

ЗМІНА ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІД ЧАС ЗМІШУВАННЯ ПОДРІБНЕНИХ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЯКОСТІ

Д'яконов В.І.¹, Бузіна І.М.¹,
Хайнус Д.Д.¹, Д'яконов О.В.²

¹Харківський національний аграрний університет
імені В.В. Докучаєва
п/в «Докучаєвське – 2», навчальне містечко ХНАУ,
62483, Харківська область

²Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків
nezabudka120187@gmail.com

У роботі проведено оцінку процесу змішування подрібнених рослинних відходів різноманітного походження під час виробництва паливних брикетів підвищеної якості. Показано, що це складне завдання в більшості своїй багатокритеріальне, і звести його до однокритеріального досить тяжко. Необхідно вирішувати компромісну задачу, враховуючи безліч обмежень і вимог. Проаналізовано, що таке завдання зазвичай ускладнюється розмитим характером діючих факторів і вже відомі класичні методи оптимізації найчастіше безсилі. Чим складніше система, тим менша ймовірність знайти для неї оптимальне рішення. Під час проведення досліджень нами був застосований метод прийняття рішень. Слід зазначити, що сучасна теорія прийняття рішень має великий інструментарій у вигляді розвиненого математичного апарату і сучасних обчислювальних алгоритмів. Евристичні прийоми, що включають досвід і інтуїцію, здібності людини до асоціацій і багато іншого, що лежить за межами математики, грають в цій теорії велику, а іноді і вирішальну роль. У роботі наведено розроблену нами модель технологічного процесу з ефективною послідовністю технологічних операцій і параметрами оптимального компонентного складу. Відображено основні чинники, що спричиняють істотний вплив на створення структурної композиції твердого багатоконпонентного палива. З усіх технологічних процесів виробництва паливних брикетів можна виділити процеси подрібнення, змішування і пресування. Змішування подрібнених рослинних відходів є заключним етапом перед пресуванням і багато в чому забезпечує однорідність розподілу компонентів та якість брикету. Визначено оптимальний час змішування суміші для зниження енергоємності процесу і попередження сегрегації. У ході роботи доведено, що на процес змішування впливають властивості матеріалів, які змішуються. *Ключові слова:* відходи поліетилену, відходи деревини, паливні брикети, біопаливо, тверда багатоконпонентна композиція, змішування.

Change of environmental and physical and chemical properties during mixing of fake plant waste in the production of fuel briquetic briquettes. Diakonov V., Buzina I., Khainus D., Diakonov O.

In the work the process of mixing of crushed vegetable waste of various origin during the production of high quality fuel briquettes is evaluated. This has been shown to be a multicriteria task, and reducing it to a single criterion is quite difficult. It is necessary to solve the compromise problem, taking into account many restrictions and requirements. It is analyzed that such a task is usually complicated by the blurred nature of the existing factors and already known classical optimization methods are often powerless. The more complex the system, the less likely it is to find the best solution for it. In our research, we used a decision-making method. It should be noted that the modern theory of decision-making has a large toolbox in the form of advanced mathematical apparatus and modern computational algorithms. Heuristic techniques, including experience and intuition, the ability of man to associate, and much beyond mathematics, play a great, and sometimes decisive, role in this theory. In this paper we have developed a model of technological process with efficient sequence of technological operations and parameters of optimal component composition. The main factors that have a significant influence on the creation of the structural composition of solid multicomponent fuels are reflected. From all technological processes of production of fuel briquettes it is possible to distinguish processes of grinding, mixing and pressing. Mixing of crushed vegetable waste is the final step before pressing and in many respects ensures the uniform distribution of components and the quality of the briquette. The optimum mixing time of the mixture is determined to reduce the energy consumption of the process and prevent segregation. During the work it is proved that the mixing process is influenced by the properties of the materials that are mixed. *Key words:* polyethylene waste, wood waste, fuel briquettes, biofuels, solid multicomponent composition, mixing.

Постановка проблеми та її актуальність. На сьогодні частка біомаси в загальній поставці первинної енергії в Україні займає лише 1,2%. Використання біомаси для вироблення енергії вже зараз становить близько половини всіх відновлюваних джерел енер-

гії у світі, у Європі сягає до 70%, Швеції – 64%, Данії та Австрії – 33%. Біомаса, доступна для отримання енергії в Україні, коливається в межах 100–400 млн. т. у. п. рік – майже незадіяний ресурс, що вимагає інтенсифікації технологічних проце-

сів виробництва паливних брикетів. Вирішення завдання отримання високоякісних паливних брикетів на основі місцевої сировини, а також дослідження фізико-механічних властивостей таких матеріалів має велике наукове і практичне значення [1, 3–5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Напрямок досліджень безпосередньо пов'язаний із визначальною проблемою ресурсоенергозбереження, вирішення якої дає змогу створити якісно новий процес виробництва паливних брикетів, що впливає на енергоефективність виробництва загалом та собівартість продукції паливних брикетів, відбувається економія енергії та сировини за меншого навантаження на екологію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виходячи з теоретичних досліджень виробництва паливних брикетів встановлено що усі стадії виробництва є енергозатратними; особливо великими затратами характеризуються етапи підготовки сировини до брикетування, що впливає на енергоефективність виробництва загалом та собівартість продукції паливних брикетів [1, 3–5]. Основу виготовлення будівельних матеріалів складають будівельні суміші. Процес їх приготування являється одним із найважливіших етапів в технологічному ланцюзі будівництва.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для адекватного описання взаємодії тіл різної природи використовуються загальні співвідношення нелінійної механіки суцільних середовищ (МСС), які базуються на фундаментальних законах збереження імпульсу та балансу механічної енергії, збереження енергії та маси [10]. Це вимагає розробки універсальних нелінійних моделей та методів їх дослідження, які можуть бути побудовані тільки на базі методів чисельного аналізу, орієнтованих на потужну обчислювальну техніку. До найбільш ефективних чисельних методів розв'язання складних реологічних і динамічних задач механіки суцільних середовищ належить метод скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє на базі комп'ютерної техніки моделювати і досліджувати різні технологічні процеси та конструктивні елементи обладнання [8–10].

Новизна. Розробка методики, яка дозволяє визначити оптимальний час змішування подрібнених рослинних відходів для досягнення максимальної однорідності і продуктивності змішувача при мінімальних витратах енергії.

Методологічне або загальнонаукове значення. Інтенсифікація процесу формування брикетної суміші (зв'язування відходів) шляхом створення ефективного змішування брикетної суміші за допомогою високочастотного поля.

Викладення основного матеріалу. Основне призначення змішувального обладнання – забезпечення одержуваної термопластичної композиції необхідної

якості змішування, яка пов'язана з кількісним описом стану суміші. У більшості випадків кожний з розподілених у матриці компонентів суміші можна уявити як множину умовних частинок певного розміру. Як міру відхилення реальної суміші від стану ідеальної використовують такі критерії, як індекс змішування, критерій Лейсі, інтенсивність розділу та коефіцієнт неоднорідності. За допомогою перших двох критеріїв визначають ступінь наближення до граничного технологічно можливого стану випадкової суміші, одержуваної за умови нескінченно тривалого оброблення. Два останні критерії представляють собою порівняння з ідеальним станом суміші – системою з рівномірно розподіленими компонентами.

Нами розроблено та створено дослідну установку прес-автомат для виробництва паливних брикетів на основі НВЧ, яка призначена для визначення характеру змішування компонентів брикетної суміші, а також встановлення впливу досліджуваних параметрів на якість паливних брикетів (рис. 1).

Прес автомат працює наступним чином, 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 виготовлення паливних брикетів дозволяє брикетувати різні деревообробні та сільськогосподарські відходи [1; 4].

Зв'язуюче повинно з'єднувати рослинні відходи, ізолювати від вологи навколишнього середовища і, бажано, мати високу теплоздатність.

Згідно рис. 1. здрібнені рослинні відходи подають у змішувач 1, туди ж подають і зв'язуюче (відходи подрібненого поліетилену) та тиксотропну добавку (розчин шкіряного пилу) із змішувача 2 при такому співвідношенні компонентів, мас. %: сировина рослинного походження – 80, зв'язуюче – 20 (подрібнений поліетилен – 18, шкіряний пил – 2). Компоненти змішують до рівномірного розподілу зв'язуючого та тиксотропної добавки по поверхні часток рослинних відходів.

Після чого вмикають шнековий транспортер 4 і відсувають засувку 3. Попередньо підготовлена суміш з витратного бункера-змішувача надходить в шнековий прес, де ущільнюється та зневоднюється. При переміщенні вологого матеріалу значно падає навантаження на шнек, твердіші частинки втискаються у більш пластичні, пресуються, зменшуються в об'ємі потім переміщуються через конічну формуючу насадку 5 шнекового преса при тиску 20 МПа з утворенням внутрішнього наскрізного поздовжнього отвору в брикеті або без нього. Суміш попадає в тефлонову трубу 6 з отворами, яка проходить через НВЧ-піч 8. Відмова від циклічної сушки в камерах і перехід на безперервний конвеєрний спосіб

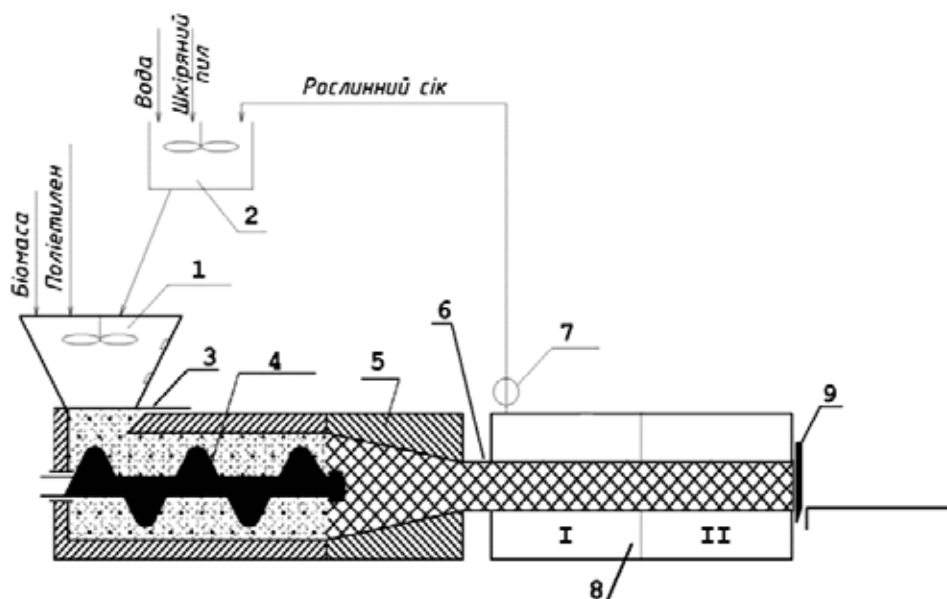


Рис. 1. Прес-автомат гнучкої технології виробництва паливних брикетів: I – перша секція мікрохвильового пристрою на основі системи хвилевідного типу має довжину l_1 , II – друга секція мікрохвильового пристрою (адаптер) на основі уповільнюючої системи довжиною l_2 . 1 – змішувач брикетної суміші; 2 –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

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 термоізолювана 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 тріскаються та розпушуються і тому площа взаємодії біомаси та поліетилену збільшується. 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, що діють на процес. 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. Гранулометричний склад визначається сумарною поверхнею зіткнення пресованих частинок, числом і величиною пор в структурному каркасі палива, змістом гострокутних частинок, рельєфом їх поверхні і наявністю пилових частинок.

У змішувач тиксотропної добавки 2 подається рідина (вода та рослинний сік) та шкіряний пил і шляхом змішування йде на підготовку розчину для змішувача 1.

Сигароподібний висушений брикет виходить з тefлонової труби 6 та розділяється на рівні частини механізмом 9, які потім охолоджують та упаковують. Головна мета функціонування цеху для виробництва паливних брикетів складається, в першу чергу, в отриманні однорідного, за всіма показниками, продукту – брикетної суміші [1–7].

Стадії змішування двох компонентів суміші показано на рис. 2.

Ідеальний розподіл частинок можливий в суміші при відсутності гравітації, де компоненти складаються зі сферичних частинок однакових розмірів і властивостей. Природно, в суміші цього не може бути, тому що суміш компонентів складається з частинок різних розмірів, які мають різні фізико-механічні властивості. Тому на процес їх переміщення впливає величезна кількість факторів, а в малих обсягах змішаного продукту можлива нескінченна різноманітність взаємного розташування частинок. Тому співвідношення компонентів в будь-якій точці суміші випадкова величина [6–9].

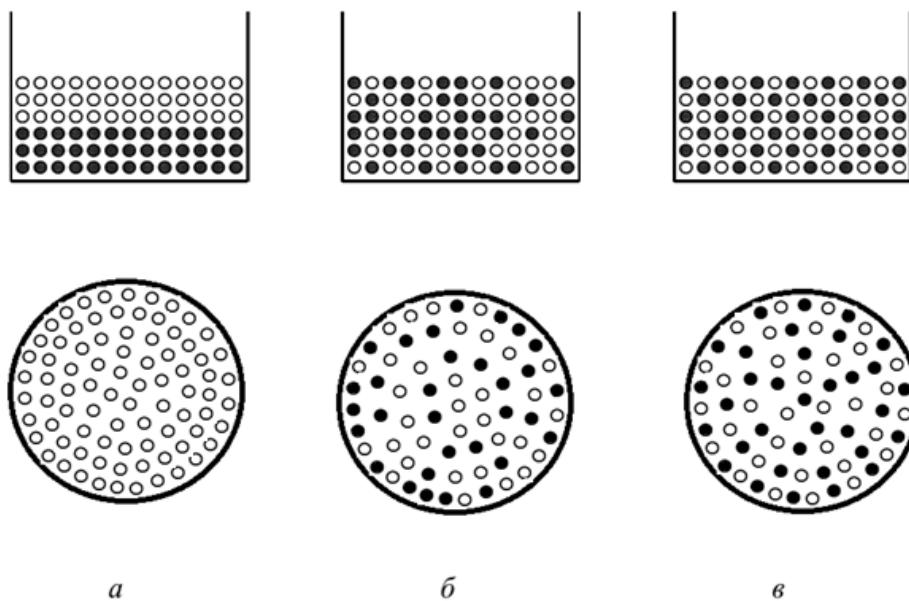


Рис. 2. Стадії змішування двох компонентів: а – вихідний стан; б – статистичний розподіл компонентів в процесі змішування; в – ідеально перемішана суміш (практично не здійсненна)

Для роботи нам необхідно обґрунтувати час, необхідний для змішування брикетної суміші в змішувачі. При цьому необхідно врахувати три критерії оптимальності: θ – коефіцієнт однорідності суміші; A – витрати енергії за період змішування; Q – продуктивність змішувача.

Математичні дані завдання формулюються в такий спосіб:

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt} \rightarrow \max ; \quad (1)$$

$$A = Nt \rightarrow \min ; \quad (2)$$

$$q = \frac{M}{t} \rightarrow \max \quad (3)$$

$$t > 0, k > 0, N > 0, M > 0,$$

де C_0 – початковий коефіцієнт неоднорідності суміші, $C_0 \approx 1$;

k – емпіричний коефіцієнт, що характеризує інтенсивність змішування;

N – потужність встановленого на змішувач електродвигуна;

M – одноразове завантаження змішувача.

Зауважимо, що оптимальності немає ні по одному критерію оптимальності, тобто задача оптимізації не мала б місця при розгляді будь-якого з показників в якості єдиного критерію оптимальності.

В інженерній практиці доводиться мати справу з об'єктами, системами або завданнями, що характеризуються декількома критеріями оптимальності. Як мінімум, потрібно враховувати три критерії:

1) критерій, обумовлений якістю роботи технічного об'єкта (вужче: якість виконання технологічного процесу);

2) критерій, що показує економне витрачання енергії або палива (питома витрата енергії, ККД та т. д.);

3) критерій експлуатаційної продуктивності або пропускної здатності (побічно відображає ряд інших показників, таких як матеріаломісткість, напрацювання на відмову, коефіцієнт готовності і т. д.).

Вибір критеріїв оптимальності являє собою самостійну далеко не формальну процедуру, що залежить від характеру розв'язуваної задачі і особи, що приймає рішення. Складність багатокритеріальних задач полягає в тому, що критерії різномірні (тобто вимірюються в різних одиницях, бувають навіть якісними) [9], оптимум у них не збігаються один з одним (мах-мін). Це означає, що одні критерії необхідно звернути в максимум, інші – в мінімум, а це в принципі неможливо зробити з позицій класичної математики. Багатокритеріальні задачі іноді називають завданнями вибору або прийняття рішень, підкреслюючи тим самим, що останнє слово залишається не за математикою, а за людиною. Справа в тому, що при багатьох критеріях виникає невизначеність цілей, завдання оптимізації.

Аналізуючи багатокритеріальну інженерну задачу, спочатку намагаються звести її до класичної однокритеріальної, тобто згорнути приватні критерії в один комплексний. Запропоновано безліч методів для проведення цієї процедури, але з позиції математики та логіки ці методи, частіше за все, не витримують ніякої критики. Та й зробити таку згортку критеріїв не завжди вдається. Тому найправильніший підхід – вирішувати задачу в первісному багатокритеріальному вигляді.

Можливі рішення багатокритеріальних задач слід шукати серед непокреслюваних варіантів (альтернатив), тобто варіантів, поліпшення яких за одними критеріями призводить до погіршення за іншими критеріями. Найбільш правильний підхід –

вирішувати задачу у первинному багатокритеріальному вигляді.

Проілюструємо це на прикладі двох критеріїв. На рис. 3 область D зображує ті значення критеріїв оптимізації W_1 і W_2 , які відповідають змінній x .

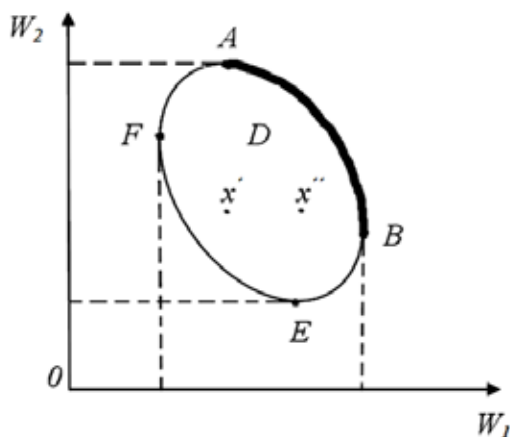


Рис. 3. Множини Парето при опуклій області D допустимих значень x

Крива, що обмежує допустиму область D , є, таким чином, параметрично заданою. Нехай обидва критерія W_1 і W_2 потрібно звернути в максимум, тобто:

$$W_1(x) \rightarrow \max \quad (4)$$

$$x \in D \quad (5)$$

$$W_2(x) \rightarrow \max \quad (6)$$

$$x \in D \quad (7)$$

Візьмемо точку x' всередині області D (рис. 3). Тоді будь-які точки x'' , розташовується правіше. Це буде краще за критерієм W_1 при тому ж критерії W_2 . Значить, цю точку можна поліпшити. І вона вже не може називатися оптимальною в сенсі Парето. Перебравши багато точок в області D , ми приходимо до висновку, що принципу Парето відповідають лише рішення x , що лежать на дузі AB . Якби ми шукали мінімуми за критеріями W_1 і W_2 , то безліччю Парето була б крива EF .

При різномірних умовах, коли один з них потрібно звернути в максимум, а інший в мінімум (або навпаки), множинами Парето є криві AF і BE .

Таким чином, принцип Парето не дозволяє виділити єдине оптимальне рішення. Він допомагає лише звузити клас можливих рішень і виключити з розгляду свідомо неприйнятні варіанти. Остаточний варіант вибирається на основі додаткової інформації та кваліфікації людини, тобто із залученням неформальних процедур. При такому підході виділення ефективних точок Парето є як би першим етапом завдання вибору і прийняття рішення. Множина D носить назву множини досяжності, або множини

граничних можливостей. Множина Парето, яку ще називають областю компромісів, або фронтом Парето, представляє в загальному випадку лише частина кордону множини досяжності. Незважаючи на простоту принципу Парето, він грає одне з основних фундаментальних понять в теорії багатокритеріальних задач. Поняття оптимального за Парето, або ефективного вирішення, є узагальнення поняття точки екстремуму числової функції на випадок декількох функцій-критеріїв оптимальності. Принцип Парето є єдиним обґрунтованим математичним методом розв'язання багатокритеріальних задач [8; 9].

У ряді випадків множина Парето настільки велика, що вибір єдиного варіанта знову не представляється можливим.

У загальному випадку множина досяжності не збігається з множиною Парето (рис. 4) і являє собою при двох умовах плоску замкнуту фігуру. Можливий перетин цих множин при трьох умовах, які необхідно звернути в максимум, показано на рис. 4.

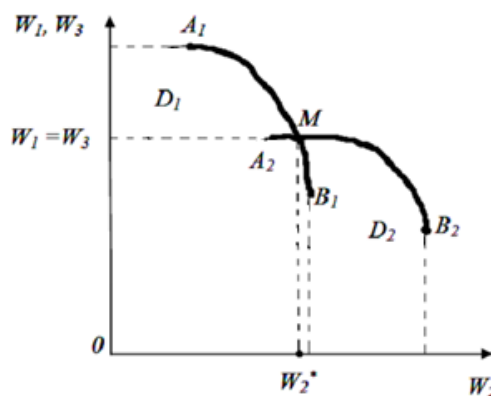


Рис. 4. Перетин двох множин Парето при трьох умовах оптимальності

Критерії W_1 і W_3 повинні бути якимось чином приведені до безрозмірного вигляду. Оскільки всі три критерії необхідно звернути в максимум, то області Парето є північно-східні кордони відповідних множин досяжності. Перетин множин Парето кривих A_1B_1 і A_2B_2 дає загальну точку M . Вона визначає собою оптимальне значення.

Вкупі з умовою $W_1 = W_3$ відшукуються інші необхідні значення параметрів даного завдання.

Умова успішного застосування даного прийому полягає в тому, щоб кожна пара критеріїв повинна бути незалежною. Це означає, що яке б не було значення критерію, співвідношення «корисності» двох інших не змінюються [7].

Приведемо критерій Q до безрозмірного вигляду, оскільки коефіцієнт однорідності суміші носить також безрозмірний вид. Для цього розділимо ліву і праву частини на Qn – паспортну продуктивність змішувача.

Позначаючи $q = Q/Q_n$ багатокритеріальне завдання оптимізації перепишемо у вигляді:

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt} \rightarrow \max ; \quad (8)$$

$$A = Nt \rightarrow \min \quad (9)$$

$$q = \frac{M}{Q_n} \frac{1}{t} \rightarrow \max \quad (10)$$

$$t > 0, k > 0, N > 0, M > 0, Q_n > 0.$$

Утворимо $\{\theta - t\}$ і $\{q - t\}$

$$\theta = 1 - C_0 e^{-kt}; \quad q = \frac{M}{tQ_n} \quad (11)$$

Оптимальну величину t^* (оптимальний час змішування) можна знайти з умови: $\theta = q$, тобто з рівняння:

$$\frac{M}{tQ_n} - 1 + C_0 e^{-kt} = 0 \quad (12)$$

Це рівняння є нелінійним і може бути вирішено одним з чисельних методів. Нами для цієї мети був застосований блок Given-Find програми Mathcad (рис. 5).

При зазначених чисельних значеннях M, Q_n, C_0 і k програма видала результат: $t \approx 1$ хв.

Отже, оптимальний час змішування становить близько 1хв. При цьому досягається однорідність суміші 95%.

Авторам вперше вдалося інтенсифікувати процес формування брикетної суміші (зв'язування відходів) шляхом створення ефективного змішування брикет-

ної суміші, ефекта об'ємного нагріву в матеріалі при допомозі високочастотного поля. Розроблена гнучка НВЧ технологія дозволяє:

- зменшити час технічних циклів в 12 разів;
- економити енерговитрати до 63 %;
- зменшити технологічні площі в 2 рази;
- отримувати якісно новий паливний брикет

з підвищеною міцністю та теплотворною здатністю. Порівняльні дані занесені в табл. 1

Головні висновки. Запропонована методика, особливість якої полягає в побудові двох множин, дозволяє визначити оптимальний час змішування для досягнення максимальної однорідності і продуктивності змішувача при мінімальних витратах енергії.

1. Аналіз існуючих технологій брикетування рослинної сировини показує, що особливу увагу необхідно приділити модулю формування брикету, який найбільш ефективно працює на основі електромагнітних технологій.

2. Запропоновано структуру побудови електромагнітної технології (ЕМТ) із застосуванням надзвичайно високої частоти (НВЧ) виготовлення паливних брикетів з рослинних та деревних відходів на основі зв'язуючого із поліетилену.

3. Встановлено, що доцільним вважається сушіння, при якому швидкість просування вологи з внутрішніх шарів наближається до швидкості її випаровування з поверхні деревини. Таким чином, основним параметром, що визначає тривалість сушіння, є вологопровідність. В досягненні інтенсивного руху вологи усередині матеріалу (з центральної зони до його поверхні) є актуальними для отримання високих техніко-економічних показників процесу сушіння.

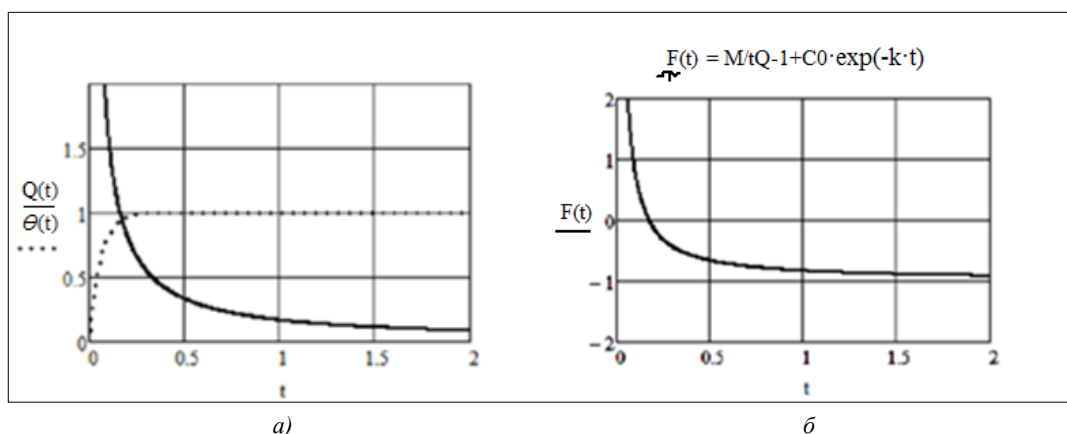


Рис. 5. Суміщений графік двох множин Парето при оптимізації часу роботи змішувача: а) оптимізація змішувача періодичної дії; б) чисельне рішення задачі

Таблиця 1

**Коефіцієнт енергетичної ефективності
різних видів палива**

Вид палива	брикети RUF	Nestro	Pini&Kay	Розроблені	Дизельне паливо	Кам'яне вугілля
Показники	3,9	4,1	4,3	4,8	4,2	4,9

4. Автоматизація запропонованої технології дозволяє забезпечити високий коефіцієнт завантаження устаткування та зниження собівартості продукції. Тривалість мікрохвильової сушки деревини зменшується більш ніж у 10 разів порівняно з традиційною обробкою.

5. Техніко-економічні розрахунки показують, що капітальні вкладення при застосуванні гнучкої поточної біотехнології залежно від кількості модулів збільшуються всього на 5–7% від загальної вартості об'єкта, а пропускна спроможність при цьому підвищується на 50–70%.

6. Доведено, що не тільки технічні, а й економічні переваги гнучких поточкових технологій очевидні.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлена функціональна схема пристрою технологічно та економічно оптимального НВЧ сушіння брикетної суміші при виготовленні паливних брикетів дозволяє повністю автоматизувати процес сушіння брикетної суміші, отримувати брикети вищої якості і мати сумарні затрати і на виробництво паливних брикетів і на сушіння брикетної суміші. Така технологія є економічно привабливою та може бути застосована на підприємствах, які виготовляють паливні брикети, за модернізації наявного та проектування нового обладнання.

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. 136 с.
2. Пат. 117937 Україна, МПК С10L 5/40. Гнучка технологічна лінія для виготовлення паливних брикетів / Дьяконов О.В., Д'яконов В., Полянський О.С., Горобець В.М. Коваленко О.І.; Заявник і патентовласник Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, № 201701568; заявл. 20.02.2017; опубл. 10.07. 2017, Бюл. № 13. С. 6.
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. Вып. 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. Садов, В.В. Экспертная оценка комбикормовых агрегатов на основенечетких множеств / В.В. Садов. – Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2017. № 9(155). С. 179–185.
7. Садов, В.В. Энергосберегающие технологии при производстве комбикормов / В.В. Садов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 кн. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. Кн. 1. С. 291–294.
8. Семенов, С.С. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем / С.С. Семенов и др. М.: ООО «ЛЕНАНД», 2015. 520 с.
9. Семенов, С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: практика применения метода экспертных оценок / С.С. Семенов. М.: Ленанд, 2015. 52 с.
10. Чичур А.І. Стохастичне моделювання параметрів двобального бетонозмішувача примусової дії. Дисертація на здобуття ступеня канд. наук. 05.05.02. «Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій (технічні науки) Київ. 2017. 125 с.