

4. Thermal use of the underground - Fundamentals, approvals, environmental aspects. VDI 4640 Part 1:2010. Retrieved from https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1540489.pdf
5. Sniezkin Yu.F. (2015). Enerhooshchadni teplonasosni tekhnologii dlia system teplopostachannia zhytlovo-komunalnoho hospodarstva i promyslovosti. Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy, 7, 23-31.
6. Enerhoefektyvnist ta vidnovliuvalni dzherela enerhii (2007) / Pid zah. red. A.K. Shydlovskoho. Kyiv: Ukrain-ski entsyklopedychni znannia, 560.
7. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvalnykh ta netradytsiinykh dzherel Ukrainy (2001) / Kyiv: NAN Ukrainy, Instytut elektrodynamiky, Derzhavnyi komitet Ukrainy z enerhozberezhennia, 41.
8. Realizovannyie proyekty v Ukraine s primeneniemyem teplovykh nasosov (2016). Teplovyie nasosy segodnya. Informatsionnyy byulleten, 1, 11-20.
9. Vasiliev L.L. (1990). Geothermal energy utilization with heat pipes. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 59, 1186-1190.
10. Ochsner K. (2008). Carbon dioxide heat pipe in conjunction with a ground source heat pump (GSHP). *Applied Thermal Engineering*, 28, 2077-2082.
11. Altunin V.V., Geller V.Z., Petrov Ye.K., Rasskazov D.S., Spiridonov G.A. (1980). Teplofizicheskiye svoystva freonov. t.1. / Pod red. S.L. Rivkina. M.: Izdatel'stvo standartov, 232.
12. Altunin V.V., Geller V.Z., Kremenevskaya Ye.A., Perel'shteyn I.I., Petrov Ye.K. (1985) Teplofizicheskiye svoystva freonov. t.2. / Pod red. S.L. Rivkina. M.: Izdatel'stvo standartov, 264.
13. ECO-FLEX. Sil'fonnyie shlangi iz nerzhavayushchey stali. Retrieved from <http://www.eco-flex.com.ua>
14. Chalaev D., Silnyagina N., Shmatok A., Nedbailo A. (2016). Heat transfer enhancement in corrugated tube heat exchanger. *Ukrainian Journal of Food Science*, 5(2), 376-386.

УДК [664.78:631.576.4]:[66.2.7:57]

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ БІОПАЛИВА

Хоренжий Н. В., к.т.н., доц., Лапінська А. П., к.т.н., доц.

Перетяка С. М., к.т.н., доц., Детков Г. Г., студ.

Одеська національна академія харчових технологій

SUBSTANTIATION OF EXPEDIENCY OF USE OF WASTE PRODUCTS OF CEREAL MANUFACTURE AS RAW MATERIAL FOR BIOFUEL

Khorenzhyi N. V., Ph.D., Associate professor, Lapinska A. P., Ph.D., Associate professor, Pertiaka S. M.

Ph.D., Associate professor, Detkov G. G., student

Odessa National Academy of Food Technologies

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. У статті аналізується структура виробництва зернових в Україні, виявлено, що при обробці зерна в крупі утворюється значна частина вторинних матеріальних ресурсів (борошна та лушпиння). Тому важливо використовувати лушпиння зернових як сировину для виробництва біопалива. Метою роботи є розширення ресурсної бази біопалива за рахунок відходів виробництва зернових. Для досягнення цієї мети формуються цілі дослідження. Об'єктом дослідження є технологічний процес переробки відходів зернових рослин, режимів окремих технологічних процесів, зокрема, підготовка сполучного матеріалу. Предметом дослідження є мука і лушпиння вівса та ячменю, що зв'язують речовини (ячмінна паста). Визначено фізичні властивості відходів від переробки злаків. Встановлено, що лушпиння незалежно від його виду володіє властивостями: низькою текучою здатністю, великим кутом навалного схилу, малим об'ємним маслом у порівнянні з борошном. Сировина для виробництва біопалива істотно відрізняється за розмірами частинок, насипною щільністю і питомою вагою, вологістю, міцністю частинок матеріалу, хімічним складом сировини, тому рекомендується тиснути на підвищення температури палива. Проаналізовано різні способи виробництва біопалива, було доведено, що є також недоліки брикетів і гранул, отриманих без зв'язувальних речовин, одним з яких є проблема міжміського транспортування, внаслідок чого значна кількість натисненого біопалива знищується через до підвищення вологості і, як наслідок, теплотворних властивостей. Паливні гранули виготовляють головним чином без додавання зв'язуючого матеріалу, тоді як для виробництва

брикетів з поліпшеними показниками якості застосовують різні добавки та сполучні речовини. Було запропоновано використовувати як зв'язувальний агент крохмаль-сировину - борошно. На підставі експериментальних досліджень було доведено, що найбільш ефективним способом є виготовлення пасти з ячменю та / або вівсяної муки з вмістом сухої речовини 15%, з подальшим введенням 5-10% в біопаливо. Тепло згоряння отриманих окатишів становить 10-12 МДж / кг, температура горіння 540 ° С.

Abstract. The article analyzes the structure of production of cereals in Ukraine, found that when processing grain in the croup formed a significant part of the secondary material resources (flour and husks). Therefore, it is important to use the husks of cereals as raw materials for biofuel production. The aim of the work is to expand the biofuel resource base at the expense of cereal production waste. To achieve this goal, research objectives are formulated. The object of the study is the technological process of waste processing of cereal plants, modes of individual technological processes, in particular, preparation of a binder. The subject of the study is a fly and husk oats and barley, binding substances (barley paste). The physical properties of waste from processing cereals are determined. It has been established that the husk independently of its species has properties: low flowability, a large angle of the bulk slope, a small bulk mass in comparison with the flour. The raw material for biofuel production is significantly different in particle size, bulk density and specific gravity, humidity, strength of the material particles, chemical composition of raw materials, so pressing is recommended to increase the calorific value of fuel. Various methods of biofuel production have been analyzed, it has been shown that there are also shortcomings of briquettes and pellets obtained without binding substances, one of which is the problem of long-distance transportation, during which a significant amount of pressed biofuel is destroyed due to an increase in humidity and, as a consequence, calorific properties. Fuel pellets are mainly produced without the addition of a binder, while for the production of briquettes with improved quality indicators, various additives and binder are used. It was suggested to use as a binding agent starch-containing raw materials - a flour. On the basis of experimental studies, it has been proved that the most effective way is to prepare a paste from barley and / or oat flour with a dry matter content of 15%, with its subsequent introduction of 5-10% into biofuel. The heat of combustion of the obtained pellets is 10-12 MJ / kg, the burning temperature is 540 ° C.

Ключові слова: біопаливо, відходи крупозаводів, лузга круп'яних культур, зв'язуюча речовина, пелети, брикети

Keywords: biofuel, waste of cereal plants, husk of cereals, binder, pellets, briquettes

Вступ. Відомо, що енергоемність харчових виробництв в Україні була і залишається найбільшою в Європі [1, 2]. Причина цього криється не тільки у марнотратному ставленні громадян до будь-якого виду та джерела енергії, але й у використанні у технологічних процесах фізично зношеного та морально застарілого енерговитратного обладнання, у тому числі на зернопереробних підприємствах [3, 4]. Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), враховуючи високу залежність країни від імпорту енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії [5, 6].

Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн. т у.п./рік біомаси різних видів, при чому основна частка – деревини складає майже 80 %, 2 % – соломи злакових культур та 15,8 % лушпиння соняшнику. Таким чином, сировиною для виробництва біопалива є відходи сільськогосподарства (солома, полова, стебла кукурудзи, соняшника, тощо), виноградарства (виноградні вичавки), деревопереробних (тирса), оліе-екстракційних (соняшникове лушпиння) та круп'яних підприємств.

За останні десять років у середньому в Україні вироблялося 352 тис. тонн круп на рік, у 2014-му цей показник становив 350 тис. тонн [7], при чому при переробці зерна в крупу утворюються побічні продукти в основному у вигляді мучки та лузги. Так, при переробці проса в пшоно утворюється як побічний продукт 7,5% мучки та 15,5 % лузги, при переробці пшениці в крупу близько 30% мучки, ячменю в ячну крупу - 18% мучки, а в перлову крупу - 40% мучки та 7 % лузги, при переробці гречки в крупу - 3,5% мучки та 20,8 % лузги, вівса – мучки 4 – 16 %, а лузги – 26 – 27 %, гороху – 6 % лузги та 6,5 – 26,5 січки та мучки разом. Але рівень використання цих вторинних сировинних ресурсів у якості джерела для біопалива недостатньо високий.

Основна частина. Лузгу використовують при виробництві кормових сумішей для жуйних тварин; у якості наповнювача у вологих мішаних комбікормах для качок, гусей; як підстилку на тваринницьких комплексах; як паливний ресурс в котельнях; для виробництва будівельних матеріалів (пресованих плит, блоків, утеплювачів), целюлозовмісна сировина для гідролізу з отриманням широкого спектру продуктів, сировина для виробництва кормових продуктів методом біоконверсії, сировина для виробництва тари. Масова частка лузги серед відходів найбільша: 4 – 40 % в залежності від виду крупів. Але лузга рису має низьку тепловою здатність, високу абразивність (через високий вміст діоксиду кремнію), що пошкоджує робочі органи машин. До складу лузги входить 28 – 30 % неорганічних речовин, що не припустимо для біопалива.

Таким чином актуальним є використання лузги круп'яних культур у якості сировини для виробництва біопалива. **Метою** роботи є розширення сировинної бази біопалива за рахунок відходів круп'яного виробництва. Для досягнення поставленої мети визначені наступні **задачі** дослідження:

- дослідити фізичні властивості відходів переробки круп'яних культур ;
- обґрунтувати використання мучки у якості зв'язуючої речовини (ЗР),
- розробити та обґрунтувати композицію ЗР на основі мучки,
- дослідити вплив ЗР на основі мучки на якість гранул.

Об'єкт дослідження є технологічний процес переробки відходів круп'яних заводів, режими окремих технологічних процесів, зокрема підготовки ЗР. **Предмет** дослідження - мучка та лузга вівсяна і ячмінна, ЗР (ячмінний клейстер). Фізичні властивості відходів переробки круп'яних культур (тобто – сировини) відіграють важливу роль, оскільки вони визначають умови зберігання, особливості побудови ТП, режими роботи обладнання, витрати електроенергії, кількісні та якісні показники готової продукції.

Форма і розміри частинок сировини, що характеризують їх крупність (довжину), визначають вибір робочих органів та режими роботи обладнання для очищення, сортування і подрібнення. В залежності від крупності частинок відповідно змінюються й фізичні властивості сировини.

Сипкість матеріалів - складна комплексна характеристиками, що залежить від багатьох факторів: щільності, гранулометричного складу, форми і стану поверхні частинок. Сипкість визначає мінімальну швидкість прокатки в процесі безперервного пресування.

Чим краще сипкість порошку, тим легше його прокатка через отвори матриці, тим більш щільною і міцною буде гранула після пресування. Основними факторами, що визначають сипкість порошкоподібних матеріалів, є тертя і зчеплення частин між собою, що утрудняють їх взаємне переміщення, тобто когезійні сили взаємодії між частинками.

Об'ємна маса залежить від ступеню укладання та розміру частинок сировини, її хімічного складу, масової частки вологи та засміченості; та впливає на щільність укладання частинок в одиниці об'єму, тобто на місткість силосів і бункерів для зберігання, на продуктивність технологічного та транспортного обладнання.

Аналізуючи отримані результати експериментального дослідження (табл.1), можна зробити висновок, що існує прямо пропорційна залежність між крупністю частинок і кутом насипного ухилу, та зворотно пропорційна між крупністю частинок сировини і її об'ємною масою.

Таблиця 1 – Фізичні властивості відходів

Найменування	Фізичні властивості				
	Масова частка вологи, %	Середньозважений розмір частинки, мм	Об'ємна маса, кг/м³	Кут насипного ухилу, град	Сипкість, см/с
Лузга ячмінна	11,5	1,3	180-190	70-80	16
Лузга вівсяна	12,2	1,54	130-200	80-90	12
Мучка ячмінна	11	0,70	390-460	45-55	17
Мучка вівсяна	14,5	1,45	300-400	50-60	17
Мучка горохова	14,1	1,6	400-470	45-50	18

Також результати експериментальних досліджень показують, що лузга незалежно відової її приналежності має властивості: низьку сипкість, великий кут насипного ухилу, невелику об'ємну масу у порівнянні з мучкою. Зрозуміло, що єдина прийнятна форма готової продукції – пресована (гранульована та брикетована).

Досліджувана сировина для виробництва біопалива суттєво різниться за розмірами частинок, насипній і питомій вазі, вологості, міцності частинок матеріалу, хімічним складом сировини. Тому доцільно розробити таку технологію, яка б максимально підвищила теплотворну здатність палива – шляхом пресування.

Автори [8] розробили спосіб приготування твердого біопалива брикетуванням, 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, причому формування проводять безперервно і одночасно із термообробкою при температурі 150-250 °С в залежності від типу сировини.

Відомий спосіб виготовлення екологічно чистих пелет твердого палива, що їх виготовляють із здрібненої деревної та іншої органічної сировини шляхом пресування у гранули циліндричної форми [9]. Органічною сировиною, що її використовують у відомих пелетах, окрім деревної сировини, є стовбури кукурудзи і соняшнику, очерет, трава, листя дерев (зокрема, хвойних порід), відходи тютюнового виробництва, тютюновий пил, зрізи тютюну, стебла проса, солома зернових тощо.

Кожний вид сировини через свої різні фізичні властивості потребує значних зусиль на їх здрібнення, а отримана біомаса має різну щільність та пружність, що ускладнює утримання їх фракції у єдиній конструкції, навіть після пресування. Виготовлені за відомим способом пелети мають нестійку форму, і, у результаті механічного впливу під час маніпуляцій з ними, легко руйнуються.

Однак потрібно мати на увазі, що існують і недоліки 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 [10].

Паливні гранули (пелети) в основному виробляються без додавання зв'язуючих речовин (ЗР), в той час як для отримання брикетів з поліпшеними показниками якості використовуються різні добавки і ЗР. Більшість стандартів різних країн забороняють застосування ЗР для виготовлення брикетів (пеллет), 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 плавкості.

Однак застосування природних, екологічно чистих ЗР дозволить поліпшити технологічні характеристики твердого біопалива і дасть можливість розширити сировинну базу для його отримання.

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, хімічну сумісність з іншими речовинами суміші та задовільну ціну. В якості таких ЗР може бути використаний природний полімер - лігнін. Лігнін - аморфна речовина від світло-кремового до темно-коричневого кольору (в залежності від способу виділення), молекулярна маса розчинних лігнінів від 1 до 150 тис., щільність 1,25-1,45 г / см³.

Лігнін проявляє пластичні властивості при підвищеному тиску і температурі, особливо у вологому стані. Автори [11] вивчили вплив різних добавок і ЗР (порошок кавових зерен, кора, порошок лігніну, тощо) на пресування брикетів з тирси деревини модрина та тюльпанового дерева. Показано, що при використанні в якості ЗР порошку лігніну отримані паливні брикети з високими характеристиками міцності. Tarasov D., Shahi Ch., Leitch M. [12] продемонстрували, що лігнін - дешевий побічний продукт переробки деревини - може змішуватися з крохмалем і гліцерином, даючи більш міцні і пружні матеріали.

У процесі подрібнення лігніну утворюються дуже дрібні частинки, що дають хорошу адгезію з крохмалем, білками сої та їх похідними з утворенням просторових структур, що робить їх привабливими для використання в якості ЗР. При гранулювання деревної тирси оптимальної передбачається, за даними компанії California Pellet Mill, температура гранул від 88 до 102 °C.

Це пояснюється тим, що має забезпечуватися плавлення лігніну, яке відбувається при 90 °C у відсутності водяної пари, що розриває гранулу [13]. Автори робіт [14, 15] 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 (0,546 г / см³) отримані при використанні в якості ЗР крохмалю.

В результаті використання ЗР при пресуванні отримують паливні брикети з підвищеною гідрофобністю і високою теплою згоряння.

Однак основним недоліком методів отримання твердих біопалив за рахунок застосування в якості ЗР продуктів харчового призначення (крохмалю, борошна), або дорогих добавок-пластифікаторів може привести до збільшення у їх вартості.

Тому запропоновано у якості ЗР використовувати крохмалевмісну сировину – мучку.

Для обґрунтування складу зв'язуючої речовини складено їх модельні суміші з різним вмістом сухої речовини (5, 10, 15 % мучки ячмінної) та досліджено їх якість в залежності від складу композиції та крупності частинок сухої речовини (рис.1, 2).

При вмісті сухих речовин (СР) в клейстері 5 % збільшення відсотку введення ЗР до 10 % призводить до зменшення крихкості на 43 %. Концентрована 15 % суміш із збільшенням норми введення ЗР до 5 % забезпечує зростання міцності гранул на 64 %. Проте подальше збільшення відсотку введення до 10 % призводить до зменшення міцності гранул, що узгоджується із фізичною дією ЗР при надлишковій нормі введення. Аналіз отриманих даних свідчить про доцільність використання клейстера з вмістом СР 15 % та раціональною нормою введення ЗР 5 %, оскільки це забезпечує найкращі показники якості гранул біопалива.

Виготовлені пелети спалили в спеціальному експериментальному стенді (рис. 3) [16] та отримали наступні експериментальні дані за відомою методикою [17]. Залишок золи знаходиться в межах 8 – 9 %. Теплота згоряння пелет 10 - 12 МДж/кг, температура горіння 540 °C.

Це підтверджує ідею про те, що замість відходів, які забруднюють навколишнє середовище, можливо, отримати екологічно чисте паливо. Необхідно додати, що попіл, який утворюється при згорянні, є високоякісним добривом.

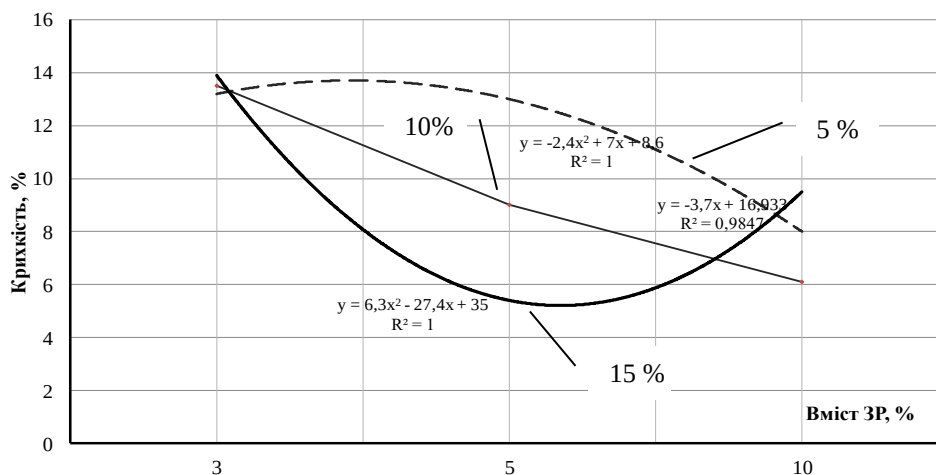


Рис. 1. Залежність крихкості гранул біопалива від вмісту ЗР при концентрації СР в клейстері ячмінної мучки.

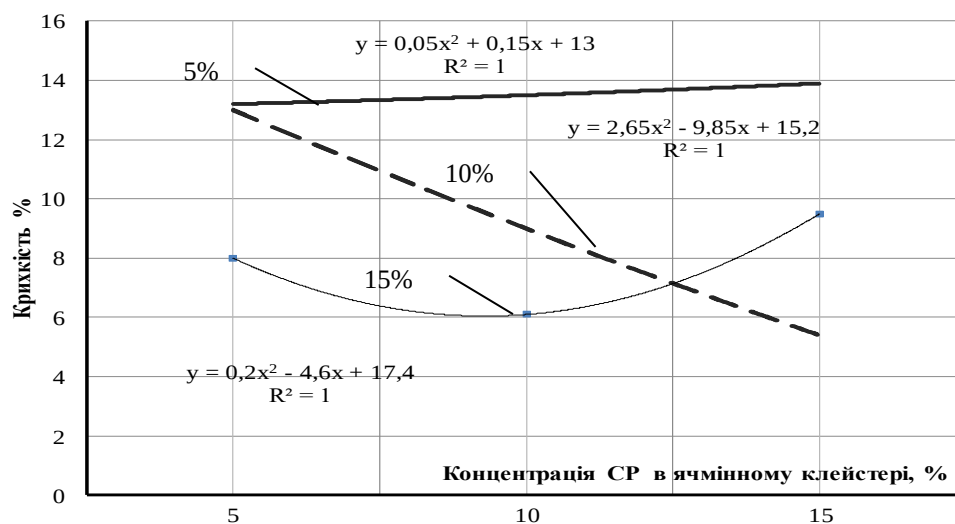
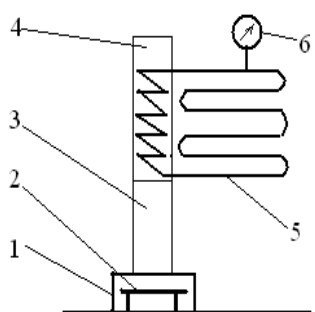


Рис. 2. Залежність крихкості гранул біопалива від концентрації СР в ячмінному клейстері при вмісті ЗР в гранулі.



1 - камера згоряння, 2 - касета для пелет, 3 - скляна труба, 4 - витяжна труба, 5 - двофазний контур, 6 - манометр

Рис. 3. Експериментальний стенд.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки. Лузга круп'яних культур незалежно відової її приналежності має незадовільні технологічні властивості у порівнянні з мучкою, які у поєднанні із особливостями хімічного складу призводять до незадовільної здатності до пресування.

Висновки. З урахуванням вище сказаного, для забезпечення міцності гранул, зменшення пластичності відходів круп'яних культур (лузги) рекомендовано використовувати в процесі пресування комплексну ЗР на основі мучки вівсяної та ячмінної. Здатність ЗР мучок обумовлена вмістом в них крохмалю, який при високих температурах клейстаризується. На основі експериментальних досліджень доведено, що найбільш ефективним способом є приготування клейстеру з ячмінної та/або вівсяної мучки із вмістом СР 15 % з подальшим його введенням до складу біопалива у кількості 5–10 %.

Література

1. Бевз В. В. Енергозбереження – потенціал розвитку економіки України // Харчова промисловість. 2010. № 9. С. 186–190.
2. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств. Одесса: Полиграф, 2008. 244 с.
3. Біоенергетичний потенціал лісостепової та поліської зони України та перспективи його використання: монографія / За заг. ред. д.с.-г.н., проф., член-кор. УААН В.І.Ладики. Суми: ВТД «Університетська книга», 2009. 300 с.
4. Біопаливо (технології, машини і обладнання) / В. Дубровін та ін. К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.
5. Енергетичний баланс України за 2012 рік. Експрес-випуск Державної служби статистики України №08/4-16/240 від 20.12.2013.
6. Solid Biomass Barometer. EurObserv'ER, December 2013. URL: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro219_en.pdf
7. Державний комітет статистики України. Офіційний сайт: електронний ресурс. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
8. Патент Росийской Федерации № 2364617 «Способ получения брикетов и установка для изготовления брикетов», опубліковано 20.08.2009, Бюл. № 23
9. Патент України на корисну модель "Екологічно чисті пелети твердого палива" № 69475 від 25.04.2012, Бюл. № 8
10. Галаяветдинова Н.Р., Насыбуллина А.Ф. Разработка технологии получения древесных топливных гранул с повышенной энергетической эффективностью // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т.2, № 3-4 (8-4). С. 27-31
11. Sotannde O.A., Oluyeye A.O., Abah G.B. Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica* // Journal of Forestry research. 2010. № 21(1). P. 63 – 67.
12. Tarasov D., Shahi Ch., Leitch M. Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: Review // ISRN Forestry. Vol. 2013, Article ID 876939, 6 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/876939>.
13. Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass / Stolarski M. J. et al. //Renewable energy. 2013. Т. 57. С. 20-26.
14. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders / Lu D. et al. // Biomass and Bioenergy. 2014. Т. 69. С. 287-296.
15. Chou C. S., Lin S. H., Lu W. C. Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran // Fuel processing technology. 2009. Vol. 90. №. 7. С. 980-987.
16. Перетяка С. Н., Осадчук П. И. Технология производства пеллет из виноградных выжимок //Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. – 2015. – №. 47 (2). – С. 213-215.
17. Перетяка С. Н. Исследование энергетических характеристик кофейного шлама //Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2011. №. 39 (2). С. 345-348.

References

1. Bevz, V. V., Bevz, V. V., & Bevz, V. V. (2010). Energozberezhennya–potentsial rozvitku ekonomiki Ukrainy [Energy saving - the potential of the Ukrainian economy].
2. Burdo, O. G. (2008). Energeticheskii monitoring pischevyih proizvodstv [Energy monitoring of food production]. Odessa: Poligraf, 244.
3. Ladika, V. I. (2009). Bioenergetichnii potentsial lisostepovoi i poliskoi zon Ukraini ta perspektivi yogo vikoristannya: monografiya. Ladika VI–Sumi VDT: Sumskiy natsionalnii agrarnii universitet.
4. Dubrovin, V. O., Korchemnii, M. O., & Maslo, I. P. (2004). Biopaliwa (tehnologii, mashini i obladnannya) [Biofuels (technology, machinery and equipment)]. K.: TsTI «Energetika i elektrifikatsiya», 256.
5. Energetichnii balans Ukraini za 2012 rik. (2013) [Energy balance of Ukraine for 2012]. Ekspres-vipusk Derzhavnii sluzhbi statistiki Ukraini
6. Solid Biomass Barometer. EurObserv'ER, December (2013). http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro219_en.pdf
7. Savt derzhavnogo komitetu statistiki Ukraini [State Committee of Statistics of Ukraine. Official site] (2014). Elektronnyi resurs. Rezhim dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
8. Patent Rossijskoi Federatsii № 2364617 «Sposob polucheniya briketov i ustanovka dlya izgotovleniya briketov», opublikovano 20.08.2009, Byul. № 23 [The patent of the Russian Federation No. 2364617 "The method of obtaining briquettes and the installation for the production of briquettes", published on 08/20/2009, Bul. No. 23]
9. Patent Ukraini na korisnu model "Ekologichno chisti peleti tverdogo paliva" # 69475 vid 25.04.2012, Byul. # 8 [The patent of Ukraine for the utility model "Ecologically clean solid fuel pellets" No. 69475 dated April 25, 2012, Bul. No. 8]
10. Galvavetdinov, N. R., & Nasvibullina, A. F. (2014). Razrabotka tehnologii polucheniya drevesnykh toplivnykh granul s povyshennoi energeticheskoi effektivnostyu. [Development of technology for obtaining wood pellets with increased energy efficiency] Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriya i praktika, - Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice 2(3-4), 27-31.
11. Sotannde, O. A., Oluyeye, A. O., & Abah, G. B. (2010). Physical and combustion properties of briquettes from sawdust of *Azadirachta indica*. *Journal of Forestry research*, 21(1), 63-67.
12. Tarasov, D., Shahi, C., & Leitch, M. (2013). Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: A review. *Isrn Forestry*, 2013.

13. Stolarski, M. J., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Krzyżaniak, M., Gulczyński, P., & Mleczek, M. (2013). Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. *Renewable energy*, 57, 20-26.
14. 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.
15. 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), 980-987.
16. Peretvaka, S.N., & Osadchuk, P.I. (2015). Tehnologiya proizvodstva pellet iz vinogradnykh vyizhimok [The technology of pellet production from grape harvest]. *Naukovi pratsi [Odeskovi natsionalnoi akademii harchovih tehnologii] - Scientific works [Odessa National Academy of Food Technologies]*, (47 (2)), 213-215.
17. Peretvaka, S.N. (2011). Issledovanie energeticheskikh harakteristik kofevnogo shlama. [Study of the energy characteristics of coffee slag]. *Naukovi pratsi [Odeskovi natsionalnoi akademii harchovih tehnologii] - Scientific works [Odessa National Academy of Food Technologies]*, (39 (2)), 345-348.

УДК 338.45: 662.6

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ДВУХПОТОКОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ

Ульев Л.М., д.т.н., профессор, Маатук А., аспирант
Национальный технический университет «ХПИ»

ENERGY EFFICIENT RECONSTRUCTION OF TWO-FLOW HEAT EXCHANGE SYSTEMS

Ul'ev L.M., doctor of technical sciences, professor, Maatuk A., graduate student
National Technical University "KhPI"

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Аннотация. В работе приведен широкий анализ опубликованных работ, посвященных методам интеграции процессов и оптимизации теплообменных систем в производствах, использующих химико-технологические методы переработки и производства веществ. Из множества возможных систем выделена двухпотоковая задача с утилитными путями, и для нее рассмотрены процессы перераспределения тепловых нагрузок на существующих теплообменных аппаратах и температур теплоносителей на входе и выходе из них при выполнении проектов энергоэффективной реконструкции систем теплообмена в условиях технологических и экономических ограничений. Получены аналитические зависимости изменения тепловых нагрузок, существующих теплообменных аппаратов и температур теплоносителей от величины площади поверхности теплообмена новых теплообменных размещений. Определено оптимальное значение площади поверхности теплообмена, добавляемой при реконструкции, при котором наблюдается наименьшая приведенная стоимость проекта реконструкции.

Abstract. The paper presents a wide analysis of published works devoted to the methods of process integration and optimization heat-exchange systems in production using chemical-technological methods for processing and production of substances. The dual stream heat system with utility paths was selected from the many possible exchanger systems and the processes of the redistribution of heat loads on existing heat exchangers and temperatures of heat carriers at the input and the output of them were studied for it with fulfilling of the energy efficient retrofit project in terms of technological and economic constraints. The analytical dependences for change of thermal loads for existing heat exchangers and heat carriers temperatures were obtained from the magnitude of the surface area for heat transfer a new heat-exchange placements. The definition of change of technological parameters for existing heat exchangers can significantly reduce economic costs for the implementation of energy efficiency retrofit of the heat exchanger networks for operating companies using the methods of heat and process integration, in particular using the methods of pinch analysis. For case study, two streams problem for heat transfer in heat network at the crude and gas separation units is considered in the paper. The exist system have three heat exchangers. The temperature measurements were fulfilled for all heat exchangers and the heat loads for heat exchangers and utility were calculated. The installation of one heat exchanger at the cool side of the system is proposed in retrofit project. The dependence of the temperature change of the hot and cold process stream of the value of the additional surface obtained for each heat exchanger. Utility power and power recovery of thermal energy in the system is also analyzed.