briquet-ruf.ru/briquet.html; www.ekko.com.ua; <http://www.gama-pardubice.cz>; <http://www.testmer.com.pl>; <http://www.lesintech.ru>; www.forwood.spb.ru; www.technogelion.ru; www.ecology-energy.ru; www.dozator.com.ua
10. Пелети за типами. Джерело інформації: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1576/>
11. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография / М.В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.
12. Пелети. Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/1967>
13. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін. – К.: Енергетика і електрифікація, 2004. – 256 с.
14. Альтернативна енергетика: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / [М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко та ін.] – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с.
15. Короткий словник-довідник найуживаніших термінів з екології, біотехнології та біоенергетики / [Д.О. Мельничук, М.Д. Мельничук, В.А. Гайченко та ін.] // За ред. Д.О. Мельничука. – К.: НУБіП України, 2009. – 310 с.
16. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін.] – К.: Аграр Медіа Груп, 2010. – 360 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ:
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ И
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

Гайденко О. Н.,

ученый секретарь Кировоградской ГСХОС НААН, к. т. н., с. н. с.

Изучено основные технологические требования к твердому биотопливу (топливных гранул), в соответствии с требованиями сертификатов стран Европы, свойства его компонентов и технология производства при использовании растительной биомассы сельскохозяйственных культур (соломи).

Ключевые слова: твердое биотопливо, топливные гранулы, солома, растительная биомасса, технология производства.