

УДК 662.8.053.33

## Оптимізація основних параметрів брикетування

О.С. Полянський<sup>1</sup>, О.В. Дьяконов<sup>2</sup>, В.І. Д'яконов<sup>3</sup>, О.С. Скрипник<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2,3</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка <sup>3</sup> v.i.diakonov@gmail.com

<sup>4</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова  
elenases2015@gmail.com (м.Харків, Україна)

Представлені статистичні матеріали, виконані на основі аналізу кількісних показників поліетиленових та рослинних відходів. Відзначено основні проблеми застосування відходів в якості палива. Викладено основні результати досліджень і спосіб ефективного застосування відходів поліетилену в якості енергонасиченого компонента і сполучної речовини при виробництві твердого палива. Представлені технологічна схема, дослідно-промислова установка та обладнання, необхідні для реалізації способу отримання брикетів. Наведено модель технологічного процесу з ефективною послідовністю технологічних операцій і параметри оптимального компонентного складу. Відображено основні чинники, що роблять істотний структуроутворюючий вплив на створення структурної композиції твердого багатокомпонентного палива. Дано графічне представлення принципу підбору частинок суміші при формуванні твердого палива методом брикетування з урахуванням у складі в'язких відходів поліетилену. Представлена залежність безрозмірної концентрації викидів в атмосферу при спалюванні твердого палива. Наведено практичні результати використання відходів поліетилену на обладнанні по виробництву твердого багатокомпонентного палива. Проаналізовано дані економічної доцільності використання твердого багатокомпонентного палива з високими теплотехнічними характеристиками на котельних, що працюють на місцевих видах твердого палива. Дана перспективна оцінка, відзначені актуальність і практична значущість вирішення проблеми щодо ефективного використання відходів поліетилену у виробництві твердого багатокомпонентного палива.

**Ключові слова:** відходи поліетилену, відходи деревини, паливні брикети, біопаливо, тверда багатокомпонентна композиція

**Постановка проблеми.** Для України біоенергетика є одним з стратегічних напрямів розвитку сектору відновлювальних джерел енергії. Темпи розвитку цього напрямку до цих пір суттєво відстають від європейських [1]. На сьогодні частка біомаси в загальній поставці первинної енергії в країні займає лише 1,2%. Використання біомаси для вироблення енергії вже зараз становить близько половини всіх відновлюваних джерел енергії у світі, у Європі сягає до 70%, Швеції – 64%, Данії та Австрії – 3-3%. Біомаса доступна для отримання енергії в Україні коливаються в межах 100 – 400 млн. т. у. п. рік – майже нездійняний ресурс, що вимагає інтенсифікації технологічних процесів виробництва паливних брикетів. Проведеним аналізом досліджень вчених встановлено що усі стадії виробництва є енергозатратними; особливо великими затратами характеризуються етапи підготовки сировини до брикетування (рис. 1), що впливає на енергоефективність виробництва загалом та собівартість продукції.

Через гігроскопічність брикети необхідно зберігати тільки в герметичній упаковці. Готова продукція такої технології низької якості, недостатньо міцна. Брикети розвалюються та беруться цвіллю і грибками [3, 5]. При спалюванні це не забезпечує необхідний контакт з повітрям, знижує тепловіддачу, не дає можливість механізувати і автоматизувати процеси. Недоліки існуючих технологій виготовлення паливних брикетів показані на рис. 2.

Можливості використання широкої номенклатури рослинних відходів обмежені. Низьке завантаження верстатів і устаткування цехів з виробництва паливних брикетів з рослинних відходів обумовлюється головним чином тим, що технологічні процеси цехів побудовані без урахування особливостей їх функціонування [4].

Вирішення завдання отримання високоякісних паливних брикетів на основі місцевої сировини, а також дослідження фізико-механічних властивостей таких матеріалів має велике наукове і практичне значення [2, 8-10].



Рис.1. Існуюча технологія виробництва паливних брикетів



Рис. 2. Недоліки існуючих технологій виготовлення паливних брикетів: а) після зберігання без упаковки, помітні цвіль та грибки; б) після зберігання при значних коливаннях температури; в) після транспортування у вологу погоду

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Бурхливий розвиток виробництва різноманітних полімерів в другій половині ХХ століття призвело до впровадження полімерних матеріалів в усі сфери життя людини. Їх обсяг виробництва перевищив сьогодні обсяг випуску чорних і кольорових металів і продовжує наростати на 5-6% щорічно [1]. Однак зростання виробництва полімерів неухильно веде і до зростання їх частки у відходах. Питання їх утилізації виявляються невіддільними від проблем утилізації інших відходів життєдіяльності людини. Останнім часом серед найбільш гострих проблем твердих відходів є утилізація полімерів. Кількість відходів такого виду настільки велика що деякі країни заборонили застосування поліетиленових виробів узагалі. Полімери є дуже стійкими сполуками які завдяки своїй хімічній будові дуже повільно розкладаються що спричиняє величезні їх об'єми у

твердих побутових відходах. Динаміка утворення полімерних відходів на Слобожанщині показана на рис. 3, 4 [8].

Ці відходи мають теплотдатність при згоранні на рівні бензину. Це при дефіциті паливних ресурсів в Україні, в Харківській області.

Одним з недоліків науково-дослідницької діяльності є відсутність доступних технологій і обладнання по переробці поліетиленових відходів в енергетичні вироби.

Тема залучення різних відходів для повторного використання, в тому числі з енергетичною метою, не нова. У країнах Європейського союзу і США вона досить поширена. Основна мета виробництва альтернативного твердого палива-вироблення недорогих енергоресурсів із застосуванням енергоефективних, ресурсберігаючих технологій і різних відходів, а також скорочення обсягів утворення відходів [5-7].

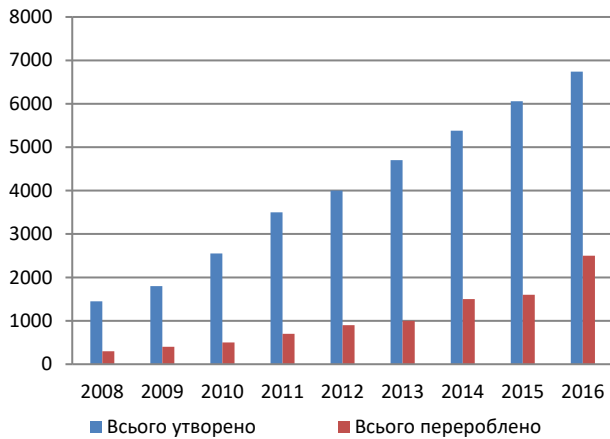


Рис. 3. Динаміка утворення полімерних відходів в Харківській області (в тоннах)

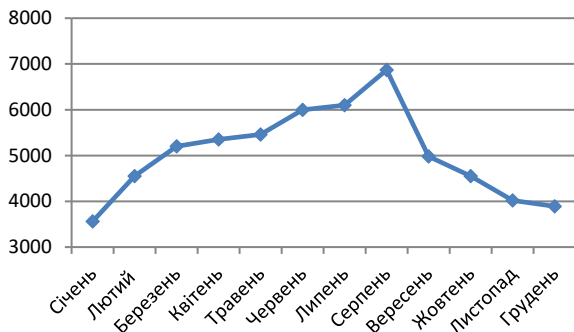


Рис. 4 – Зміна кількості поліетиленів у побутових відходах (в тоннах)

Головними факторами, що утрудняють використання в енергетиці відходів переробки деревини, є висока вологість і неоднорідний гранулометричний склад. Вологість деревного палива може змінюватися в дуже широких межах. У меблевому і деревообробному виробництвах вологість деяких видів відходів становить 8-12%, вологість основної частини відходів лісопиляння становить 40% на лісозаготівлях 50-60%. От чому хороші дрова повинні сохнути до вологості 25-30% не менш року. Для тріски і відходів лісопиляння вологість робочої маси 40-52%. Соняшник збирають у вересні-листопаді. При збиранні культури в оптимальній фазі стиглості вологість кошиків становить 70 – 75%, стебел – 60 – 70% [2].

#### Виклад основного матеріалу

Розроблена технологія отримання паливних брикетів дозволяє використовувати в якості зв'язуючого відходи поліетилену основними компонентами цього виду палива є відходи деревообробки, лісопиляння, переробки деревини і відходи сільськогосподарського виробництва [2].

При виготовленні сумішевих (двох і більше видів РВ) паливних брикетів при пресуванні

матеріалів з різними деформаційними властивостями, деформація часток відбувається по іншому, ніж при деформації однорідних сумішей. Твердіші частки втискуються у більш пластичні. В результаті збільшується площа контакту склеювання зв'язуючими. Максимальне значення щільності можна досягти при вологості сировини 15-17%. Структура брикету утворюється шляхом контактів частинок між собою і через прошарку сполучних за рахунок створюваних зусиль пресування. Особлива поверхнева волога сприяє кращому зближенню і ущільненню частинок РВ. Під дією прикладеного невеликого зусилля пресування зростають пластичні деформації частинок, а поверхнева волога, крім того, виконує роль змазки. Якщо припустити, що рослинна частка має форму циліндра з довжиною 1, яка за розмірами значно перевищує переріз (рис. 4), то наближено можна розрахувати збільшення площі контакту.

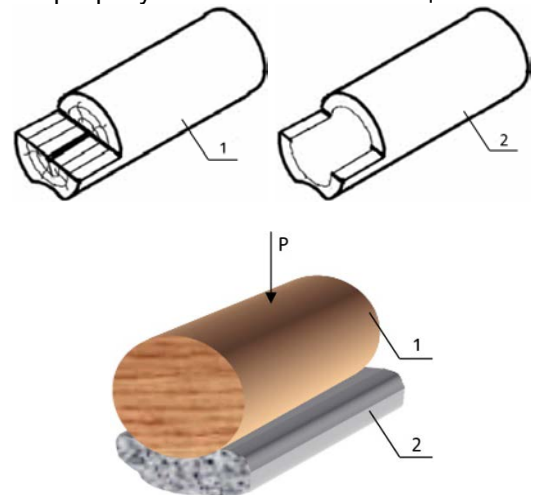


Рис. 5. Схема утворення паливних брикетів з рослинних відходів з різними деформаційними властивостями 1-тверді частини; 2-пластичні частини

Порівнюючи площу контакту однорідної суміші та площу контакту РВ з різними деформаційними властивостями ми можемо зробити висновок, що для тріски гілок берези та відходів соняшника площа контакту збільшилася приблизно в 2,9 рази, ніж для гілок берези.

Механічна міцність композиційних полімерів також залежить від оптимального співвідношення компонентів, що складають композицію за масою чи об'ємом. Тому отримання максимально міцних брикетів залежить від оптимального співвідношення зв'язуючого та наповнювача, яке буде встановлено нашими подальшими дослідженнями. Підвищення міцності можна очікувати як за рахунок механічних явищ – утворення армуючого каркасу, так і внаслідок молекулярних явищ на основі електромагнітної природи молекулярного злипання [6,7].



Різноманіття фізико-хімічних і структурно-реологічних процесів, які протікають в період формування структурного каркаса брикету, обумовлено великою кількістю необхідних для цього умов.

Серед основних факторів, що роблять істотну структуроутворюючу дію, перш за все слід враховувати гранулометричний склад, геометричний профіль поверхні, вологість і умови змішування компонентів, тиск і температуру пресування. Принцип підбору суміші частинок різної крупності полягає в створенні структурної композиції, що відповідає найбільш щільній упаковці, представленої на рис. 6.

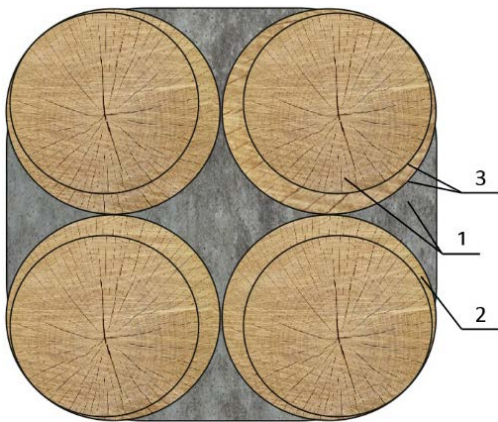


Рис. 6. Схема структури з найбільш щільною (кубічною) упаковкою частинок у брикеті:  
 1 – біомаса; 2 – зв'язуюче, 3 – активатор

Оптимальне співвідношення зв'язуючого компонента з частинками гранулометричного складу формованого палива дозволяє забезпечувати найбільш щільну упаковку частинок в пресованій суміші

Головним фактором, що утруднює використання в енергетиці відходів переробки деревини, є висока вологість. Вологість деревного палива може змінюватися в дуже широких межах. У меблевому і деревообробному виробництвах вологість деяких видів відходів становить 8-12%, вологість основної частини відходів лісопиляння становить 40% на лісозаготівлях 50-60%. От чому хороші дрова повинні сохнути до вологості 25-30% не менш року. Для тріски і відходів лісопиляння вологість робочої маси 40-52%. Соняшник збирають у вересні-листопаді. При збиранні культури в оптимальній фазі стиглості вологість кошиків становить 70-75%, стебел – 60-70% [2]. Нами розроблено систему формування якості паливного брикету, яка вказана у вигляді схеми на рис. 7.

Із вищезгаданого на якість паливного брикета впливає розмір щепи, тиск ущільнення біомаси,

конструктивні та режимні параметри НВЧ пристрою. В загальному випадку термоекономічний критерій оптимізації має вигляд:

$$Z_{\Sigma} = \left( \frac{\sum_n C_n P_n + \overline{K_n}}{\sum_k e_k} \right) \quad (1)$$

де  $C_n$ ,  $P_n$  – вартість і річне споживання енергії із зовнішніх джерел;  $K_n$  – річні капітальні та інші, пов'язані з ними затрати в n-му елементі;  $e_k$  – річна витрата енергії для отримання k-го продукту.

Для вирішення завдання оптимізації обраний математичний метод, який перш за все приводив би до кінцевих результатів з найменшими витратами на обчислення. Вибір методу покоординатного спуску або метод Гаусса-Зейделя в значній мірі визначався постановкою завдання, а також математичною моделлю об'єкта оптимізації [11-15].

Видно, що максимум економічної ефективності функціоналу досягає при значенні довжини тріски 11, 2мм. В подальшому для тріски з довжиною 11мм проведені розрахунки функціоналу при різній висоті тріски отримані дані координат локального оптимума. Максимум економічної ефективності функціоналу досягається при значенні висоти тріски 6мм. Максимум економічної ефективності функціоналу досягається при ширині тріски 6мм. На практиці тиск пресування визначений на рівні 16 МПа. Параметри НВЧ пристрою: діаметр брикету 60мм,  $l_1=1200$ мм,  $l_2=450$ мм

#### Обґрунтування та вибір оптимального складу зв'язуючого та активатора

Використовується мікрохвильова технологія. Мова йде про впровадження конверсійних технологій в невійськовій галузі промисловості, які в нашій країні здійснюються повільно, по суті, цей потенціал залишається незатребуваним. Управління потужністю НВЧ випромінювання заховане у аномально високому поглинанні НВЧ – енергії водою. НВЧ-випромінювання буде одночасно однаково впливати і на гідроксили макромолекул целюлози і на молекули води. При цьому поглинання енергії випромінювання поділяється на обидва компонента, що призводить до збільшення власної теплової енергії в залежності від ступеня їх рухливості [16-19].

Тому НВЧ-випромінювання буде впливати на фізично пов'язані молекули води, що знаходяться в квазівільному стані, також, як на вільні. Нами прийнято допущення, що молекули води утворюють водно-водневого зв'язку з усіма компонентами деревини так само, як з целюлозою.

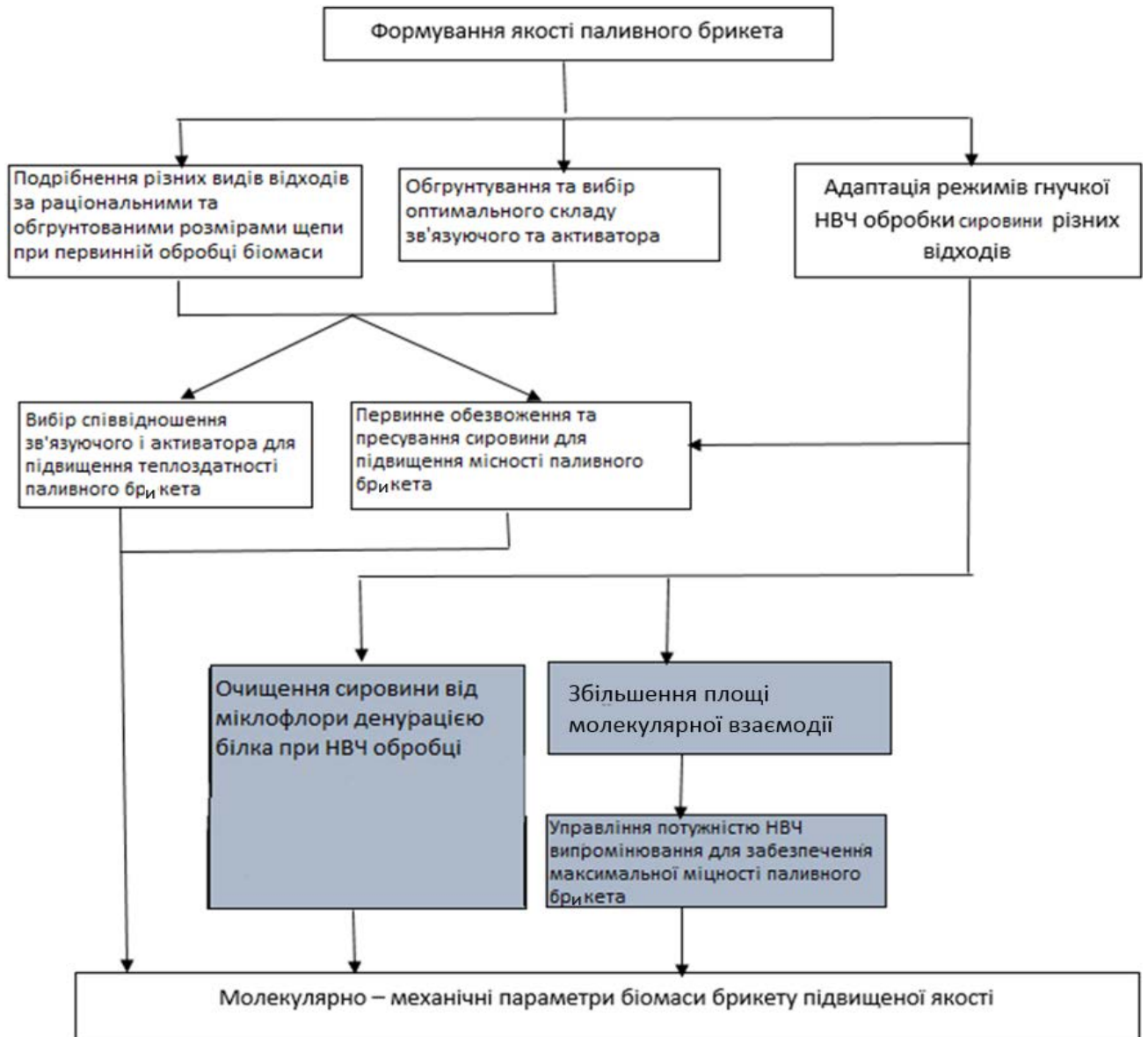


Рис. 7. Схема формування якості паливного брикету

Відповідно максимальний кількісний вміст фізично зв'язаної вологи в деревині визначається хімічним складом деревини при утворенні граничного числа водно-водневих зв'язків компонентів деревини з молекулами води.

Установка для виробництва паливних брикетів працює таким чином (рис.8).

Відходи рослинного походження (гілки, опале листя, деревна стружка, деревна тирса, солома, обрізки деревини і кори дерев, лузга, отримана при обрушенні насіння соняшника, качани і стовбури кукурудзи, очерет тощо або їх суміш) попередньо здрібнюють до фракції 10-12 мм.

Розроблена і запатентована технологія і складу палива дозволяють брикетувати із застосуванням різних сільськогосподарських, дере-

вообробних та різних поліетиленових відходів в оптимальних співвідношеннях.

Здрібнену сировину (біомасу) подають у змішувач 1, туди ж подають і в'язуче (відходи подрібненого поліетилену) та тиксотропну добавку (розчин шкіряного пилу) із змішувача 2 при такому співвідношенні компонентів, мас. %: сировина рослинного походження – 80, в'язуче - 20 (подрібнений поліетилен – 18, шкіряний пил – 2). Основна концепція пропонованого використання відходів поліетилену полягає в додаванні до складу палива певної екологічної безпечної пропорції поліетилену при виробництві брикетів на основі деревно-рослинної сировини, внаслідок чого досягається збільшення прийнятних і необхідних енергетичних показників теплоти згорання рис.9.

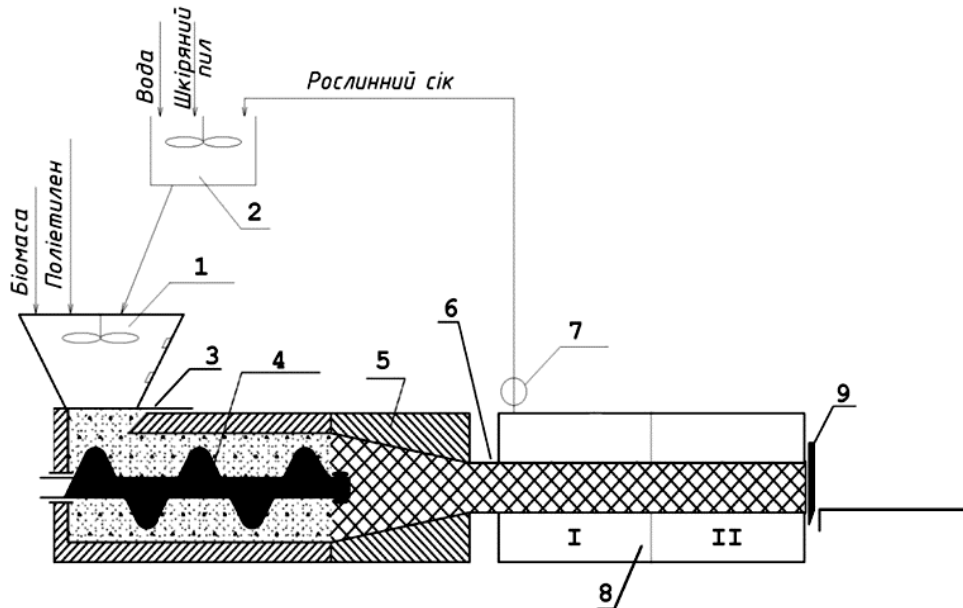


Рис. 8. Прес-автомат гнучкої технології виробництва паливних брикетів: I - перша секція мікрохвильового пристрою на основі системи хвилевідного типу має довжину  $l_1$ ; II – друга секція мікрохвильового пристрою (адаптер) на основі уповільнюючої системи довжиною  $l_2$ ; 1-змішувач брикетної суміші; 2 – змішувач тиксотропної добавки; 3 – засувка; 4 – шнековий транспортер; 5 – формуюча головка; 6 – тefлонова труба з отворами; 7 – насос; 8 – камера термообробки НВЧ типу; 9 – ніж та стіл для охолодження брикетів.

Компоненти змішують до рівномірного розподілу в'язучого та тиксотропної добавки по поверхні часток сировини.

Після чого вмикають шнековий транспортер 4 і відсувають засувку 3. попередньо підготовлену суміш з витратного бункера-змішувача надходить в шнековий прес, ущільнюється. При переміщенні вологого матеріалу значно падає навантаження на шнек, твердіші частинки втискаються у більш пластичні, пресується, зменшується в об'ємі потім переміщається через конічну формуючу насадку 5 шнекового преса при тиску 20МПа з утворенням внутрішнього наскрізного поздовжнього отвору в брикеті або без нього. Проходить первинне зневоднення та пресування сировини для підвищення міцності брикету. Суміш попадає в тefлонову трубу 6 з отворами, яка проходить через НВЧ-піч 8. Відмова від циклічної сушки в камерах і перехід на безперервний конвеєрний спосіб дозволяє істотно підвищити ефективність процесу сушіння [20-25].

НВЧ-піч 8 обладнана послідовно включеною секцією I хвилевідного типу яка проводить сушіння сформованих брикетів вологістю до 12%. При використанні більш вологої біомаси в лінію додатково введений адаптер температури II виконаний у вигляді уповільнюючої системи, який автоматично підключається до секції хвилевідного типу при вологості більше 12%. Таким чином

термоізольована НВЧ-піч 8 забезпечує рівномірну сушку паливних брикетів по їх товщині при використанні біомаси великої вологості. Через тefлонову трубу 6 електромагнітне поле надвисокої частоти проникає в глибокі шари брикетної маси, і волога, яка міститься в достатній кількості всередині брикету і має високу реактивну складову діелектричної константи, поглинає електромагнітну енергію і перетворює її в теплову. Рослинні відходи розпушуються. Площа взаємодії біомаси та поліетилену. Під дією високої температури всередині брикету подрібнений поліетилен розплавляється, розтікається і більш ефективно проникає в пори і тріщини рівномірно скріплюючи фракції рослинної сировини. Волога (рослинний сік) яка випарюється через повздовжні розрізи тefлонової труби 6, видаляється з робочої камери 8 за допомогою насоса 7, який створює також вакуум в камері 8. Різноманіття фізико-хімічних і структурно-реологічних процесів, що протікають в період формування структурного каркаса брикету, зумовлена великою кількістю чинників. Вплив кожного з них впливає на інтенсивність адгезійних взаємодій як під час підготовки брикетної суміші, так і при її пресуванні. Серед основних факторів, які справляють істотну структуроутворюючу дію, перш за все слід враховувати гранулометричний склад, активність поверхні, вологість пресованих компонентів. Гра-

нулометричний склад визначається сумарною поверхнею зіткнення пресованих частинок, числом і величиною порот в структурному каркаса палива, змістом гострокутних частинок, рельєфом їх поверхні і наявністю пилових частинок.

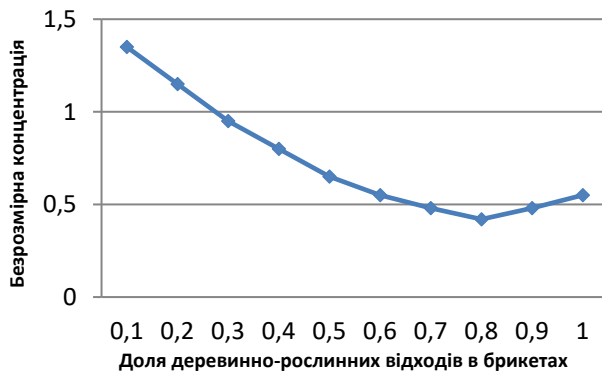


Рис. 9. Залежність безрозмірної концентрації небезпечних викидів від доли деревинно-рослинних відходів в брикетах

В змішувач тиксотропної добавки 2 подається рідина (вода та рослинний сік) та шкіряний пил та шляхом змішування йде підготовка розчину для змішувача 1.

Сигароподібний висушений брикет виходить з тефлонової труби 6 та розділяється на рівні частини механізмом 9, які потім охолоджують та упаковують.

В процесі виробництва паливних брикетів при НВЧ випромінюванні проходить очищення сировини від мікрофлори. Нами доведено, що мікрофлора в РВ гине в результаті денатурації білка уже при питомій потужності 0,09...0,3 кВт/кг та при темпі нагрівання 0,5...0,8 °C/c, а при збільшенні темпу нагрівання до 1,2...1,6 °C/c – за рахунок діелектричного руйнування клітин живої тканини. Одним з обов'язкових питань при розробці мікрохвильової техніки пов'язаний з визначенням витоків електромагнітної енергії.

Особлива увага при НВЧ формуванні брикетної суміші приділяється малому розкиду температури в матеріалі, що в підсумку визначає внутрішню структуру і якісні характеристики паливних брикетів. Використання НВЧ дає об'ємний характер нагріву брикетної маси, що призводить до повноти реакції полімеризації і високим характеристиками міцності та енергетичних можливостей одержуваних виробів [26-28].

Механічна міцність композиційних полімерів також залежить від оптимального співвідношення компонентів, що складають композицію за масою чи об'ємом. Тому отримання максимально міцних брикетів залежить від оптимального співвідношення зв'язуючого та наповнювача, яке буде встановлено нашими подальшими дослідженнями. Підвищення міцності можна очікувати як

за рахунок механічних явищ – утворення армуючого каркасу, так і внаслідок молекулярних явищ на основі електромагнітної природи молекулярного злипання.

Нами також було досліджено вплив тиску на фізико-механічні показники паливного брикету.

Різноманіття фізико-хімічних і структурно-реологічних процесів, що протікають в період формування структурного каркаса брикету, зумовлена великою кількістю чинників. Вплив кожного з них впливає на інтенсивність адгезійних взаємодій як під час підготовки брикетної суміші, так і при її пресуванні. Серед основних факторів, які справляють істотний структуроутворюючу дію, перш за все слід враховувати гранулометричний склад, активність поверхні, вологість пресованих компонентів. Гранулометричний склад визначається сумарною поверхнею зіткнення пресованих частинок, числом і величиною порот в структурному каркасі палива, вмістом гострокутних частинок, рельєфом їх поверхні і обов'язковою наявністю пилоподібних часток [29-34]

За критеріями оптимальної їх опірності атмосферних впливів в процесі зберігання і температурно-механічних навантажень при їх використанні розроблена і запатентована технологія і склади палива дозволяють брикетувати із застосуванням різних сільськогосподарських, деревообробних та різних поліетиленових відходів в оптимальних співвідношеннях [35].

**Висновки.** Проведений аналіз стану питання і огляд літературних джерел дозволили виконати комплексну оцінку виробництва паливних брикет із рослинних відходів. Традиційні методи брикетування дуже енергозатратні. Найбільшу частку в загальній структурі витрат енергії займає сушіння 30-65%, подрібнення матеріалів до 30% та процес брикетування до 35%. Через гігроскопічність брикети необхідно зберігати тільки в герметичній упаковці. Готова продукція такої технології низької якості, недостатньо міцна. Брикети розвалюються та беруться цвіллю і грибками. Це не забезпечує необхідний контакт з повітрям, знижує тепловіддачу, не дає можливість механізувати і автоматизувати процеси. Можливості використання широкої номенклатури рослинних відходів обмежені. Низьке завантаження верстатів і устаткування цехів з виробництва паливних брикетів з рослинних відходів обумовлюється головним чином тим, що технологічні процеси цехів побудовані без урахування особливостей їх функціонування.

Гнучкий потік на основі НВЧ агрегату найкращим чином дозволяє об'єднати в єдине ціле і розподілити в часі й в просторі засоби праці, предмети праці й саму працю, створюючи при цьому комбінації, що дозволяють забезпечувати найвищі техніко-економічні показники виробництва.



### Література

1. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення: монографія [Полянський О.С., Дьяконов О.В., Скрипник О.С., Фесенко Г.В., Д'яконов В.І., Харченко Ю.В., Торосов А.С., Волощенко В.В.]-Х.: Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, 2017.- 136С.
2. Пат. 117937Україна, МПК С10L 5/40. Гнучка технологічна лінія для виготовлення паливних брикетів/ Дьяконов О. В., Д'яконов В. І., Полянський О.С.,Горобець В.М. Коваленко О. І.; Патенто-власник Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, – № 2017 01568; заявл. 20.02.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. 6 С.
3. Д'яконов В.І., Скрипник О.С., Дьяконов О.В. Утилізація рослинних і деревних відходів паркової зони міста / Комунальное хозяйство міст: Наук.-техн. зб. // ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків, – 2015. – Вип. 124. – С. 49-52.
4. Д'яконов В.І., Скрипник О.С., Дьяконов О.В.Особливості функціонування гнучких технологій переробки рослинних та деревинних відходів / Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. Днепропетровск: ПГАСА, 2015. – Вип. 83. – С.113-117.
5. Д'яконов В.І., Дьяконов О.В., Скрипник О.С., Нікітченко О.Ю. Вплив вологості деревних відходів на фізико-механічні властивості біокомпозиції // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. / ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків, – 2016. – Вип. 128. – С. 53-57
6. Д'яконов В.І., Дьяконов О.В., Скрипник О.С., Нікітченко О.Ю. Еколого-економічні питання утилізації опалого листя у місті харкові // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. / ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків, – 2016. – Вип. 129. – С. 85-91.
7. Д'яконов В.І., Скрипник О.С., Дьяконов О.В. Шляхи утилізації опалого листя на територіях міста // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. Серія: Безопасность жизнедеятельности вып. 93, – Днепропетровск: ПГАСА, 2016. – С.178-183.
8. Dust exposures in the wood processing industry / Alwis U., Mandryk J., Hocking A. D. [et al.] // Am. Ind. Hyg. Assoc. J. – 1999. – V. 60 (5). – P. 641-647.
9. Symptoms, airway responsiveness, and exposure to dust in beech and oak wood workers / Bohadana A.B., Massin N., Wild P. [et al.] // Occup. Environ. Med. – 2000. – V. 57. – P. 268-273.
10. Brouwer D.H. Personal exposure in the workplace: exploring sampling techniques and strategies / D.H. Brouwer, J.H. Gijsberg, M.W. Lurvink // Ann. Jccup. Hyg. – 2004. – V.48, № 5. – P. 439-453.
11. Carton M. Occupational exposure to wood dust. Health effects and exposure limit values / Carton M, Goldberg M, Luce D. // Rev. Epidemiol. Sante Publique. – 2002. – V. 50 (2). – P. 159-178.
12. Aktualne problemy higieny przyprodukcji biopaliw z surowcow rolniczych za pomoca nowoczesnych technologii / W.G Capko, M.Yu. Sterenbogen, A. J. Czudnowiec, W. W. Papacz // Praktyczne problemy zwiazane z ochrona pracy w rolnictwie. – Lublin, 2013. – P. 119-126.
13. De Haar C. Ultrafine but not fine particulate matter causes airway inflammation and allergic airway sensitization to co-administered antigen in mice / De Haar C // Clin. Exp. Allerg. – 2006. – V. 36, № 11. – P. 1469-1479.
14. Delfino R.J. Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particles mass and cardiovascular health / R.J. Delfino, C. Sioutas, S. Malik // Environ.Health Perspect. – 2005. – V.113, № 8. – P. 934-946.
15. De Zotti R. Asthma and rhinitis in wooding workers / De Zotti R., Gubian F. // Allergy Asthma Proc. – 1996.– V. 17. – P. 199-203.
16. Потенційний ризик мікроскопічних грибів для робітників виробництва біопалива / Цапко В.Г., Чудновець А.Я., Стеренбоген М.Ю. [та ін.] // Укр. журн. з пробл. медицини праці. – 2012. – № 1 (29). – С. 48-54.
17. Біологічні ресурси і технологія виробництва біопалива: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк [та ін.]. – Київ: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 408 с.
18. Dutkiewicz J. Bacteria and fungi in organic dust as a potential health hazard / Dutkiewicz J. // Ann. Agric. Environ. Med. – 1997. – № 4. – P. 11-16.
19. Biological agents as occupational hazards – selected issues / Dutkiewicz J., Cisak E., Sroka J. [et al.] // Ann Agric Environ Med. – 2011. – V. 18 (2). – P. 286-293.
20. Eduard W. Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture/Eduard W. // Ann Agric. Environ. Med. – 1997.– V. 4. – P. 179-186.
21. Fabianova E. Occupational cancer in central European countries / Fabianova E. // Environmental Health Perspect. – 1999. – V. 107 (2). – P. 279-282.
22. Gioffre, A. Airborne Microorganisms, Endotoxin, and Dust Concentration in Wood Factories in Italy / Gioffre A., Marramao, A. // Ann. Occup. Hyg. – 2012. – V. 56 № 2. – P. 161-169.
23. Gerberick G.F. Toxicity of T-2 toxin, a Fusarium mycotoxins, to alveolar macrophages in vitro / Gerberick G.F., Sorenson W.G. // Environ. Research. – 2005.– V. 32. – P. 269-285.
24. Gradon L. Deposition and retention of ultrafine aerosol particles in the human respiratory system. Normal and pathological cases / L. Gradon, D. Orlicki, A. Podgorski // Int. J. Occup. Saf. Ergon. – 2000. – V. 6, № 2. – P. 189-207.



25. Heederik D. Dust-related decline in lung function among animal feed workers / Heederik D., Smid T., Houba R. // *Am. J. Ind. Med.* – 1994. – № 25. – P. 117-121.

26. Upper airway symptoms and function in wood surface coating industry workers / Holmström M., Granstrand P., Nylander-French L.A., Rosen G. // *Am. J. Ind. Med.* – 1995. – V. 28, № 2. – P. 207-209.

27. Kozajda A. Knowledge and the ways of health protection against occupational exposure to biological hazards / Kozajda A., Zielinska-Jankiewicz K., Szadkowska Stanczyk I. // *Part II. Med.Pr.* – 2005. – V. 56 (3). – P. 205-211.

28. Lacey J. Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergens / Lacey J., Crook B. // *Ann. Occup. Hyg.* – 1998. – № 32. – P. 515-533.

29. Lopez-Rico R. Cereal alpha-amylase inhibitors cause occupational sensitization in the wood industry / Lopez-Rico R. // *Clinical and Experimental Allergy.* – 1998. – V. 28, № 10. – P. 1286-1291.

30. Madsen A. M. Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at Danish biofuel plants / Madsen A. M. // *Annals of Occupational Hygiene.* – 2006. – V. 50, № 8. – P. 821-831.

31. Microbial dustiness and particle release of different biofuels / Madsen A. M., Martensson L., Schneider T., Larsson L. // *Ann Occup. Hyg.* – 2004. – V. 48. (4). – P. 327-338.

32. An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe / Maggelli F., Boucher K., Bi H. [et al.] // *Biomass and Bioenergy.* – 2009. – V. 33, № 3. – P. 434-441.

33. Malmros P. Occupational health problems due to garbage sorting / Malmros P., Sigsgaard T., Bach B. // *Waste Manage Res.* – 1992. – V. 10. – P. 227-234.

34. Markandya A. Energy and Health 2 Electricity generation and health / Markandya A., Wilkinson P. // *Lancet.* – 2007. – V. 370. – P. 979-990.

35. Вплив виробничого середовища на формування біологічного фактора в умовах сільськогосподарського виробництва / Цапко В.Г., Чудновець А.Я., Стеренбоген М.Ю., Папач В.В. // *Укр. журн. з пробл. медицини праці.* – 2014. – № 1. – С. 60-65.

## References

1. Naprjamy rozvytku aljternatyvnykh dzherel energiji: akcent na tverdomu biopalyvi ta ghnuchkykh tekhnologijakh jogho vyghotvlenija: monografija [Poljanskyj O.S., Djakonov O.V., Skrypnik O.S., Fesenko Gh.V., D'jakonov V.I., Kharchenko Ju.V., Torosov A.S., Voloshhenko V.V.]. – Kh.: Kharkivskyj nac. un-t misjkogho ghospodarstva imeni O.M. Beketova, 2017. – 136 S.

2. Pat. 117937 Ukrajin, MPK S10L 5/40. Ghnuchka tekhnologichna linija dlja vyghotvlenija palyvnykh bryketiv / Djakonov O.V., D'jakonov V.I., Poljanskyj O.S., Ghorobecj V.M. Kovalenko O.I.; Zajavnyk i patentovlasnyk Kharkivskyj nac. un-t misjkogho ghospodarstva imeni O.M. Beketova, – № 201701568; zajavl. 20.02.2017; opubl. 10.07.2017, Bjul. №13. 6 S.

3. D'jakonov V.I., Skrypnik O.S., Djakonov O.V. Utylizacija roslynnykh i derevnykh vidkhodiv parkovoi zony mista / Komunalnoe ghospodarstvo mist: Nauk.-tekhn. zb. // *KhNUMGh im. O.M. Beketova. Kharkiv,* – 2015. – Vyp. 124. – S. 49-52.

4. D'jakonov V.I., Skrypnik O.S., Djakonov O.V. Osoblyvosti funkcionuvannja ghnuchkykh tekhnologij pererobky roslynnykh ta derevnykh vidkhodiv / Stroyteljstvo, materyalovedenye, mashynostroenye: sb. nauchn. trudov. Dnepropetrovsk: PGhASA, 2015. – V. 83. – S.113-117.

5. D'jakonov V.I., Djakonov O.V., Skrypnik O.S., Nikitchenko O.Ju. Vplyv vologhosti derevnykh vidkhodiv na fizyko-mekhanichni vlastyvoli biokompozycji // *Komunalne ghospodarstvo mist: Nauk.-tekhn. zb. / KhNUMGh im. O.M. Beketova. Kharkiv,* – 2016. – Vyp. 128. – S. 53-57/

6. D'jakonov V.I., Djakonov O.V., Skrypnik O.S., Nikitchenko O.Ju. Ekologho-ekonomichni pytannja utyilizaciji opalogho lystja u misti kharkovi // *Komunalne ghospodarstvo mist: Nauk.-tekhn. zb. / KhNUMGh im. O.M. Beketova. Kharkiv,* – 2016. – Vyp. 129. – S. 85-91.

7. D'jakonov V.I., Skrypnik O.S., Djakonov O.V. Shljakhy utyilizaciji opalogho lystja na terytorijakh mista // *Stroyteljstvo, materyalovedenye, mashynostroenye: sb. nauchn. trudov. Serija: Bezopasnostj zhyznedejateljnosty vyr. 93,* – Dnepropetrovsk: PGhASA, 2016. – S.178-183. Dust exposures in the wood processing industry/ Alwis U., Mandryk J., Hocking A. D. [et al.] // *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* – 1999. – V. 60 (5). – P. 641-647.

8. Symptoms, airway responsiveness, and exposure to dust in beech and oak wood workers / Bohadana A.B., Massin N., Wild P. [et al.] // *Occup. Environ. Med.* – 2000. – V. 57. – P. 268-273.

9. Brouwer D.H. Personal exposure in the workplace: exploring sampling techniques and strategies / D.H. Brouwer, J.H. Gijsberg, M.W. Lurvink // *Ann. Jccup. Hyg.* – 2004. – V.48, № 5. – P. 439-453.

10. Carton M. Occupational exposure to wood dust. Health effects and exposure limit values / Carton M, Goldberg M, Luce D. // *Rev. Epidemiol. Sante Publique.* – 2002. – V. 50 (2). – P. 159-178.

11. Aktualne problemy higieny przyprodukcji biopaliw z surowcow rolniczych za pomoca nowoczesnych technologii / W.G Capko, M.Yu. Sterenbogen, A.J. Czudnowiec, W.W. Papacz // *Praktyczne problemy zwiazane z ochrona pracy w rolnictwie.* – Lublin, 2013. – P. 119-126.

12. De Haar C. Ultrafine but not fine particulate matter causes airway inflammation and allergic airway sensitization to co-administered antigen in mice / De Haar C // *Clin. Exp. Allerg.* – 2006. – V. 36, № 11. – P. 1469-1479.
13. Delfino R.J. Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particles mass and cardiovascular health / R.J. Delfino, C. Sioutas, S. Malik // *Environ. Health Perspect.* – 2005. – V. 113, № 8. – P. 934-946.
14. De Zotti R. Asthma and rhinitis in wooding workers / De Zotti R., Gubian F. // *Allergy Asthma Proc.* – 1996. – V. 17. – P. 199-203.
15. Potencijnyj ryzyk mikroskopichnykh ghrybiv dlja robotnykiv vyrobnyctva biopalyva / Capko V. Gh., Chudnovec A. Ja., Sterenbogh M. Ju. [ta in.] // *Ukr. zhurn. z probl. medycyny praci.* – 2012. – # 1 (29). – S. 48-54.
16. Biologhichni resursy i tekhnologhija vyrobnyctva biopalyva: Monoghrafija / Ja. B. Bljum, Gh. Gh. Gheletukha, I. P. Ghryghorjuk [ta in.]. – Kyjiv: «Aghrar Media Ghrup», 2010. – 408 s.
17. Dutkiewicz J. Bacteria and fungi in organic dust as a potential health hazard / Dutkiewicz J. // *Ann. Agric. Environ. Med.* – 1997. – № 4. – P. 11-16.
18. Biological agents as occupational hazards – selected issues / Dutkiewicz J., Cisak E., Sroka J. [et al.] // *Ann Agric Environ Med.* – 2011. – V. 18 (2). – P. 286-293.
19. Eduard W. Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture / Eduard W. // *Ann Agric. Environ. Med.* – 1997. – V. 4. – P. 179-186.
20. Fabianova E. Occupational cancer in central European countries. / Fabianova E. // *Environmental Health Perspect.* – 1999. – V. 107 (2). – P. 279-282.
21. Gioffre, A. Airborne Microorganisms, Endotoxin, and Dust Concentration in Wood Factories in Italy / Gioffre A., Marramao A. // *Ann. Occup. Hyg.* – 2012. – V. 56 № 2. – P. 161-169.
22. Gerberick G.F. Toxicity of T-2 toxin, a Fusarium mycotoxins, to alveolar macrophages in vitro / Gerberick G.F., Sorenson W G. // *Environ. Research.* – 2005. – V. 32. – P. 269-285.
23. Gradon L. Deposition and retention of ultrafine aerosol particles in the human respiratory system. Normal and pathological cases / L. Gradon, D. Orlicki, A. Podgorski // *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* – 2000. – V. 6, № 2. – P. 189-207.
24. Heederik D. Dust-related decline in lung function among animal feed workers / Heederik D., Smid T., Houba R. // *Am. J. Ind. Med.* – 1994. – № 25. – P. 117-121.
25. Upper airway symptoms and function in wood surface coating industry workers / Holmström M., Granstrand P., Nylander-French L.A., Rosen G. // *Am. J. Ind. Med.* – 1995. – V. 28, № 2. – P. 207-209.
26. Kozajda A. Knowledge and the ways of health protection against occupational exposure to biological hazards / Kozajda A., Zielinska-Jankiewicz K., Szadkowska Stanczyk I. // *Part II. Med. Pr.* – 2005. – V. 56 (3). – P. 205-211.
27. Lacey J. Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergens / Lacey J., Crook B. // *Ann. Occup. Hyg.* – 1998. – № 32. – P. 515-533.
28. Lopez-Rico R. Cereal alpha-amylase inhibitors cause occupational sensitization in the wood industry / Lopez-Rico R. // *Clinical and Experimental Allergy.* – 1998. – V. 28, № 10. – P. 1286-1291.
29. Madsen A.M. Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at danish biofuel plants / Madsen A. M. // *Annals of Occupational Hygiene.* – 2006. – V. 50, № 8. – P. 821-831.
30. Microbial dustiness and particle release of different biofuels / Madsen A.M., Martensson L., Schneider T., Larsson L. // *Ann Occup. Hyg.* – 2004. – V. 48. (4). – P. 327-338.
31. An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe / Magelli F., Boucher K., Bi H. [et al.] // *Biomass and Bioenergy.* – 2009. – V. 33, № 3. – P. 434-441.
32. Malmros P. Occupational health problems due to garbage sorting / Malmros P., Sigsgaard T., Bach B. // *Waste Manage Res.* – 1992. – V. 10. – P. 227-234.
33. Markandya A. Energy and Health 2 Electricity generation and health / Markandya A., Wilkinson P. // *Lancet.* – 2007 – V. 370. – P. 979-990.
34. Vplyv vyrobnychogho seredovyshha na formuvannja biologhichnogho faktora v umovakh siljsjkoghospodarsjkogho vyrobnyctva / Capko V. Gh., Chudnovec A. Ja., Sterenbogh M. Ju., Papach V. V. // *Ukr. zhurn. z probl. medycyny praci.* – 2014. – # 1. – S. 60-65.

## Аннотация

### Оптимизация основных параметров брикетирования

А.С. Полянский, А.В. Дьяконов, В.И. Дьяконов, Е.С. Скрипник

Представлено статистические материалы, выполненные на основе анализа количественных показателей полиэтиленовых и растительных отходов. Отмечены основные проблемы применения отходов в качестве топлива. Изложены основные результаты исследований и способ эффективного применения отходов полиэтилена в качестве энергонасыщенного компонента и связующего вещества при производстве твердого топлива. Представлено технологическую схему, опытно-промышленную установку

и оборудование, необходимые для реализации способа получения брикетов. Представлена модель технологического процесса с эффективной последовательностью технологических операций и параметры оптимального компонентного состава. Отражены основные факторы, оказывающие существенное структурообразующее влияние на создание структуры твердого многокомпонентного топлива. Дано графическое представление принципа подбора частиц смеси при формировании твердого топлива методом брикетирования с учетом в составе вязких отходов полиэтилена. Представлена зависимость безразмерной концентрации выбросов в атмосферу при сжигании твердого топлива. Приведены практические результаты использования отходов полиэтилена на оборудовании по производству твердого многокомпонентного топлива. Проанализированы данные экономической целесообразности использования твердого многокомпонентного топлива с высокими теплотехническими характеристиками на котельных, работающих на местных видах твердого топлива. Дана перспективная оценка, отмечены актуальность и практическая значимость решения проблемы по эффективному использованию отходов полиэтилена в производстве твердого многокомпонентного топлива.

**Ключевые слова:** *Отходы полиэтилена, отходы древесины, топливные брикеты, биотопливо, твердая многокомпонентная композиция*

## Abstract

### Optimization of the main parameters of the bricking

O.V. Polyansky, O.V. Dyakonov, V.I. Dyakonov, O.S. Skrypnik

The statistical materials, performed on the basis of the analysis of quantitative indices of polyethylene and vegetable wastes, are presented. The main problems of using waste as fuel are noted. The main results of the research and the method of effective use of polyethylene waste as an energy-saturated component and binder in the production of solid fuel are outlined. The technological scheme, experimental production plant and equipment necessary for the implementation of the method of obtaining briquettes are presented. A model of technological process with an effective sequence of technological operations and parameters of optimal component composition is presented. The main factors that have a significant structural effect on the creation of a solid multicomponent fuel structure are reflected. The graphic representation of the principle of selection of particles of a mixture at formation of solid fuel by the method of briquetting taking into account the composition of viscous waste polyethylene is given. The dependence of the dimensionless concentration of emissions into the atmosphere during combustion of solid fuel is presented. The practical results of the use of polyethylene waste on the equipment for the production of solid multicomponent fuel are given. The data of economical expediency of using solid multicomponent fuel with high thermotechnical characteristics on boilers operating on local types of solid fuel is analyzed. This is a perspective assessment, the relevance and practical significance of solving the problem of efficient use of polyethylene waste in the production of solid multi-component fuel is noted.

**Keywords:** *Polyethylene waste, wood waste, fuel briquettes, biofuel, solid multicomponent composition*

#### Бібліографічне посилання / Bibliography link:

Polyansky O.V., Dyakonov O.V., Dyakonov V.I., Skrypnik O.S. Optimization of the main parameters of the bricking // Engineering of nature management, 2019, #2(12), p. 17 - 27.

*Подано до редакції / Received: 19.02.2019*