

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ПАВЛЕНКО ОЛЕКСІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ



УДК 621.7.014.8.044-434.1(043.3)

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ
ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО БРИКЕТУВАННЯ ВІДХОДІВ МЕТАЛООБРОБКИ

05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кременчук – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Бичков Ігор Валерійович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри технології виробництва літальних апаратів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Чухліб Віталій Леонідович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», завідувач, професор кафедри
обробки металів тиском;

кандидат технічних наук
Шаповал Олександр Олександрович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського,
доцент кафедри технології машинобудування.

Захист відбудеться «13» грудня 2019 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 45.052.06 у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського за адресою: вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського за адресою: вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600.

Автореферат розіслано « 11 » листопада 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. М. Чебенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Повторне використання металів є одним з важливих шляхів підвищення ефективності сучасної промисловості. Отримання металів зі вторинної сировини потребує значно менших витрат енергії, займає менше часу та різко зменшує обсяги шкідливих викидів у навколишнє середовище. Стружка, що утворюється під час операцій механообробки, є цінною металургійною сировиною. Причому, не зважаючи на те, що у виробництві все ширше використовуються ресурсозберігаючі технології, обсяги стружки продовжують зростати. Це пояснюється економічною недоцільністю її переробки, яка пов'язана з такою специфічною властивістю, як низька насипна щільність. Підвищити якість стружки як металургійної сировини можна шляхом її ущільнення, брикетування в тому числі. Розробка такого обладнання активно ведеться майже в усіх промислово розвинених країнах світу. В більшості випадків процес брикетування використовується для переробки металевих упаковок, бляшанок, сміття тощо. Устаткування, яке використовують для переробки стружки, має певні обмеження по масі брикетів, продуктивності й можливості застосування для переробки міцних матеріалів.

Машина імпульсного брикетування (МІБ), які було розроблено в Харківському авіаційному інституті (нині Національному аерокосмічному університеті «ХАІ») дозволяють подолати названі недоліки. Завдяки великій швидкості деформування стружки ці машини, порівняно з наявними, можуть переробляти міцніші матеріали. Залежно від моделі маса отримуваних брикетів може становити від 20 до 200 кг, а продуктивність досягати 2,5...15 т стружки за годину.

Серед основних недоліків наявних підходів до визначення геометричних, енергосилових, кінематичних й динамічних параметрів машин імпульсного брикетування та технологічних режимів оброблення стружки можна виокремити такі:

- відсутність методик, які б забезпечували визначення потрібної енергії брикетування залежно від характеристик матеріалу стружки без проведення додаткових експериментальних досліджень;

- відсутність методик, за якими можна встановити залежність геометричних, енергосилових, кінематичних і динамічних параметрів машин імпульсного брикетування й технологічних режимів оброблення від характеристик матеріалу стружки;

- відсутність методик визначення відхилень маси паливного заряду залежно від температури навколишнього середовища й камери згоряння імпульсної машини а також рекомендацій для ручного або автоматичного їх коригування з метою стабілізації енергії МІБ при змінюваних температурних умовах.

Таким чином, удосконалення методик і методів розрахунку параметрів обладнання для імпульсного брикетування металеві стружки є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана здобувачем на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у рамках реалізації таких держбюджетних тем: «Методологія системного аналізу й синтезу сучасних інтегрованих технологій точного формотворення поверхонь складної геометрії за допомогою удару твердого тіла і потоків енергії великої густини» (ДР 0100U003448), «Наукові основи створення сучасних

технологічних систем аерокосмічної галузі» (ДР 0103U004094), «Розробка методів інтенсифікації технологічних процесів у виробничих системах наукомістких галузей машинобудування» (ДР 0109U 001115), «Моделювання й розробка елементів технологічних систем виробництва авіаційної і автомобільної техніки» (ДР 0106U001044), «Удосконалення імпульсних технологічних систем виробництва деталей аерокосмічної техніки і автомобільного транспорту» (ДР 0111U001073) та «Розробка математичних і фізичних моделей процесів і оснащення технологічних систем виробництва аерокосмічної техніки і автомобільного транспорту» (ДР 0113U001004).

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності переробки стружки алюмінієвих й титанових сплавів методом імпульсного брикетування, в тому числі у змінюваних умовах навколишнього середовища, шляхом створення методики автоматизованого розрахунку параметрів обладнання й технологічного процесу для його здійснення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання.

1. Проаналізувати процес імпульсного брикетування металеві стружки й розробити методику визначення залежності енергосилових параметрів брикетування від основних характеристик стружки алюмінієвих і титанових сплавів.

2. Дослідити процеси, які відбуваються всередині теплового приводу імпульсної машини й розробити математичну модель її функціонування для визначення основних параметрів устаткування й технологічного процесу з урахуванням властивостей матеріалу, що брикетується.

3. Дослідити фактори навколишнього середовища, що впливають на стабільність енергетичних характеристик імпульсної машини, розробити рекомендації стосовно їх компенсації з метою забезпечення повторюваності результатів процесу брикетування.

4. Розробити принципові технічні рішення зі створення адаптивної автоматичної системи керування машиною імпульсного брикетування для отримання стабільних характеристик брикетів заданої маси.

Об'єкт дослідження – обладнання для імпульсного брикетування металеві стружки.

Предмет дослідження – методи розрахунку параметрів машин імпульсного брикетування металеві стружки, що забезпечують стабільну якість брикетів.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань і отримання основних результатів дисертаційної роботи застосовувалися методи математичного моделювання, числові методи розв'язання задач течії багатокомпонентних газових сумішей з урахуванням процесів горіння й теплообміну, експериментальні дослідження впливу властивостей матеріалу, який брикетується, на енергосилові параметри процесу. Як інструменти дослідження застосовувалися сучасні програми для тривимірного параметричного твердотільного моделювання, прикладні обчислювальні пакети на основі методу скінченних елементів тощо.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі наведено результати комплексу досліджень, спрямованих на вирішення важливого науково-технічного завдання з удосконалення технології й обладнання для імпульсного брикетування стружки алюмінієвих й титанових сплавів. Найбільш вагомими елементами наукової новизни є такі.

1. Набув подальшого розвитку метод визначення енергії брикетування залежно від властивостей матеріала стружки, яка підлягає переробленню. На відміну від наявних підходів, де в емпіричних формулах використовуються коефіцієнти, отримані експериментальним шляхом, для розрахунку енергії машини імпульсного брикетування запропоновано залежність, де як визначальний параметр використовується твердість матеріалу;

2. Запропоновано комплекс математичних моделей для розрахунку кінематичних й динамічних параметрів машин імпульсного брикетування з газо-повітряним приводом односторонньої дії з відокремленою камерою згоряння внутрішнього запирання на базі теорії термодинамічних систем тіла змінної маси;

3. Стосовно задачі розрахунку газоповітряних приводів МІБ вдосконалено модель сумішоутворення, де на відміну від наявних ураховано змінність температури стінок камери згоряння, що дає змогу забезпечити стабілізацію маси паливного заряду при відомій температурі й заданій циклічності роботи.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність дисертаційної роботи становлять такі основні результати.

1. Запропоновано методику розрахунку енергії брикетування, яка не потребує проведення додаткових експериментів.

2. Розроблено комп'ютерну програму моделювання процесів, які відбуваються всередині машини імпульсного брикетування під час робочого циклу. Отримано результати розрахунків енергосилових, кінематичних і динамічних параметрів, а також уточнено геометричні характеристики які в подальшому можуть бути використані при розробленні нових зразків імпульсного устаткування або модифікації вже наявних.

3. Розроблено номограму для визначення тиску горючої суміші з постійною масою незалежно від температур навколишнього середовища й камери згоряння машини імпульсного брикетування.

4. Запропоновано структуру адаптивної автоматичної системи керування імпульсною брикетувальною машиною, упровадження якої забезпечить отримання брикетів стабільної якості незалежно від впливу температур навколишнього середовища.

Результати, наведені в матеріалах дисертації, передано для використання на підприємстві «ХАІ-Сервіс» та науково-виробничій фірмі ПП «ТППТ», м. Дніпро.

Сформовано науково-технічну базу, яка використовується під час виконання наукових досліджень і підготовки фахівців у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Особистий внесок здобувача. У наведеному дисертаційному дослідженні вклад автора полягає в обґрунтуванні загальної концепції роботи; формулюванні мети й завдань дослідження; виборі підходів для вирішення поставлених завдань; розробленні математичних моделей процесів перетворення енергії й теплообміну, розрахунку кінематичних і динамічних параметрів імпульсних машин в процесі робочого ходу. Автору належать основні ідеї дисертаційної роботи, положення, що виносяться на захист, а також загальні висновки й результати.

У статтях, написаних у співавторстві, авторові належить таке:

– виготовлення датчиків, розроблення комп'ютерних програм для передачі

інформації з датчиків стенда на комп'ютер та її автоматизованого оброблення, кінцевий монтаж стенда, проведення експериментів з тарування, аналіз результатів й завершальне тарування стенда [1];

- проведення експериментів, обробка отриманих результатів, їх аналіз й узагальнення [2];

- адаптація запропонованого циклу сумішоутворення до машин імпульсного брикетування, проведення експериментальних досліджень й узагальнення їх результатів [3];

- розроблення удосконаленої ступеневої емпіричної залежності розрахунку питомого зусилля брикетування стружки, де як визначальний параметр використано відносну щільність брикету[4];

- запропоновано використання твердості матеріалу для визначення показників ступенів у емпіричній залежності розрахунку питомого зусилля брикетування стружки алюмінієвих й титанових сплавів[5];

- отримання брикетів з титанових сплавів на машині імпульсного брикетування, оброблення й узагальнення результатів досліджень [6];

- запропоновано розрахункову модель термодинамічних процесів, що відбуваються протягом робочого циклу в приводі машини імпульсного брикетування для визначення корисної роботи, яку здійснює шток-пуансон [7];

- розроблення номограми для ручної компенсації відхилень маси заряду горючої суміші в камері згоряння машини імпульсного брикетування на етапі її прогріву для різних діапазонів температур навколишнього середовища [8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення, розділи й результати роботи доповідалися автором на Міжнародній науково-технічній конференції «Современное состояние использования импульсных источников энергии в промышленности» (м. Харків, 2007 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми створення й забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (м. Харків, 2012 р.), XVIII Міжнародному конгресі двигунобудівників (м. Харків, 2013 р.), Міжнародній конференції «Теоретичні й прикладні аспекти розвитку науки» (м. Київ, 2017 р.), Міжнародній конференції з технічних наук «Modern Methods, Innovations And Experience Of Practical Application In The Field Of Technical Sciences» (м. Радом, Республіка Польща, 2017 р.) а також на наукових семінарах кафедри технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» і кафедри технології машинобудування Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Публікації. Основні результати за темою дисертації викладено у 13 публікаціях, з яких 8 статей, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях України (з них одна без співавторів) й 1 стаття у зарубіжному журналі та 5 тезах доповідей на конференціях.

Структура й обсяг роботи. Дисертація містить анотацію, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Повний обсяг дисертації становить 211 сторінок, у тому числі 84 рисунки, 11 таблиць, основний текст роботи на 154 сторінках, список використаних джерел зі 143 найменувань на 16 сторінках, п'ять додатків на 23 сторінках зі списком публікацій здобувача.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми й наведено загальну характеристику роботи, показано наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів досліджень.

У **першому розділі** виконано оглядовий аналіз сучасного стану ринку металів та показано, що світова потреба в залізі, алюмінії й титані, які є основними матеріалами у машинобудуванні і авіабудуванні зокрема, має тенденцію до неуклінного зростання на період до 2050-2100 років. Зазначається, що сучасна структура видобутку й використання металургійної сировини може призвести до її вичерпання вже у найближчі 70-100 років. Основним чинником, який може порушити цю тенденцію є ширше використання вторинних металів. Відзначається, що одним з розповсюджених видів вторинної сировини є металева стружка, яка утворюється при механообробці. Однак її переробка у вихідному стані є економічно не вигідною через дорожнечу зберігання й транспортування, високі витрати енергоресурсів на переплавлення, низький вихід кінцевої продукції тощо. Використання стружки в ущільненому (збрикетованому) вигляді вирішує ці проблеми.

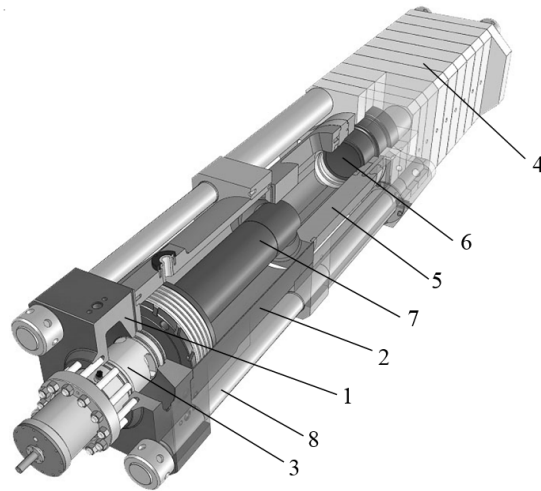
Аналіз сучасного світового ринку показав, що багато компаній займається розробкою й реалізацією обладнання для брикетування з механічними (електричними) або гідравлічними приводами. Встановлено, що таке обладнання має певні обмеження по типу сировини, яка переробляється, її фракції й, у більшості випадків, має відносно невелику продуктивність. Виявлено, що машини імпульсного брикетування, які розроблено у Харківському авіаційному інституті (рис. 1), мають переваги над механічним й гідравлічним обладнанням, дозволяють ефективно та з високою продуктивністю переробляти металеву стружку на брикети.

Показано, що одним з чинників, який ускладнює процес проектування МІБ, є необхідність попереднього визначення енергії, яку слід прикласти до масиву стружки щоб отримати якісний брикет. Для уточнення цього параметру для конкретного виду стружки потрібно проводити натурні експерименти, що не припустимо при використанні таких машин на серійних підприємствах.

Аналіз наукових робіт з дослідження енергосилових параметрів МІБ виявив, що для цього використовувалася здебільшого модифікована теорія роботи звичайного двигуна внутрішнього згоряння, яка, з огляду на специфічність конструкції та процесу перетворення енергії в імпульсній машині, давала лише попередні значення енергетичних параметрів теплового приводу.

Аналіз умов, за яких функціонує обладнання імпульсного брикетування показав, що використання простої та надійної системи наповнення машини горючою сумішшю, де контроль за дозуванням її компонентів ведеться за тиском, має істотний недолік – маса горючого газу залежить від температури камери згоряння й навколишнього середовища. Це призводить до нестабільності енергії паливного заряду і, як слідство, низької якості отриманих брикетів.

Тому, під час прогріву машини від температури навколишнього середовища на початку роботи, слід цикл від циклу коригувати склад горючої суміші. Для вирішення цих проблем у розділі сформульовано мету й задачі дослідження.



1 – камера згоряння; 2 – циліндр розширення;
3 – запірно-перепускний пристрій; 4 – шабот; 5 – контейнер;
6 – ковадло; 7 – шток-пуансон; 8 – стяжні колони

Рисунок 1 – Схема горизонтальної машини імпульсного брикетування

Основні положення роботи спираються на фундаментальні дослідження видатних учених, які зробили значний внесок у теорію і практику процесів обробки металів тиском в тому числі імпульсними методами: Алієва І. С., Баглюка Г. А., Громова Н. П., Драгобецького В. В., Кононенко В. Г., Огороднікова В. А., Рея Р. І., Піхтовнікова Р. В., Попова Е. А., Сторожева М. В., Титова В. А., Трішевського О. І., Унксова Є. П., Фролова Е. А. та інших.

Основні наукові результати, наведені в першому розділі, опубліковано в роботах [3, 6, 9, 10, 11].

У **другому розділі** роботи вибрано напрямки досліджень які умовно можна поділити на такі: вивчення процесу брикетуємості стружки на базі експериментальних даних й розробка методики, що дозволяє прогнозувати значення зусилля брикетування для широкого спектру матеріалів; дослідження термодинамічних процесів, що перетікають всередині брикетувальної машини під час робочого ходу та створення математичних моделей процесу, що дозволяє на базі отриманого зусилля брикетування визначати як її характеристики так й технологічні параметри процесу; дослідження впливу факторів навколишнього середовища на енергію машини імпульсного брикетування й розробка практичних рекомендацій з її стабілізації. Як методи теоретичних досліджень запропоновано розроблення та числова реалізація математичних моделей процесів а також інженерний аналіз методом скінченних елементів. Експериментальні дослідження з наступною обробкою й аналізом пропонується вести на спеціально виготовленому комп'ютеризованому лабораторному брикетувальному стенді.

У **третьому розділі** роботи удосконалено метод розрахунку енергосилових параметрів імпульсного брикетування стружки алюмінієвих й титанових сплавів. Експериментальні дослідження брикетуємості стружки з однаковою фракцією проводилися з використанням тієї ж матриці, що забезпечувало рівну відносну насипну щільність, і як результат – рівну початкову висоту стовпа стружки незалежно від матеріалу. Об'єктом дослідження була стружка алюмінієвих сплавів Д16Т, АК8, В95 (усі за ГОСТ 4784-97), АЛ3, АЛ9, АЛ10 (усі за ГОСТ 1583-93) й титанових

сплавів ВТ1, ВТ8, ВТ5 (усі за ГОСТ 19807-91). Зведений графік експериментальних результатів брикетування наведено на рис. 2.

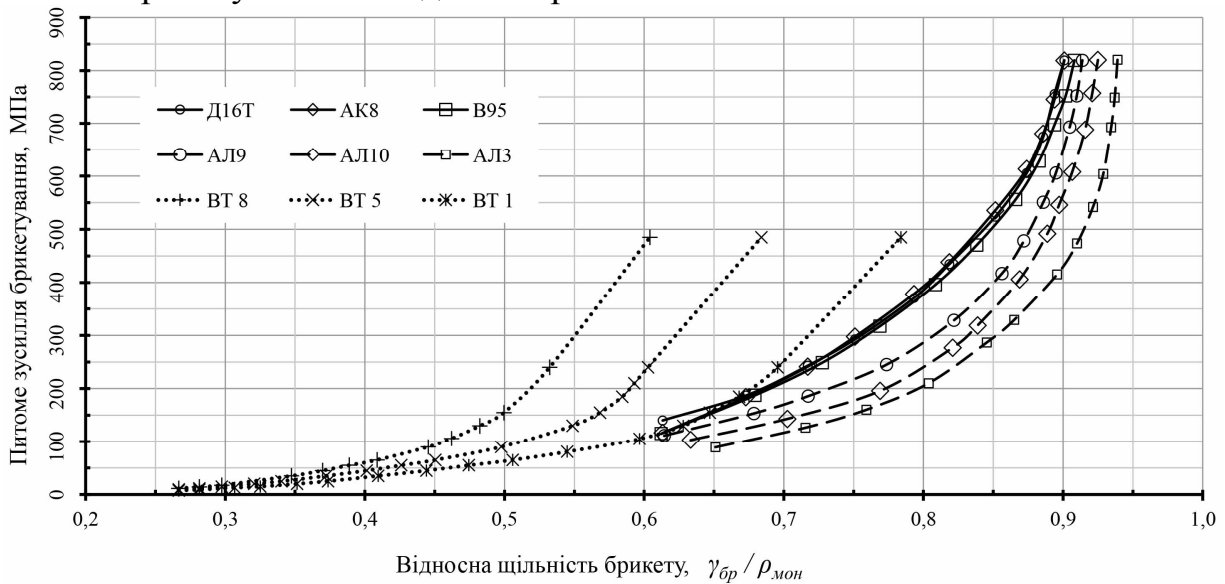


Рисунок 2 – Зведений графік результатів брикетування металеві стружки

Для визначення питомого зусилля брикетування запропоновано удосконалену степеневу залежність, де на відміну від раніш використовуваних враховується змінність щільності брикету в усьому діапазоні можливих значень:

$$P_{бр} = k \cdot \left[\left(\frac{\gamma_n^0}{(1 - \gamma_n^0)} \right)^n + \left(\frac{\gamma_i^0 - \gamma_n^0}{(1 - \gamma_n^0) \cdot (1 - \gamma_i^0)} \right)^n \right], \quad (1)$$

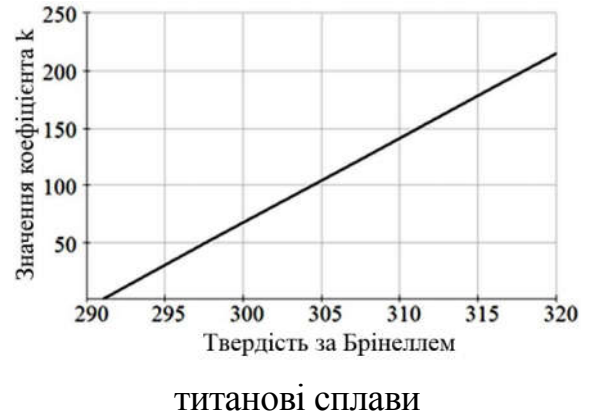
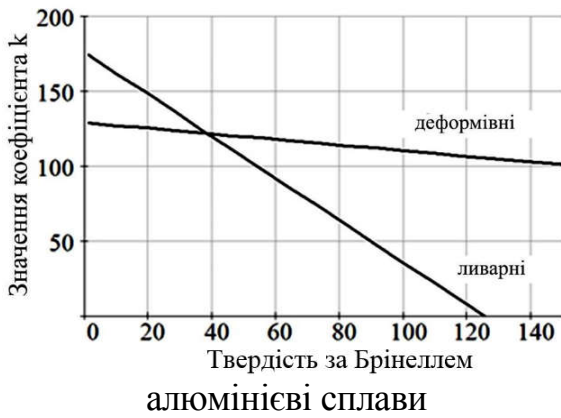
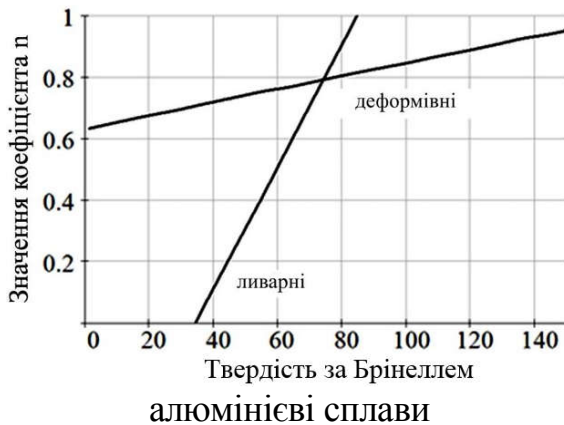
де $\gamma_i^0 = \frac{\gamma_i}{\rho_m}$; $\gamma_n^0 = \frac{\gamma_n}{\rho_m}$; γ_n – початкова (насипна) щільність стружки; ρ_m – густина монолітного матеріалу; γ_i – поточна щільність брикету.

Для подальшого розгляду досліджувані матеріали було розділено на три групи: перша – алюмінієві сплави деформівні; друга – алюмінієві сплави ливарні; третя – титанові сплави. Для вказаних груп металів шляхом обробки експериментальних даних методом найменших квадратів були визначені коефіцієнти k та n в залежності (1). За цими даними був встановлений їх зв'язок з фізико-механічними властивостями відповідних матеріалів, який показав, що значення коефіцієнтів k та n для досліджених груп матеріалів лінійно залежать від твердості (рис. 3, 4).

Остаточно для розрахунку питомого зусилля брикетування для стружки алюмінієвих й титанових сплавів запропоновано залежність у вигляді

$$P_{нт} = (a_k \cdot HB + b_k) \cdot \left[\left(\frac{\gamma_n^0}{(1 - \gamma_n^0)} \right)^{(a_n \cdot HB + b_n)} + \left(\frac{\gamma_i^0 - \gamma_n^0}{(1 - \gamma_n^0) \cdot (1 - \gamma_i^0)} \right)^{(a_n \cdot HB + b_n)} \right], \quad (2)$$

де a_k , b_k , a_n , b_n – коефіцієнти апроксимуючих прямих k й n для відповідної групи матеріалу; HB – твердість матеріалу стружки, що брикетується; γ_n^0 – відносна насипна щільність стружки, що брикетується; γ_i^0 – відносна щільність брикету, яку необхідно досягти.

Рисунок 3 – Графік залежності коефіцієнта k від твердості стружкиРисунок 4 – Графік залежності коефіцієнта n від твердості стружки

Повне зусилля брикетування для динамічного характеру навантаження, за яким далі визначаються конкретні параметри обладнання для імпульсного брикетування розраховуватиметься за формулою

$$P_{бр}^{дин} = k_v F P_{нт},$$

де k_v – коефіцієнт динамічності, F – площа брикету. Запропонована формула дозволяє надати рекомендації з визначення необхідної енергії теплового приводу для його проектування, а також відкриває можливості для математичного моделювання кінематичних, динамічних, геометричних й інших параметрів машин імпульсного брикетування в CAD/CAE системах. Графік з нанесеними експериментальними та вирахованими за уточненою формулою теоретичними значеннями питомого зусилля брикетування від відносної щільності для алюмінієвого сплаву Д16Т наведено на рис. 5.

Основні наукові результати, наведені в третьому розділі, опубліковано в працях автора [1, 4, 5].

У четвертому розділі дисертаційної роботи наведено результати досліджень процесів, які відбуваються у тепловому приводі імпульсної машини та розроблено математичну модель для визначення кінематичних й динамічних характеристик її елементів, а також параметрів технологічного процесу з урахуванням властивостей матеріалу, який брикетується.

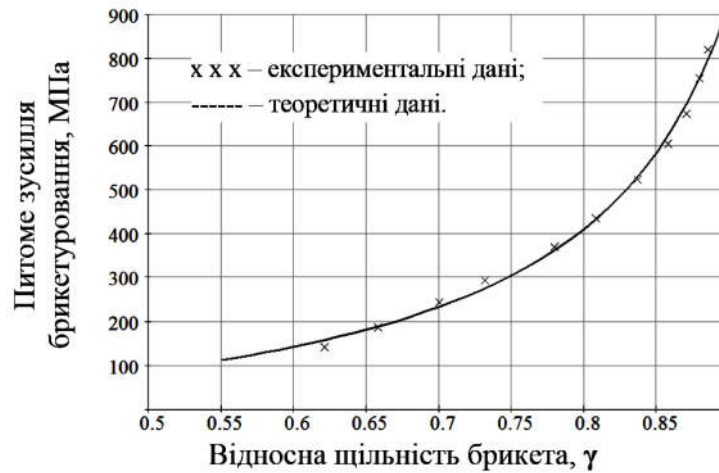


Рисунок 5 – Результат розрахунку питомих зусиль брикетування за уточненою формулою

Проведено аналіз існуючих методів розрахунку машин імпульсного брикетування й виявлено їх недоліки. Досліджено термодинамічний цикл МІБ, визначено особливості, що не дозволяють застосувати для його розрахунку рівняння класичної теорії термодинаміки. Для розрахунку характеристик імпульсних машин обґрунтовано необхідність застосування термодинамічної теорії тіла змінної маси.

Процеси, що перетікають в МІБ пов'язано зі зміною тиску в камері згоряння (КЗ) й циліндрі розширення (ЦР) та відповідними переміщеннями клапана запірно-перепускного пристрою (ЗП) й шток-пуансона машини. Для опису поведінки рухомих частин робочий цикл було поділено на декілька етапів: перший – наповнення КЗ горючою сумішшю, коли перепускний клапан знаходиться в закритому положенні, усі конструктивні елементи нерухомі; другий – горіння суміші в постійному об'ємі, який закінчується початком руху клапана; третій – рух клапана, на якому виділено два проміжних відрізка, що пов'язано зі зміною площ, на які діє тиск продуктів згоряння; четвертий – перетікання продуктів згоряння до циліндру розширення; п'ятий – гальмування клапану тиском гідроаккумулятора, а шток-пуансона – під час брикетуванні стружки. Для кожного з етапів, на яких переміщуються рухомі частини, складено системи рівнянь на основі теорії термодинамічних систем тіла змінної маси, які дозволяють розрахувати основні параметри МІБ: тиск та температуру в окремих порожнинах, швидкості та прискорення рухомих частин.

Ці рівняння записані виходячи з загальної системи диференціальних рівнянь, які описують МІБ як термодинамічну систему тіла змінної маси

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dp_{\kappa}}{dt} &= -\frac{k-1}{V_{\kappa}} \Pi G + \frac{dQ_{\kappa}}{dt}; & \frac{d\gamma_{\kappa}}{dt} &= -\frac{G}{V_{\kappa}}; \\
 \frac{dp_{\psi}}{dt} &= \frac{k-1}{V_{\psi}} (\Pi G - \Pi_{\psi} G_{\psi} + \frac{dQ_{\psi p}}{dt} - \frac{k}{k-1} p_{\psi} \frac{dV_{\psi}}{dt}); \\
 \frac{d\rho_{\psi}}{dt} &= \frac{1}{v_{\psi}} (G - G_{\psi} - \rho_{\psi} \frac{dv_{\psi}}{dt}); \\
 \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{m_{\text{зг}}} [(p_{\psi} - p_a) S_n - N]; & \frac{dX}{dt} &= v,
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де p_k, p_u – абсолютний тиск у камері згоряння й циліндрі розширення; $k = C_p/C_v$ – коефіцієнт відношення теплоємності газу при постійному тиску до теплоємності при постійному об'ємі; $V_k = const$ – об'єм камери згоряння; Π – надходження енергії з одним кілограмом газу до циліндру розширення; G – секундне масове надходження газу до циліндру розширення; γ_k – питома вага продуктів згоряння в камері згоряння; p – тиск у циліндрі розширення; V_u – об'єм циліндру розширення; Π_e – витрата енергії з одним кілограмом газу внаслідок витоків у проміжки між циліндром розширення й шток-пуансоном; G_e – секундна масова витрата газу (витоку) у проміжки між циліндром розширення й шток-пуансоном; dQ/dt – утрати тепла внаслідок конвективного теплообміну крізь стінки камери згоряння й циліндру розширення відповідно; $m_{зв}$ – зведена маса імпульсної машини; v – швидкість зведеної маси; p_a – тиск навколишнього середовища; S_n – площа поперечного перерізу шток-пуансона; N – навантаження на шток-пуансон; X – координата центру мас системи.

Розв'язання системи (3) на кожному з етапів робочого циклу проводилось чисельно методом Ньютона. Розрахунки проводилися на прикладі машини імпульсного брикетування типу МІБ 4136, для якої при попередніх дослідженнях експериментально було визначено динамічні параметри (швидкість переміщення й хід клапана ЗП, швидкість і величина відкочування корпусу та деякі інші). Для цього в якості вихідних даних прийняті геометричні розміри машини, характеристики стехіометричної горючої суміші, експериментальні дані процесу її горіння. В результаті розрахунку отримано уточнені геометричні, динамічні й кінематичні параметри відкриття ЗП, які добре узгоджуються з відомими експериментальними значеннями. Максимальна розбіжність між розрахунковими й експериментальними даними склала 12...15 %, що задовольняє необхідної точності моделювання.

Якісну картину зміни розрахункових параметрів відкриття ЗП графічно надано на рис. 6. При цьому зроблено масштабування по осі ординат, а значення параметрів умовно не показано.

Злами у вершинах деяких графіків пояснюються тим, що виведення результатів розрахунків йде дискретно, а максимальні значення розрахункових величин можуть досягатися в проміжках між кроками дискретизації. Це жодним чином не відображає реальну точність розрахунків, а для подолання цього недоліку слід лише зменшити крок видачі результатів. В ході проведення числових експериментів визначено, що основними факторами, які впливають на ефективність перетворення підведеної теплової енергії на роботу формоутворення брикету при інших

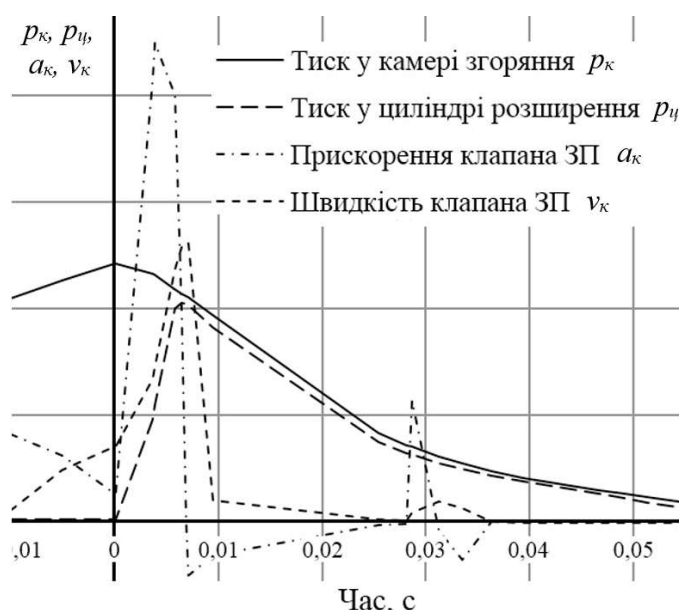


Рисунок 6 – Розрахункові параметри відкриття запірно-перепускного пристрою

рівних умовах є початковий тиск горючої суміші, діаметр перепускного отвору й хід шток-пуансона. При цьому збільшення початкового тиску горючої суміші або ходу шток-пуансона призводять до збільшення енергії, що розвивається обладнанням для брикетування, його ККД в першому випадку зменшується, у другому – зростає. Встановлено вплив діаметра перепускного отвору на параметри обладнання для брикетування. Збільшення діаметра веде до різкого зростання маси обладнання, зменшення – до зниження ефективності перетворення теплової роботи в механічну.

Оцінку ефективності устаткування для брикетування запропоновано проводити за співвідношенням значень ККД ідеального циклу й ККД реального обладнання, отриманих в результаті розрахунку за розробленою програмою. Чим ближче це співвідношення до одиниці – тим ефективніше обладнання. Запропонований алгоритм розрахунку може бути використано при модернізації вже існуючого устаткування з метою наближення його ефективності до максимально можливої за рахунок раціоналізації технологічних параметрів процесу брикетування.

Основні наукові результати, наведені у четвертому розділі, опубліковано в працях автора [2, 7].

У **п'ятому розділі** досліджено фактори, що впливають на стабільність енергії імпульсної машини та визначено можливості їх компенсації, що забезпечувало б повторюваність результатів процесу брикетування. Розроблено принципові технічні рішення зі створення адаптивної автоматичної системи керування машиною імпульсного брикетування для отримання стабільних характеристик брикетів заданої маси.

Стабілізація енергії МІБ забезпечується точністю дозування компонент горючої суміші й однорідністю суміші після їх змішування в камері. У раніше виконаних роботах, присвячених проектуванню приводу імпульсних машин не розглядалися питання формування суміші з урахуванням процесів теплообміну між газами, що подаються в камеру згоряння й стінками камери.

Задача стабілізації енергії МІБ розв'язувалась чисельно у тривимірній нестационарній постановці, що потребувало використання числового моделювання. Для опису процесу сумішоутворення в камері згоряння імпульсної брикетувальної машини використано модель однофазної двокомпонентної течії. Для числового визначення параметрів течії застосовувалася система рівнянь Нав'є – Стокса, що описує закони збереження маси, імпульсу й енергії нестационарної просторової течії. Для визначення концентрації горючого газу в суміші система рівнянь доповнювалася рівнянням концентрації. Система рівнянь опису газової течії замикалася моделлю турбулентності. Зважаючи на урахування процесів теплообміну зі стінками в якості такої моделі було використано SST-модель турбулентності. Одержані значення теплових потоків на поверхні камери використовувалися для розрахунку температур стінок камери й горючої суміші.

Моделювання сумішоутворення в камері МІБ проводилося для чотирьох значень температур навколишнього середовища в діапазоні, що дещо перевищує температури, характерні для кліматичного поясу України: 253К (-20°C), 273К (0°C), 293К (+20°C), 313К (+40°C).

На рис. 6 наведено результати моделювання для випадку контролю наповнення за умови постійної маси заряду. В ході розрахунків варіювалася температура внутрішньої поверхні камери згоряння брикетувальної машини.

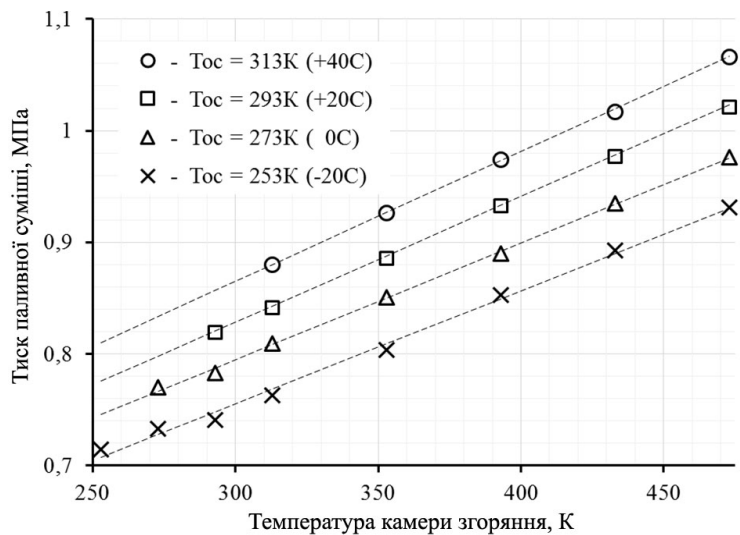


Рисунок 6 – Залежність тиску суміші від температури стінки камери при контролі наповнення за масою заряду

Результати моделювання показали, що при змінні початкової температури стінок в зазначених межах, наповнення камери згоряння з контролем за тиском горючої суміші (тобто за принципом, реалізованим в попередніх розробках МІБ), може призводити до відхилення маси горючого газу до 30 % від номінальної.

Окрім того показано, що розташування отворів подачі газу й повітря поблизу конічної частини камери згоряння призводить до того, що струмінь газу, який подається, після контакту з конічною стінкою утворює вихори як навколо осі камери, так і впоперек до ліній течії. Симетричне двостороннє розташування каналів подачі компонент веде до того, що після закінчення подачі горючого газу в камеру, в якій триває вихровий рух газів, з іншої сторони подається струмінь повітря, що утворює вихорі в зворотному напрямку. Така організація подачі компонент сприяє активному перемішуванню суміші й забезпечує рівномірність її складу за об'ємом камери з середньоквадратичним відхиленням не більш ніж 5%. Цей показник може бути зменшений за рахунок додаткової витримки суміші перед запалюванням. Розроблене програмне забезпечення дозволяє визначити час витримки виходячи з заданої величини середньоквадратичної похибки компонентного складу горючої суміші.

Температура поверхні камери згоряння при експлуатації залежить від циклічності роботи й енергії, що розвивається приводом МІБ. Залежно від цих параметрів, а також температури навколишнього середовища за деякий час камера виходить на квазістаціонарний тепловий режим, коли кожен наступний цикл наповнення відбувається при стабільному значенні температури внутрішньої поверхні камери.

Залежність температури внутрішньої поверхні від режиму й циклічності роботи, а також умов експлуатації є ще однією з регульовальних характеристик для налаштування системи управління сумішоутворенням МІБ. Завдання побудови такої характеристики відбувалася у два етапи. На першому визначалася величина усередненого по поверхні камери й за часом теплового потоку, який виникає у результаті теплообміну продуктів згоряння зі стінками камери. На другому етапі досліджувався процес прогріву камери з параметрами, отриманими в результаті розв'язання попередньої задачі. Для визначення теплових потоків при згорянні горючої суміші розв'язувалась задача горіння попередньо перемішаної горючої суміші. При

моделюванні виділялося три ділянки границі. На внутрішній поверхні задавалася періодична дія рівномірно розподіленого теплового потоку з певною на першому етапі тривалістю й інтенсивністю. В решту часу відбувалося відведення тепла за рахунок конвекції. Відведення тепла шляхом випромінювання не враховувалося через взаємне перевипромінювання внутрішніх поверхонь камери. На зовнішній поверхні камери відведення тепла відбувалося за рахунок конвекції й випромінювання. На поверхні сполучення камери з іншими конструктивними елементами машини задавалася умова сталості температури.

Типова діаграма зміни усередненої температури внутрішньої поверхні камери на циклах нагрівання-охолодження наведена на рис. 7. При тривалій роботі МІБ від циклу до циклу температура камери збільшується доти, доки не виходить на квазістаціонарний режим, для якого поглинене за час нагрівання тепло дорівнює тому, що віддається за час охолодження.

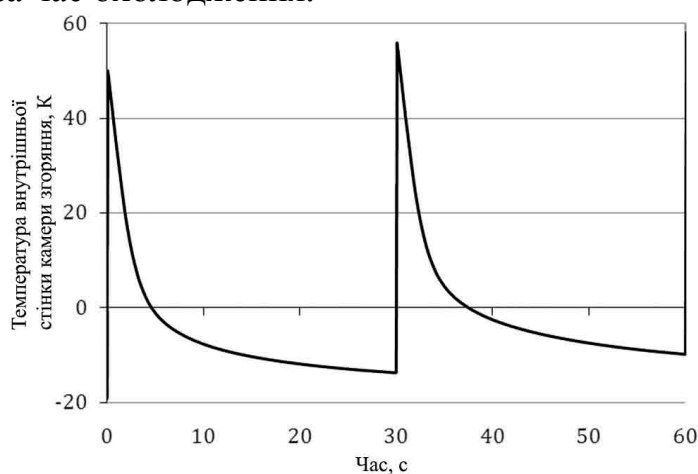


Рисунок 7 – Типова залежність зміни усередненої температури внутрішньої поверхні камери при роботі МІБ

З точки зору стабілізації енергії камери згоряння основним параметром, що визначається при моделюванні процесу прогріву камери МІБ, є температура внутрішньої стінки камери на початку наповнення камери сумішшю. Характерні залежності зміни цієї температури за часом наведено на рис. 8. Аналіз зміни прирощення температури стінки від часу показує, що незалежно від температури навколишнього середовища камера МІБ виходить на квазістаціонарний режим приблизно після 60 циклів нагрівання.

Спільне використання отриманої залежності тиску суміші від температури стінки камери при манометричному контролі наповнення й залежності температури внутрішньої поверхні камери згоряння від часу роботи МІБ дозволило отримати номограму для коригування тиску горючої суміші в залежності від порядкового номера робочого циклу й температури навколишнього середовища за умови сталості маси порції горючого газу, що подається в камеру згоряння брикетувальної машини.

Вірність результатів цих теоретичних досліджень було підтверджено практично на дослідно-промисловому стенді імпульсного брикетування підприємства «ХАІ-Сервіс» громадської організації «Міжнародна асоціація випускників ХАІ».

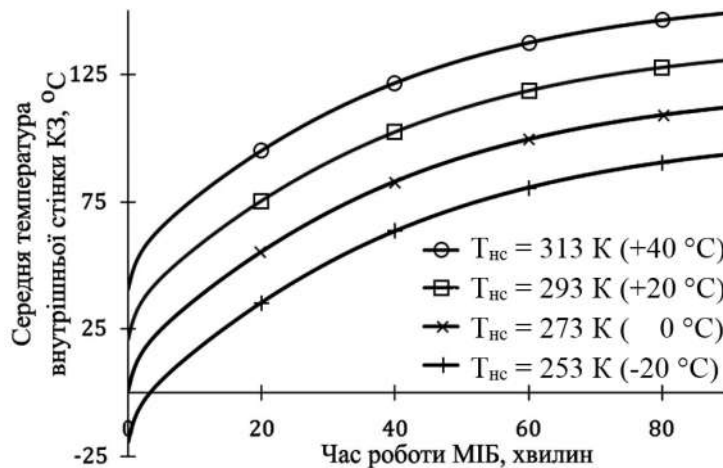


Рисунок 8 – Залежність температури внутрішньої поверхні камери згоряння від часу роботи

Роботи проводилися коли температура навколишнього середовища стабілізувалася на рівні мінус 12...14 °С. Температура машини імпульсного брикетування на початку експерименту дорівнювала температурі навколишнього середовища. Тиск горючої суміші цикл від циклу коригувався за допомогою запропонованої номограми. В результаті розшарованих брикетів й тих, що мали значні розтріскування, було отримано 5,8% від загальної кількості. Після вимірювання кінцевої висоти якісних брикетів й розрахунку їх результуючої щільності виявлено, що розкид склав 12...14 %. Абсолютне значення щільності задовольняє як вимоги замовника так й вимоги міцності. Споживання природного газу знизилося на 6,3 % у порівнянні зі стійким режимом.

Устаткування для імпульсного брикетування стружки використовувалося на брикетувальній ділянці науково-виробничої фірми ПП «ТППТ», м. Дніпро.

Виявлено, що робота оператора, особливо у нестабільних умовах, потребує високої концентрації уваги й швидко викликає втоми. Саме цьому в системі «машина – людина» оператор є слабкою ланкою, яка підвищує вірогідність отримання бракованої продукції. Вилучити вплив людського чинника на процес прийняття рутинних рішень, підвищити якість кінцевої продукції й полегшити умови праці оператора можна завдяки розробці й впровадженню автоматизованої системи керування, яка забезпечить поточний моніторинг технологічних параметрів брикетування з використанням гнучких адаптаційних алгоритмів управління системою дозування енергії. Запропоновано комплекс математичних моделей процесу ущільнення стружки й функціонування машини імпульсного брикетування який дає змогу розробити адаптивну систему керування, яка в автоматичному режимі відслідковуватиме поточні параметри роботи як брикетувального комплексу так і навколишнього середовища, та на їх базі формуватиме коригуючі команди для наступного циклу. Для цього дільниця й брикетувальна машина оснащується рядом датчиків: температури, які відслідковують температуру навколишнього середовища, горючого газу, стисненого повітря й камери згоряння; тиску, які виміряють тиск у паливній магістралі, тиск стисненого повітря та тиск у камері згоряння під час її наповнення; маси, який контролює процес завантаження стружки до контейнера; датчики ходу шток-пуансона та вихідного положення імпульсної машини. Додатково може встановлюватися газоа-

налізатор для визначення реального складу горючого газу.

Адаптивна система керування діє за наступним алгоритмом. Перед початком роботи оператор вносить до блоку керування інформацію щодо марки матеріалу стружки, яка буде оброблятися, запланованої маси й щільності брикета. Далі, на базі запропонованої методики визначення енергії брикетування, згідно до інформації з внутрішньої бази даних матеріалів, система розраховує енергію, потрібну для задоволення цих вимог. Після цього з урахуванням поточного значення температур навколишнього середовища, горючого газу, стисненого повітря й камери згоряння визначаються потрібні тиски компонентів стехіометричної горючої суміші, які забезпечать розрахункове значення енергії брикетування для поточного циклу. Після перевірки, чи знаходяться імпульсна машина й шток-пуансон у вихідному положенні, блок керування дає команду на початок наповнення камери згоряння компонентами горючої суміші та контейнера порцією стружки заданої маси, по закінченні чого подається команда на початок робочого циклу. За максимально можливим теоретично й вимірним реальним ходом шток-пуансона визначається кінцева висота й розраховується результуюча щільність брикету. Цей параметр є визначальним для оцінювання якості брикету. Одночасно з аналізом якості отриманого брикета система керування видає команди виконавчим механізмам на повернення рухливих частин імпульсної машини у вихідне положення, під час чого відбувається вилучення брикета з робочої області та його переміщення до місця складування. Поточне значення щільності брикету порівнюється із заданим. Якщо щільність недостатня, система видає команду на корекцію енергії брикетування за рахунок зменшення тиску горючої суміші на величину, що обчислено за запропонованим алгоритмом. В разі, коли щільність брикета замала, подається команда на збільшення тиску горючої суміші за аналогічною процедурою. Кінцевий перерахунок тиску горючої суміші ведеться з урахуванням температури навколишнього середовища, камери згоряння машини й маси нової порції стружки. Саме таким чином забезпечується стабільна якість брикету.

Основні наукові результати, наведені в п'ятому розділі, опубліковано в працях автора [8, 12, 13].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведено комплекс досліджень, спрямованих на вирішення важливого науково-технічного завдання створення методики автоматизованого розрахунку параметрів обладнання й технологічного процесу імпульсного брикетування стружки алюмінієвих й титанових сплавів з забезпеченням стабілізації якості брикета у змінюваних умовах навколишнього середовища. В результаті виконання роботи отримано такі результати.

1. Набула подальшого розвитку методика розрахунку енергосилових параметрів брикетування стружки на основі оброблення експериментальних даних, де на відміну від раніше запропонованих, як визначальний параметр використовується значення твердості стружки, що брикетується, який можна отримати за стандартними методиками.

2. Уперше розроблено комплексну математичну модель функціонування

машини імпульсного брикетування з газоповітряним приводом односторонньої дії з відокремленою камерою згоряння внутрішнього запирання на базі теорії термодинамічних систем тіла змінної маси, яка дає змогу розрахунковим шляхом визначити параметри, а саме швидкість шток-пуансона, швидкість клапана запірно-перепускного пристрою, прискорення корпусу імпульсної машини тощо. Запропонована математична модель забезпечує урахування особливостей енергомасообміну між камерою згоряння й циліндром розширення імпульсної машини на усіх етапах робочого циклу машини імпульсного брикетування залежно від змінення енергії брикетування.

3. Удосконалено математичну модель процесу наповнення камери згоряння машини імпульсного брикетування, у якій на відміну від наявних враховано змінність температури стінок камери згоряння, що дає змогу забезпечити стабілізацію заряду горючої суміші при відомій температурі й заданій циклічності роботи як у ручному так й автоматичному режимах роботи. Уперше розроблено алгоритм розрахунку температури камери згоряння машини імпульсного брикетування під час її прогріву залежно від циклічності й температури навколишнього середовища. Отримані перехідні регулювальні криві для системи управління забезпечують стабілізацію енергії брикетування з розкидом від циклу до циклу не більше, ніж на 4...6 %. Для ручного режиму роботи машини імпульсного брикетування розроблено практичні рекомендації у вигляді номограм розрахунку параметрів наповнення камери згоряння компонентами горючої суміші.

4. На основі запропонованих моделей й методик розроблено алгоритм будування адаптивної автоматичної системи керування, який забезпечує стабільну якість брикету незалежно від змінення умов навколишнього середовища, складу й механічних властивостей матеріалу стружки що брикетується.

5. Результати дослідження упроваджено на дослідній ділянці імпульсного брикетування підприємства «ХАІ-Сервіс» громадської організації «Міжнародна асоціація випускників ХАІ», м. Харків й ділянці імпульсного брикетування ПП «ТППТ», м. Дніпро. В результаті використання запропонованих рекомендацій кількість якісних брикетів отриманих під час прогріву брикетувальної машини підвищилася на 74,1 %, а споживання природного газу зменшилося на 6,3%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових наукових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз «AcademicKeys», «CiteFactor», «Chemical Abstracts», «Google Scholar», «Index Copernicus», «Infobase Index», «Russian Science Citation Index», «WordCat», «Ulrich's Periodicals Directory».

1. Комнатный, И. П. Компьютеризированный измерительный стенд для исследования процессов брикетирования сыпучих материалов [Текст] / И. П. Комнатный, А. А. Павленко // Авиационно-космическая техника и технология : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – Харьков, 2001. – Вып. 25. – С. 84–87.

2. Комнатный, И. П. Влияние геометрических характеристик брикета на его

фізическіе свойства і енергосиловіе параметри процесу пресоування [Текст] / І. П. Коунатний, А. А. Пауленко // Удоокоуалення процесів та оулоуаднання оуоробки тиском у металургії і машинооуоуоуанні : темат. зб. наук. пр. / Доубас. держ. машинооуоу. акад. – Краматорськ, 2002. – С. 482–485.

3. Мазниченко, С. А. Об организации рабочего процесса импульсного оборудования в технологических линиях непрерывного производства [Текст] / С. А. Мазниченко, А. С. Морголенко., А. А. Павленко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2003. – № 1 (36). – С. 68–71.

4. Павленко, А. А. Разработка эмпирической модели процесса брикетирования металлической стружки [Текст] / А. А. Павленко // Удоокоуалення процесів та оулоуаднання оуоробки тиском у металургії і машинооуоуоуанні : темат. зб. наук. пр. / Доубас. держ. машинооуоу. акад. – Краматорськ, 2005. – С. 82-85.

5. Христенко, Г. Г. К вопросу о теоретическом определении энергосиловых параметров процесса брикетирования металлической стружки [Текст] / Г. Г. Христенко, І. П. Коунатний, А. А. Пауленко // Вісті академії інженерних наук України. Спец. випуск: Машинооуоуоуання та прогресивні технології. – 2006. – № 3 (30). – С. 137–139.

6. Букин, Ю. М. Импульсное брикетирование титановой стружки для последующей переработки [Текст] / Ю. М. Букин, А. Н. Мещеряков, А. А. Павленко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2008. – № 4. – С. 25–28.

7. Мещеряков, А. Н. Особенности преобразования энергии топливной смеси в работу деформирования импульсной машины [Текст] / А. Н. Мещеряков, І. П. Коунатний, А. А. Пауленко // Вісник Доубаської державної машинооуоуівної академії :зб. наук. пр. / Доубас. держ. машинооуоу. акад. – Краматорськ, 2010. – № 1 (18). – С. 216–220.

8. Планковский, С. И. Исследование изменения энергетических параметров машины импульсного брикетирования (МИБ) в процессе её прогрева [Текст] / С. И. Планковский, А. А. Павленко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Темат. вып.: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии : сб. науч. тр. / Нац. техн. ун-т «ХПИ». – Харьков, 2014. – Вып. 44 (1087). – С. 121–128.

Матеріали і тези конференцій

9. Импульсное брикетирование стружки: достижения, проблемы, перспективы [Текст] / А. А. Павленко, А. Н. Мещеряков, Г. Г. Христенко, І. П. Коунатний // Современное состояние использования импульсных источников энергии в промышленности : Междунар. науч.-техн. конф. : тезисы докл. (3–5 окт. 2007 г.) / Нац. аэрокосм. ун-т ім. Н. Е. Жуковського «Харьков. авиаци. ін-т». – Харьков, 2007. – С. 68–69.

10. Павленко, А. А. Учет влияния условий окружающей среды на энергетические характеристики машин импульсного брикетирования [Текст] / А. А. Павленко, О. В. Лосев, А. А. Болоховец // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки : Міжн. наук.-практ. конф. : тези доп. (18–19 квіт. 2012 р.) / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіаци. ін-т». – Ха-

рків, 2012. – С. 75.

11. Болоховец, А. А. Влияние прогрева камеры на массу заряда топлива [Текст] / А. А. Болоховец, А. А. Павленко // XVIII Міжнародний Конгрес двигунобудівників : тези доп. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т» [та ін.]. – Харків, 2013. – С. 112–113.

12. Павленко, А. А. Исследование однородности состава топливной смеси при наполнении камеры сгорания машины импульсного брикетирования [Текст] / А. А. Павленко, С. И. Планковский // Теоретичні та прикладні аспекти розвитку науки : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (6–7 груд. 2017 р.). – Київ, 2017. – С. 27–29.

13. Павленко, О. А. Дослідження процесу горіння паливної суміші в камері згорання машини імпульсного брикетування [Текст] / О. А. Павленко, С. І. Планковський // Modern Methods, Innovations and Experience of Practical Application in the Field of Technical Sciences : proc. of Int. res. and pract. conf. (Radom, Dec. 27–28, 2017) / Radom Academy of Economics. – Radom, 2017. – P. 105–109.

АНОТАЦІЯ

Павленко Олексій Анатолійович. Удосконалення обладнання і технології для імпульсного брикетування відходів металообробки. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та машини обробки тиском». – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут, МОН України, Харків, 2019.

Дисертацію присвячено створенню методики автоматизованого розрахунку параметрів обладнання для імпульсного брикетування стружки алюмінієвих й титанових сплавів з забезпеченням стабілізації якості брикету, в тому числі у змінних умовах навколишнього середовища.

У роботі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень.

В основу теоретичних досліджень покладено методи математичного моделювання з використанням сучасних сертифікованих CAD/CAE-пакетів інженерного аналізу методом скінченних елементів.

На основі проведених досліджень удосконалено метод визначення зусиль брикетування в залежності від механічних властивостей матеріалу стружки, яка підлягає переробці. На відміну від існуючих підходів, де у емпіричних формулах використовуються коефіцієнти, отримані експериментальним шляхом, для розрахунку енергії машини імпульсного брикетування запропоновано залежність, де в якості визначального параметра використовується твердість матеріалу стружки. Запропоновано комплекс математичних моделей для розрахунку кінематичних й динамічних параметрів машин імпульсного брикетування з газо-повітряним приводом з використанням теорії термодинамічних систем тіла змінної маси. Удосконалено модель сумішоутворення, де на відміну від існуючих враховано змінність температури стінок камери згорання під час прогріву, що дозволяє забезпечити стабілізацію заряду при відомій температурі й заданій циклічності роботи. Запропоновано структуру адаптивної автоматичної системи управління імпульсною

брикетувальною машиною, впровадження якої забезпечить отримання брикетів стабільної якості незалежно від впливу температур навколишнього середовища.

Сформовано науково-технічну базу, яка використовується під час виконання науково-дослідних робіт й підготовці фахівців у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Ключові слова: брикетування, переробка відходів, металева стружка, відходи металообробки, брикетувальне обладнання, імпульсна машина.

АННОТАЦІЯ

Павленко Алексей Анатольевич. Совершенствование оборудования и технологии для импульсного брикетирования отходов металлообработки. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – «Процессы и машины обработки давлением». – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена созданию методики автоматизированного расчета параметров оборудования для импульсного брикетирования стружки алюминиевых и титановых сплавов с обеспечением стабилизации качества брикета, в том числе в изменяющихся условиях окружающей среды.

В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

В основу теоретических исследований положены методы математического моделирования с использованием современных сертифицированных CAD / CAE пакетов инженерного анализа методом конечных элементов.

На основании проведенных исследований усовершенствован метод определения усилий брикетирования в зависимости от механических свойств стружки, которая подлежит переработке. В отличие от существующих подходов, где в эмпирических формулах используются коэффициенты, полученные экспериментальным путем, для расчета энергии машины импульсного брикетирования предложена зависимость, в которой в качестве определяющего параметра используется твердость материала стружки. Предложен комплекс математических моделей для расчета кинематических и динамических параметров машин импульсного брикетирования с газо-воздушным приводом, основанный на теории термодинамических систем тела переменной массы. Усовершенствована модель смесеобразования, в которой, в отличие от существующих, учтено изменение температуры стенок камеры сгорания в процессе прогрева, что позволяет обеспечить стабилизацию энергии заряда при известной температуре и заданной цикличности работы. Предложена структура адаптивной автоматической системы управления импульсной брикетировочной машиной, внедрение которой обеспечит получение брикетов стабильного качества независимо от влияния температур окружающей среды.

Сформирована научно-техническая база, которая используется при выполнении научно-исследовательских работ и подготовке специалистов в Национальном

аэрокосмическом университете им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт».

Ключевые слова: брикетирование, переработка отходов, металлическая стружка, отходы металлообработки, брикетировочное оборудование, импульсная машина.

ABSTRACT

Pavlenko Oleksiy Anatoliiovych. Improvement of equipment and technology for pulsed briquetting of metalworking waste. – As a manuscript.

Dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.03.05 – “Processes and machines for pressure forming”. – National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”, MES of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the creation of a methodic for the automated calculation of equipment parameters for pulsed briquetting of chips of aluminum and titanium alloys with stabilization of briquette quality under changing environmental conditions.

The paper presents the results of theoretical and experimental studies.

Theoretical research is based on mathematical modeling methods using state-of-the-art certified CAD / CAE engineering finite element analysis packages.

The method for determining of briquetting forces depending on the properties of material of chips to be processed is improved. In contrast to existing approaches, where in empirical formulas experimental coefficients used, a formula for calculating a pulse briquetting machine energy, where hardness of the chips is a determining parameter is proposed. A complex of mathematical models for calculating of kinematic and dynamic parameters of pulsed briquetting machines with a gas-air drive, based on the theory of thermodynamic systems of a body of variable mass is proposed. The mixture formation model, in which, unlike the existing ones, the change in the temperature of the walls of the combustion chamber during heating is taken into account has been improved. It allows to stabilize the charge energy at a known temperature and a given work cycle The structure of an adaptive automatic control system for a pulsed briquetting machine, use of which will ensure the production of briquettes of stable quality regardless of the influence of ambient temperatures is proposed.

A scientific and technical base, used in carrying out research work and training specialists at the National Aerospace University named after N. E. Zhukovsky "Kharkov Aviation Institute" has been formed.

Key words: briquetting, waste processing, metal chips, metalworking waste, briquetting equipment, pulse machine.

Підписано до друку 06.11.2019.

Формат 60x90 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 1,1. Обл. - вид. арк 1,25. Наклад 100 пр. Замовлення _____

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<https://khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001 р.