

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

***VII Міжнародної науково-практичної
конференції***

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



**ОДЕСА
2019**

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Гавва <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr
Корнієнко <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Паламарчук <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
Сорока <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Сухий <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор
Тасімов <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор
Черевко <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Шит <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с

СЕКЦІЯ 1.

**ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

УДК [664.762:[631.576.4:66.068]:662.7:57]

ВИРІШЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Хоренжий Н.В., канд. техн. наук, доцент, Лапінська А.П. канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

SOLUTION OF ENERGY-ECOLOGICAL PROBLEMS OF CEREAL PRODUCTION

Khorenzhy N.V., PhD., Associate Professor, Candidate of technical science,
Lapinska A.P., PhD., Associate professor, Candidate of technical science
Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine

Анотація. В статті показано переваги виробництва кормових сумішей із відходів круп'яних підприємств, наведено причини зменшення обсягів виробництва кормових сумішей, проблеми на зернопереробних підприємствах, що зумовлені відсутністю ефективної утилізації відходів. Запропоновано виробництво твердого біопалива із вторинних матеріальних ресурсів (мучок та лузги). Проаналізовано різні способи виробництва твердого органічного біопалива, показано, що існують і недоліки готової продукції – брикетів і пелет, отриманих без використання зв'язуючих речовин, одним з яких є проблема транспортування на великі відстані, в ході якого відбувається руйнування значної кількості пресованого біопалива за рахунок підвищення вологості і, як наслідок, зниження їх теплотворних властивостей. Паливні гранули (пелети), в основному, виробляються без додавання зв'язуючих речовин, в той час як для отримання брикетів з поліпшеними показниками якості використовуються різні добавки і зв'язуючі речовини.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями обґрунтовано компонентний склад паливних гранул, визначені фізичні властивості готової продукції. Запропоновано та обґрунтовано у якості ЗР використовувати крохмалевмісну сировину – мучку. На основі експериментальних досліджень доведено, що найбільш ефективним способом є приготування клейстеру з ячмінної мучки з вмістом сухих речовин 15 % з подальшим його введенням до складу біопалива у кількості 5 %. У статті запропоновано та обґрунтовано комплексну технологію переробки відходів круп'яного виробництва у пресовані продукти (кормові суміші та біопаливо), яка включає в себе наступні технологічні лінії: лінія підготовки мучки; лінія підготовки ЗР; лінія підготовки макрокомпонентів; лінія гранулювання; лінія брикетування. Отримані за цією технологією паливні пелети будуть мати щільність 1,13 т/м³, крихкість до 10 %. Наведена принципова технологічна схема одержання гранульованої кормової суміші та паливних пелет.

Abstract. The article shows the advantages of production of fodder mixtures from the waste of grain mills, the reasons for reducing the production of feed mixtures, problems in grain processing enterprises, which are due to the lack of efficient waste disposal. The production of solid biofuels from secondary material resources (flour and husk) has been proposed. Different methods of producing solid organic biofuels are analyzed, and it is shown that there are deficiencies in finished products such as briquettes and pellets obtained without the use of binders, one of which is the problem of transporting over long distances, during which a considerable amount of compressed biofuel is destroyed at the expense of increasing humidity and, consequently, reducing their calorific value. Fuel pellets (pellets) are mainly produced without the addition of binders, while for the production of briquettes with improved quality indicators, various additives and binders are used.

Theoretical and experimental researches substantiated the component composition of prepared granules, determined the physical properties of finished products. It is suggested and grounded as a CR to use starch-based raw material - a flour. On the basis of experimental studies, it has been proved that the most effective method is to prepare a paste of barley flour with a content of dry substances of 15 %, followed by its introduction into biofuels in the amount of 5 %. The article suggests and substantiates the complex technology of the processing of the production of grain mill products into pressed products (fodder mixtures and biofuels), which includes the following technological lines: a pipeline preparation line; line of preparation for the CL; line of preparation of macro components; granulation line; briquetting line. Fuel pellets resulting from this technology will have a density of 1.13 t/m³, fragility up to 10 %. The principal technological scheme of obtaining granulated feed mixture and fuel pellets is given. The developed integrated technology of waste processing of crushed plants is universal, does not require significant investments and will allow not only efficiently to process secondary raw materials, to get rid of problems with their utilization, but also by way of organizing recycling at the industry enterprises to solve both energy and environmental problems.

Ключові слова: вторинні сировинні ресурси, біопаливо, лузга, мучка, пресування, зв'язуюча речовина, крохмаль, клейстер, гранули, пелети.

Key words: secondary raw materials, biofuel, husk, flour, pressing, binding re-chowin, starch, paste, granules, pellets.

Вступ. Всебічно науково обґрунтовано та підтверджено на практиці доцільність виробництва кормових сумішей із відходів зернопереробних підприємств. Перевагами є повне використання усіх існуючих сировинних ресурсів, можливість комплексної переробки та розширення асортименту готової продукції, підвищення рентабельності підприємства, зниження собівартості продукції тваринництва, забезпечення потреб тварин у поживних і біологічно активних речовинах, покращення технологічних властивостей, умов транспортування та зберігання готової продукції. Переважна частка кормових сумішей традиційно виготовлялась для великої рогатої худоби (ВРХ), що зумовлене хімічним складом відходів та особливостями травлення сільськогосподарських тварин. Проте на сьогоднішній день в Україні продовжується тенденція різкого зменшення поголів'я ВРХ. Якщо у 1991 році в Україні було 25 млн. голів ВРХ, то до квітня 2019 р чисельність скоротилась до 3,66 млн. голів [1]. Зрозумілим є відповідне значне зменшення обсягів виробництва кормових сумішей, як наслідок появу актуальних питань на зернопереробних підприємствах щодо утилізації існуючих відходів, підвищення рентабельності виробництва.

В той же час вичерпність природних ресурсів у світі зумовила актуальність тенденції максимально ефективного використання усіх доступних видів харчової, кормової сировини та енергоресурсів, зріс попит на різні види біопалива.

В Україні в якості стандартів на тверде паливо використовують наступні документи: ТУ «Паливо гранульоване», Технологічний регламент на виробництво брикетів і гранул паливних з лушпиння соняшнику; ТУ «Паливо з відходів деревини, сільськогосподарських культур гранульоване і брикетне»; ГОСТ 3243-88. Дрова. Технічні умови; ГОСТ 7657-84. Вугілля деревне. Технічні умови; ГОСТ 23246-78 Деревина здрібнена. Терміни та визначення; ДСТУ 7123:2009 Лушпиння соняшнику. Технічні умови; ДСТУ 7124:2009 Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. Технічні умови. З наведеного переліку видно, що дані документи регулюють лише первинні види сировини для біопалива – дрова, здрібнену деревину, тирсу, солому, лушпиння соняшнику, деревне вугілля, та відсутні рекомендації щодо лузги злакових культур [2, 3]. Аналіз хімічного складу цього побічного продукту переробки зерна на крупозаводах свідчить, що він близький до хімічного складу, енергетичної цінності інших видів сировини для виробництва твердого органічного біопалива (соломи, лушпиння соняшнику, кукурудзяних стрижнів та стовбурів, очерету, листя, тирси, тощо). Тобто лузга круп'яних культур становить певний ресурсний потенціал для виробництва твердого органічного біопалива, але має ряд недоліків: незадовільну сипкість, низьку питому вагу та щільність, внаслідок чого - погану транспортабельність, малу теплотворну здатність. Тому єдина прийнятна форма готової продукції пресована: гранульована та брикетована [4].

Мета роботи – обґрунтування інтегрованої технології виробництва пресованого біопалива та кормових сумішей з відходів круп'яного виробництва.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва пресованого біопалива та кормових сумішей, режими окремих технологічних процесів, зокрема підготовки зр.

Предмет дослідження - мучка та лузга ячмінна, вівсяна, зв'язуюча речовина.

Всі дослідження виконувались згідно стандартизованих методик на кафедрі технології переробки зерна та кафедрі технології комбікормів і біопалива онахт.

Аналіз проблематики та останні дослідження. Переробку органічної маси у біопаливо для отримання максимальної економічної віддачі зазвичай здійснюють шляхом пресування. За рекомендацією компанії California Pellet Mill при гранулюванні тирси передбачається оптимальна температура від 88 до 102 °С. Це пояснюється тим, що має забезпечуватися плавлення лігніну, яке відбувається при 90 °С, і бути відсутнім утворення водяної пари, що розриває гранулу. Пелети, на відміну від звичайної деревини, мають набагато меншу вологість 8 – 12 %. Така вологість в сукупності з досить високою щільністю до 1400 кг/м³ дає можливість досягати теплотворної здатності 14 – 23 МДж/кг. Це більше, ніж у бурого вугілля і торф'яних брикетів [5]. Для отримання твердого біопалива без застосування ЗР в основному використовують деревні відходи і відходи рослинної біомаси з досить високим вмістом лігніну [6]. Автори [7] вважають, що сільськогосподарські відходи (лузгу, лушпиння, солому тощо), доцільно використовувати в енергетичних цілях також після гранулювання за тою ж технологією, що і деревинні відходи або торф. Наприклад, солому подрібнюють за допомогою молоткової дробарки і після сушіння подають в гранулятор. При вологості 14 – 15 % солома не вимагає попереднього сушіння. В окремих випадках для підвищення міцності гранул застосовуються зв'язуючі речовини природного походження (лігнін, крохмаль).

Інші вчені пропонують спосіб приготування багатокомпонентного твердого біопалива брикетуванням [8], який включає подачу рослинних відходів вологістю 4 – 12 % і фракційним складом 2 – 10 мм, їх пресування, наступне формування і ділення, при цьому брикети піддають додатковій термообробці, формування проводять безперервно і одночасно із термообробкою при температурі 150 – 250 °С в залежності від типу сировини. Цей спосіб включає попереднє завантаження подрібненої сировини, її дозування і кінцеве пресування, крім того дозування двох компонентів суміші подрібнених соломи і качанів кукурудзи, здозованих в пропорціях від 1:1 до 1:5. Здійснюється цей спосіб наступним чином: подрібнена солома завантажується в бункер дозатора, а подрібнені качани кукурудзи - в бункер дозатора. Дозатори формують потоки компонентів суміші, з врахуванням їх властивостей, які контролюються датчиками вологості і масової витрати соломи та подрібнених качанів. Сформовані у такий спосіб окремі технологічні потоки направляються в бункер, де здійснюється

накопичення і змішування компонентів з наступною подачею суміші в бункер преса, далі пресування суміші при температурі 150 °С з утворенням брикетів вологістю 14,5 – 15,5 %, теплотою згорання 4400 – 4500 ккал/кг і щільністю 1000 – 1100 кг/м³.

Вітчизняні вчені пропонують спосіб виготовлення екологічно чистих пелет твердого палива, що виготовляють із здрібненої деревинної та іншої органічної сировини шляхом пресування у гранули циліндричної форми [9]. Органічною сировиною, що використовують у пелетах, окрім деревинної сировини, є стовбури кукурудзи і сояшнику, очерет, трава, листя дерев (зокрема, хвойних порід), відходи тютюнового виробництва, тютюновий пил, зрізи тютюну, стебла проса, солома зернових тощо. Кожен вид сировини через свої відмінності у фізичних властивостях потребує різних зусиль на їх здрібнення, а отримана біомаса має різну щільність та пружність навіть після пресування. Виготовлені за відомим способом пелети мають нестійку форму, і, у результаті механічного впливу під час маніпуляцій з ними, легко руйнуються.

Відомий спосіб отримання твердого органічного палива з лузги сояшника [10]. При цьому її подрібнюють до частинок 2 – 8 мм, обробляють водою або парою з доведенням до вологості 11 – 20 %, гранулюють чи брикетують з отриманням щільності 800 – 1300 кг/м³, охолоджують з одночасним зниженням вологості до 12 %. Потім з гранул відсівають частинки, менші за 3 мм. Недоліком такого способу є те, що рекомендована крупність подрібнення лузги (2 – 6 мм) не дає можливості створити оптимальні умови для процесу пресування. Оброблення подрібненої сировини водою і парою з доведенням до вологості 11 – 20 % не є оптимальним для гранулювання. Отже, технологія виробництва твердого органічного біопалива в пресованому вигляді включає ряд операцій, які можна розділити на три основні стадії: попередня підготовка сировини; отримання гранул або брикетів; операції з готовими пресованим виробом. Вихідні матеріали для виробництва пресованого біопалива суттєво різняться за розмірами частинок, насипній і питомій вазі, вологістю, міцністю частинок матеріалу, хімічним складом сировини. Тому для кожної сировини розробляється своя технологічна схема, яка може як спрощуватися, так і ускладнюватися.

Пелети утворюються без застосування додаткових зв'язуючих речовин (ЗР): більшість стандартів різних країн забороняють їх застосування для виготовлення брикетів (пелет), оскільки містять жорсткі екологічні вимоги щодо викидів (діоксиду вуглецю, оксидів сірки і азоту, сажі та інших токсичних газів) при спалюванні, а також за кількістю золи і її плавкістю [11, 12]. Проте стандарт Німеччини на біопаливо DIN 51731–1996 Testing of solid fuels – Compressed untreated wood - Requirements and testing допускає включати до складу твердого біопалива оббивне борошно або зерновий крохмаль у якості ЗР в кількості до 2 %. Потрібно пам'ятати про недоліки брикетів і пелет, отриманих без використання ЗР: є проблема транспортування на великі відстані, в ході якого відбувається руйнування значної кількості пресованого біопалива за рахунок підвищення вологості і, як наслідок, зниження його теплотворних властивостей [13]. Тому останнім часом часто з'являються рекомендації використовувати при пресуванні високомолекулярні пластифікатори – тверді органічні ЗР [14], які не тільки дозволяють знизити тиск пресування, а й покращують параметри горіння гранул.

В якості таких ЗР може бути використаний природний полімер – лігнін. Це аморфна речовина від світло-кремового до темно-коричневого кольору, молекулярна маса розчинних лігнінів від 1 до 150 тис., густина 1250 – 1450 кг/м³. Він проявляє пластичні властивості при підвищеному тиску і температурі, особливо у вологому стані. Лігніни, виділені різними способами, відрізняються за складом і властивостями як від продукту в нативній формі, так і один від одного [15]. Інші автори також демонструють, що лігнін – дешевий побічний продукт переробки деревини – може змішуватися з крохмалем і гліцерином, даючи більш міцні і пружні матеріали [16]. У процесі подрібнення лігніну утворюються дуже дрібні частинки, які забезпечують хорошу адгезію з крохмалем, білками та їх похідними з утворенням просторових структур, що робить їх привабливими для використання в якості ЗР.

Donghui Lu та ін. [17] вивчено вплив різних ЗР (ріпакове борошно, порошок кавових зерен, кора, порошок лігніну і соснові шишки) на пресування брикетів з тирси деревини модрина та тюльпанового дерева. Показано, що при використанні в якості ЗР лігніну отримані паливні брикети з високими характеристиками міцності.

Інші вчені для отримання твердого органічного палива з сировини рослинного походження в якості ЗР рекомендують використовувати лігносульфанати; желатинізований крохмаль, глини, у т.ч. бентоніт і силікат, карбоксилметилцелюлозу, солі з альгінової кислоти, мелясу, луги. При цьому пропонується сировину з вологістю 5 – 20 % подрібнювати до частинок 0,01 – 15 мм, обробляти водою з додаванням ЗР в кількості 0,01 – 10 %, доводити до вологості 6 – 20 %, гранулювати чи брикетувати з отриманням власної щільності 800 – 1450 кг/м³. В змішувачі преса суміш доводять до вологості 6 – 20 % [18].

Автори [19] вивчали вплив крохмалю і гуміарабіку на щільність і теплотворну здатність брикетів з тирси. Встановлено, брикети з високою теплотворною здатністю (33,09 МДж/кг) і щільністю (546 кг/м³) отримані при використанні в якості ЗР крохмалю. Табакаєв Р. Б. та ін. вивчали застосовування в якості ЗР рисових висівок при брикетуванні суміші рисової соломи та тирси [20]. Автори припустили, що щільність брикетів зростає за рахунок утворення зшиваючих зв'язків між двома рослинними полімерами – лігніном і білком. При цьому при температурі пресування 90 °С брикети мали достатню теплоту згорання, але низьку щільність, що позначалась на їх міцності. Підвищення температури пресування до 150 °С призводило до отримання високоміцних брикетів з теплотою згорання 18 МДж/кг. Philip H. Steel, Venkata K. Penmetsa запропонували для виробництва твердого біопалива використовувати ЗР біоолію, отриману піролізом біомаси або різних видів лігніну (крафт-лігнін,

органосольвентний лігнін, лігнін чорного лугу та ін.) [21]. В результаті проведених досліджень були отримані паливні брикети з підвищеною гідрофобністю і високою теплою згоряння. Таким чином застосування природних, екологічно чистих ЗР дозволяє створити екологічно чисте брикетоване та гранульоване паливо з високою енергоємністю, міцністю і дасть можливість розширити сировинну базу для його отримання. Однак основним недоліком цих методів отримання твердих біопалив є застосування в якості ЗР сировину харчового призначення, що може привести до збільшення їх вартості.

Результати досліджень та їхнє обговорення. Рішення проблеми ефективної комплексної переробки відходів кз з отриманням конкурентоспроможної продукції пов'язане з використанням різноманітних технологічних прийомів обробки сировини та аналогічності технології виробництва пелет та технології виробництва гранульованих комбікормів і вітамінного трав'яного борошна [22]. Проаналізувавши відомі способи переробки подібної вторинної сировини, запропоновано застосування процесу пресування (гранулювання та брикетування) побічних продуктів кз, а саме тільки лузги (при переробці у біопаливо) або полікомпонентної суміші (при виробництві кормових сумішей). Але, розроблювана технологія потребує деяких уточнень. Останнє пов'язане із незадовільною здатністю лузги круп'яних культур до гранулювання [4]. Тому до складу гранул запропоновано додавати зр.

Вибір зр є надважливим. Зр повинна мати високу пресуємість, добру здатність до змішування з іншими компонентами, близьку до інших компонентів суміші сипкість, фізичну та хімічну стабільність та сумісність з іншими речовинами суміші, задовільну ціну. З урахуванням вищесказаного, для забезпечення міцності гранул, зменшення пластичності відходів круп'яних культур (лузги) вважаємо за доцільне використовувати в процесі пресування зр на основі мучки, зокрема ячмінної [3]. Для експериментальних досліджень якості та складу зр обрано у якості джерела крохмалю ячмінну мучку вологістю 12 %, яка також є відходом кз. Через дешевизну та наявність у надлишкової кількості на підприємстві; крупність частинок – прохід сита № 25 (120÷130 мкм).

На підставі проведеного огляду літературних і патентних джерел, а також серії проведених експериментальних досліджень, запропонована наступна технологічна схема (рис. 1) інтегрованої технології виробництва пресованого біопалива та кормових сумішей з відходів круп'яного виробництва, що включає в себе наступні технологічні лінії: лінія підготовки мучки; лінія підготовки зр; лінія підготовки макрокомпонентів; лінія гранулювання; лінія брикетування. Лінія підготовки мучки призначена для її очищення від усіх видів домішок, а також її фракціонування. На лінії підготовки мучки встановлено магнітний сепаратор для очищення сировини від металоманітних домішок, далі просіюється через просіювач для фракціонування мучки і видалення випадкової домішки. Крупна фракція очищеної мучки направляється на лінію підготовки макрокомпонентів, а дрібна – направляється до складу зр. Після просіювача сировина надходить у ваговий дозатор, для зважування порції мучки, далі необхідна порція мучки потрапляє у змішувач разом із водою, попередньо підігріту і здозовану через дозатор, де змішується і через дозатор і насос подає порцію зв'язуючої речовини. Лінія підготовки зр призначена для дозування та змішування води і дрібної фракції мучки, заварювання клейстеру з цієї порції, дозування отриманої зр та контроль її від випадкових домішок. Для реалізації цього на лінію подається дрібна фракція мучки (прохід сита № 025), дозується у дозатори, паралельно дозується вода та одночасно подається компонент у спеціальну камеру. Апарат для заварювання клейстеру складається з заварювальної камери і камери приготування крохмальної суспензії, ємності гарячої води і насоса-дозатора для подачі крохмальної суспензії в змішувач. Заварювальна камера включена в сорочку обігріву. Крізь заварювальну камеру і камеру приготування крохмальної суспензії проходить вал. У зоні приготування крохмальної суспензії на валу закріплена турбіна мішалки, стінки камери мають ребра, що перешкоджають утворенню воронки. Камера має пристрій для підтримки постійного рівня суспензії, яким автоматично регулюється співвідношення видається і залишається в камері клейстеру.

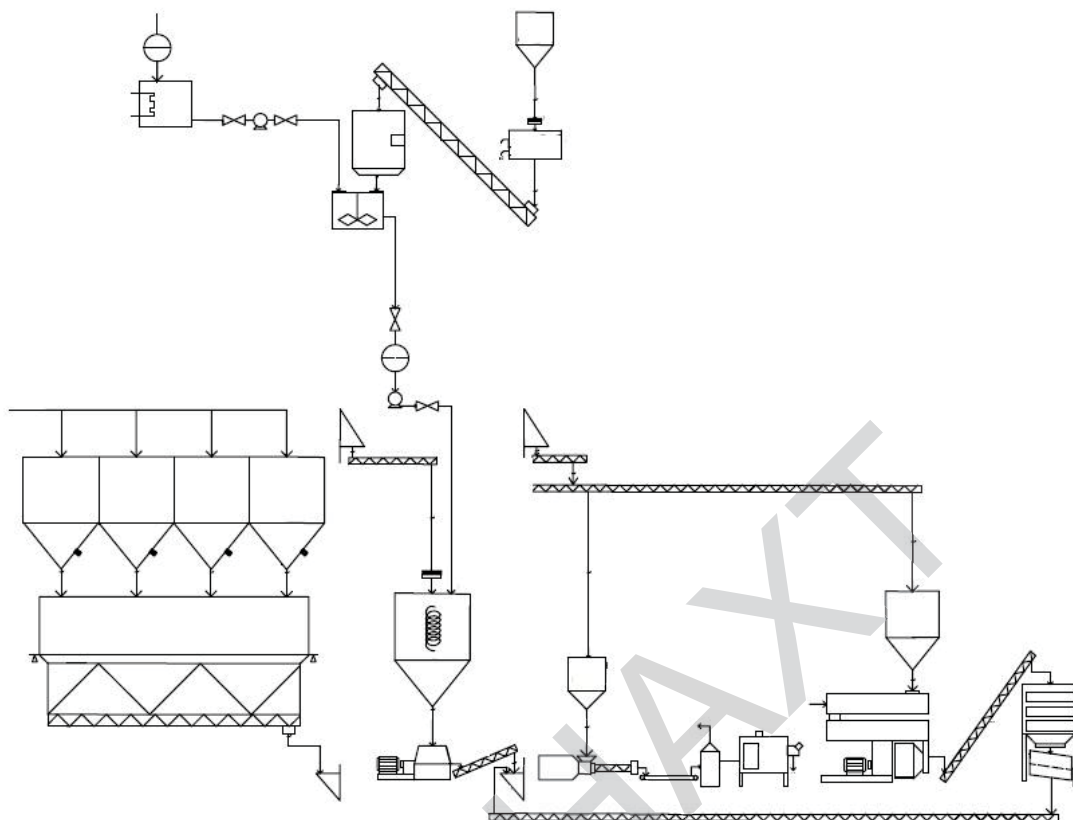


Рис. 1. Схема інтегрованої технології виробництва пресованого біопалива та кормових сумішей з відходів круп'яного виробництва:

1 – оперативний бункер; 2 – дозатор; 3 – насос-дозатор; 4 – витратний бак з підігрівачем; 5 – магнітний сепаратор; 6 – просіювач; 7 – заварювальна камера; 8 – змішувач; 9 – подрібнювач; 10 – прес-брикетер; 11 – охолоджувач; 12 – торцювочний пристрій; 13 – прес-гранулятор; 14 – протитечієм охолоджувач; 15 – норія; 16 – транспортер.

Лінія підготовки макрокомпонентів призначена для дозування необхідної кількості компонентів (мучки, лузги та інших видів сировини для виробництва кормових сумішей та/або твердого органічного біопалива комбінованого складу), їх змішування для досягнення однорідної маси, очищення від ММД отриманих порцій макрокомпонентів та сумісного подрібнення у спеціальному подрібнюючому обладнанні до крупності частинок до 2 мм для забезпечення оптимальних умов пресування. Схема технологічного процесу на лінії підготовки порції макрокомпонентів передбачає, що лузга, мучка, інші види сировини надходять у оперативні бункери, далі направляються у дозатор, де зважуються необхідні порції, далі через магнітний сепаратор, де очищається від ММД, і подається у бункер, де змішується з підготовленою суспензією ЗР, потім подається у дробарку, в якій суміш подрібнюється до необхідних розмірів, а звідти подрібнена суміш направляється для пресування на відповідну лінію гранулювання чи брикетування. Лінія гранулювання призначена для забезпечення випуску ГП (кормосуміш або біопаливо) у гранульованому вигляді. Для цього підготовлена до гранулювання суміш через бункер подається у прес-гранулятор, звідти виходять гранули, котрі необхідно охолодити і тому гранули одразу проходять через протитечійний охолоджувач, а далі гранули просіюють через просіювач гранул і сходом готові гранули направляються на упаковання; прохід – неспресовані гранули повертаються у надпресовий бункер. Лінія брикетування призначена для переробки відходів КЗ у вигляді брикетів стандарту NESTRO. На лінії брикетування підготовлена подрібнена суміш потрапляє у бункер, який подає суміш у прес-брикетери; з прес-брикетерів брикети надходять у охолоджувач, де вони охолоджуються і далі потрапляють у торцювочний пристрій, де брикети розрізають на необхідні розміри. Готові брикети витримують деякий та складають на палети. Досвід по виробництву паливних брикетів свідчить, що економічно доцільними є заводи невеликої виробничої потужності до 1 т/год.

У відповідності із розробленою технологією на базі кафедри технології комбикормів і біопалива були виготовлені дослідні зразки паливних гранул та вивчені їх фізичні властивості (табл. 1).

Таблиця 1.

Склад зразків паливних гранул та їх основні технологічні властивості

№ Зразка	Компонентний склад Паливних гранул, %	Вологість, %	Вихід гранул, %	Крихкість гранул, %	Об'ємна маса, т/м ³	Кут насипного ухилу, град
1	Лузга ячмінна 47	11,4	85,1	14,2	1,0	50
	Лузга вівсяна 47					
	Мучка ячмінна 2					
	Мучка вівсяна 2					
	Зв'язуюча речовина 2					
2	Лузга ячмінна 45	13,6	97,3	4,1	1,13	48
	Лузга вівсяна 46					
	Мучка ячмінна 2					
	Мучка вівсяна 2					
	Зв'язуюча речовина 5					
3	Лузга ячмінна 44	15,4	68,6	20,7	1,2	58
	Лузга вівсяна 44					
	Мучка ячмінна 2					
	Мучка вівсяна 2					
	Зв'язуюча речовина 8					

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить про доцільність використання клейстера з вмістом СР 15 % та раціональною нормою введення ЗР 5 %, оскільки це забезпечує найкращі показники якості гранул [4]. Оптимальний вміст ЗР у гранули складає 5 %, оскільки цьому показнику відповідає мінімальне значення їх крихкості та найвища щільність.

Узагальнюючи результати проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Розроблено інтегровану технологію виробництва кормових сумішей та твердого біопалива з відходів круп'яного виробництва, яка дозволяє отримувати готову продукцію високої якості.
2. Обґрунтування компонентного складу паливних гранул з використанням різних видів малоцінної сировини дозволяє оптимізувати фізико-технологічні властивості, енергоємність готової продукції.
3. Обґрунтовано доцільність введення до складу паливних гранул 5 % зв'язуючої речовини (клейстер з вмістом сухих речовин 15 %), що дозволяє забезпечити високу міцність гранул.
4. Розроблена інтегрована технологія переробки відходів круп'яного виробництва є універсальною, не потребує значних капіталовкладень та дозволить не тільки ефективно переробляти вторинні сировинні ресурси, позбутися проблем з їх утилізацією, але й шляхом організації рециклінгу на підприємствах галузі вирішувати як енергетичні, так і екологічні проблеми.

References:

1. Sayt derzhavnogo komitetu statistiki Ukrayini [State Committee of Statistics of Ukraine. Official site] (2014). Elektronniy resurs. Rezhim dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Kolomiychenko, M. (2014). Ekonomichne obhruntuvannya doktoriv perekhodu na opalennya tverdym biopalyvom. Harmonizatsiya ukrayins'kykh standartiv i standartiv YES: Ukrayins'kyy Peletnyy Soyuz.
3. Polyans'kyy, O. S., D'yakonov, O. V., Skrypnik, O. S., Fesenko, H. V., D'yakonov, V. I., Kharchenko, Yu. V., ... & Voloshchenko, V. V. (2017). Napryamy rozvytku al'ternatyvnykh dzherel enerhiyi: aksent na tverdomu biopalyvi ta hnuchkykh tekhnolohiyakh yoho vyhotovlennya: monohrafiya. Kharkiv. nats. un-t mis'k. hosp-va im. O. M. Beketova.
4. Khorenzhyy, N. V., Lapins'ka, A. P., Peretyaka, S. M., & Dyetkov, H. H. (2017). Obhruntuvannya dotsil'nosti vykorystannya vidkhodiv krupyanoho vyrobnytstva yak syrovyny dlya biopalyva. Naukovi pratsi, 81 (1), 27 – 33.
5. Stolarski, M. J., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Krzyżaniak, M., Gulczyński, P., & Mlecze, M. (2013). Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. Renewable energy, 57, 20–26.
6. Kormilitsyn, V.I., Petrov, A.V., Lobko, V.P. (2009). Pat. Rosciyskoy Federatsii № 2413755 «Toplivniy element – briket, granula».
7. Baskov, V. N., Kolos, V. A., & Sap'yan, YU. N. (2010). Bioplyvo iz rastitel'nogo syr'ya: proizvodstvo, potrebleniye, energoefektivnost'. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii, (6), 13–18.
8. Pyshechkin, A.N., Konyashin, S.V. (2009) Pat. Rossiyskoy Federatsii № 2364617 «Sposob polucheniya briketov i ustanovka dlya izgotovleniya briketov».

9. Khomenko, V.H. (2012). Patent Ukrainy na korysnu model' № 69475 «Ekolohichno chysti pelety tverdogo palyva». Kyiv: Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy.
10. Kolisnichenko, O.M., Klymenko, O. H. (2005). Deklaratsiynyy patent Ukrainy na korysnu model' № 5426 «Sposib otrymannya tverdogo orhanichnoho palyva z luz-hy sonyashnyka». Kyiv: Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy.
11. Tumanov, Yu.. (2005). Podvodnyye kamni bioenergetiki. Lesprominform, (3), 54–56.
12. Zotova, Ye. V., Safonov, A. O., & Platonov, A. D. (2014). Analiticheskoye issledovaniye parametrov, opredelyayushchikh tekhnologiyu proizvodstva drevesnykh pellet. Lesotekhnicheskyy zhurnal, 4(1 (13)). 127 – 132.
13. Galyavetdinov, N. R., & Nasybullina, A. F. (2014). Pazrabotka tekhnologii polucheniya drevesnykh toplivnykh granul s povyshennoy energeticheskoy effektivnost'yu. Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika, 2 (3–4), 27 – 31.
14. Myasoedova, V. (2007). Kompozitsii dlya pellet i briketov. The Bioenergy International. Russia, (3), 6 – 7.
15. Gomonay, M. V. (2006). Proizvodstvo toplivnykh briketov. Drevesnoye syr'ye, oborudovaniye, tekhnologii, rezhimy raboty: monografiya. M.: GOU VPO MGUL.
16. Tarasov, D., Shahi, Ch., Leitch, M. (2013) Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: Reviw // ISRN Forestry. 2013.
17. Lu, D., Tabil, L. G., Wang, D., Wang, G., & Emami, S. (2014). Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. Biomass and Bioenergy, 69, 287–296.
18. Chou, C. S., Lin, S. H., & Lu, W. C. (2009). Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran. Fuel processing technology, 90 (7–8), 980–987.
19. Mustelier, N. L., Almeida, M. F., Cavalheiro, J., & Castro, F. (2012). Evaluation of pellets produced with undergrowth to be used as biofuel. Waste and Biomass Valorization, 3 (3), 285–294.
20. Tabakaev, R.B., Zavorin, A.S., Kazakov, A.V., Plakhova, T.M. (2013) Pat. Rosciyskoy Federatsii № 2484125 «Sposob izgotovleniya toplivnykh briketov iz biomassy».
21. Philip H. Steel, Venkata K. Penmetsa (2013) Pat. US 20130031830 «Method for producing binders and combustible composite materials and composition produced therefrom».
22. Borisov, Yu. (2004). Yevropeyskoye kachestvo, Lesprominform (9), 86 – 87

УДК 532.528

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Иваницкий Г.К., д.т.н., Целень Б.Я., к.т.н., Недбайло А.Е., к.т.н., Коник А.В., к.т.н.
Институт технической теплофизики НАН Украины

STUDY OF LIQUID DEGASSING IN CAVITATING FLOWS. PROBLEMS OF MODELING

Ivanitsky G.K., DSc., Tcelen B.Ya., PhD., Nedbaylo A.E., PhD., Konyk A.V., PhD,
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Аннотация. Гидродинамическая кавитация используется в технологиях дегазации как эффективный метод удаления растворенных газов и/или свободного газа в виде пузырьков из различных жидкостей. Математические модели кавитационной дегазации недостаточно представлены в литературе. Поэтому создание достоверной модели, описывающих дегазацию в кавитационных течениях является важной фундаментальной и прикладной задачей. В статье рассматриваются основные проблемы, которые затрудняют создание надежной математической модели. С целью разработки такой модели нами был выполнен вычислительный эксперимент по деаэрации воды с использованием сопла Вентури в качестве гидродинамического кавитатора. Цель исследования заключается в установлении корреляции между характеристиками потока и кинетикой кавитационного вскипания жидкости при сужении потока из-за присутствия в ней пузырьков свободного газа. Установлено влияние геометрии сопла и режимных параметров на эволюцию кавитационного кластера и на уровень динамических эффектов в потоке жидкости в сопле. Описана методика удаления растворенных или свободных газов из жидкости, которая под действием высокого давления течет через сопло со скоростью достаточной для активации газовых зародышей и начала кавитационного вскипания. Кавитатор на выходе соединен через короткую трубу с вакуумируемой емкостью. Показана необходимость при исследовании дегазации определенной жидкости провести предварительный анализ содержания в ней свободного газа. Рассмотрено влияние начального размера зародышей газа и их концентрации в жидкости на интенсивность процесса кавитационной дегазации.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ВИРІШЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	
Хоренжий Н.В., Лапінська А.П.	5
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Иваницкий Г.К., Целень Б.Я., Недбайло А.Е., Коник А.В.	11
ІННОВАЦІЙНІ СПОСОБИ ЕНЕРГОПІДВОДУ У ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ СИРОВИНИ	
Яровий І.І., Кашкано М.А., Маренченко О. І., Пилипенко Є.О.	17
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІВ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ	
Кузьменко І.М.	24
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ СУШІННІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	
Ощипок І. М.	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ М. КРИВИЙ РІГ	
Кухта О.О.	33
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ ЖАРІННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ	
Сорокова Н.М., Дідур В.В.	37
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД	
Холявченко Л.Т., Опарин С.А., Давыдов С.Л.	42
ПРОБЛЕМИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ	
Бундюк А.М., Подпалова Ю.В., Коваленко А.К.	46
ENERGY POLICY OPPORTUNITIES. HOW TO FACE CHALLENGES	
Bezhan V., Zhytarenko V., Ostapenko O., Yakovleva O.	48

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ І
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУППОЗИТОРИЕВ	
Шматок А.И., Степанова О.Е., Сильнягина Н.Б.	54
ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ ЗМІННОЇ ГАЗОВОЇ АТМОСФЕРИ	
Корінчевська Т.В., Михайлик В.А., Корінчук Д.М.	59
АКТИВАТОРИ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
Дячок В.В., Мандрик С.Т., Гуглич С.І.	64
РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
Грабова Т. Л., Шматок О.І., Сильнягина Н.Б.	70
ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАСОСАХ РІЗНИХ ТИПІВ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	77
ВИНИКНЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НАСОСІВ РІЗНОГО ТИПУ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	80
ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКІВ НА КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ СТРУКТУРАХ	
Туз В.О., Лебедь Н.Л., Трокоз Я.Є.	85
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРАКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА	
Челтонов М.М., Опарин С.А., Матросов А.С., Кириченко А.Л.	91
МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	
Бунецкий В.А., Бурдо О.Г., Зыков А.В., Войтенко А.К., Безбах И.В., Кашкарев А.А.	94
ARTIFICIAL MICRO RNA (AMIRNA): A POTENT TOOL FOR GENE SILENCING IN PLANT	