

МОДИФІКАЦІЯ ВХІДНОЇ ЧАСТИНИ ФІЛЬ'ЄРИ МАТРИЦІ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ГРАНУЛЯТОРА

Єременко О., канд. техн. наук,

<https://orcid.org/0000-0002-3377-0015>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Халін С., канд. екон. наук,

<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>

Майданович В., канд. техн. наук,

<https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Процес гранулювання біомаси у паливо передбачає ущільнення сировини та формування пелет із використанням спеціальних машин – грануляторів. Одним із найбільш поширених типів таких технічних засобів є матричні гранулятори, які забезпечують високу продуктивність та якість отриманих виробів.

Мета роботи – підвищення ефективності твердопаливних грануляторів шляхом модифікації конструкції вхідної частини філь'єри матриці.

Методи і матеріали. Об'єктом досліджень є техніко-функціональна будова філь'єр матричного вузла для перетворення біомаси у гранули. Застосовано методи аналізу й абстрагування процесу, графоаналітичного моделювання з обґрунтуванням введених припущень.

Результати. Використано метод графоаналітичного моделювання для розробки раціональної форми вхідної частини філь'єри матриці для гранулювання біомаси способом сухої екструзії. Модифікація реалізується за рахунок виконання вхідної частини філь'єри у формі об'ємної евольвенти кола (від внутрішньої поверхні матриці до місця з'єднання з формувальним циліндричним каналом).

Запропоноване рішення сприятиме зменшенню на 12-18% технологічного опору під час екструзії біомаси у вхідній евольвентній частині філь'єри, підвищенню зносостійкості вхідної порожнини в 1,2-1,5 рази, досягненню показників нормативної якості виробів із біомаси при незмінній довжині формувального каналу, зниженню енерговитрат на процес гранулювання зі збереженням технологічної щільності близько $1,1 \text{ т/м}^3$ у гранульованих виробках.

Висновки. Для розробки оптимальної форми вхідної частини філь'єри матриці, що використовується для гранулювання біомаси методом сухої екструзії, запропоновано модифікаційне рішення на основі графоаналітичного моделювання, яке передбачає виконання вхідної частини філь'єри у вигляді об'ємної евольвенти кола, яка плавно переходить від внутрішньої поверхні матриці до формувального циліндричного каналу. Такий підхід дає змогу зменшити енерговитрати на пресування біомаси, покращити однорідність гранул і забезпечити їхню високу механічну міцність. Окрім того, нова геометрія сприяє рівномірному розподілу навантаження, зменшує зношування матриці та подовжує термін її служби, що позитивно впливає на ефективність промислового процесу гранулювання.

Ключові слова: біомаса, гранулятор, пелети, матриця, філь'єра, евольвента

Вступ. Енергетична криза та необхідність зменшення викидів парникових газів стимулюють пошук альтернативних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів є використання біомаси для отримання палива, яке є екологічно чистим, відновлюваним та економічно вигідним ресурсом [Clauser et al., 2021; Deora et al., 2022].

Розповсюджений вид палива з біомаси у вигляді гранул (пелет) має низку переваг, зокрема відносно високу теплотворність 15-19 МДж/кг, автоматизацію опалювальних систем, зручність транспортування, зберігання [Domnich, 2019; Халін, Занько, 2022; Sarker et al., 2023].

Процес гранулювання біомаси у паливо передбачає ущільнення сировини та формування пелет із використанням спеціальних машин — грануляторів. Одним із найбільш поширених типів таких технічних засобів є матричні гранулятори, які забезпечують високу продуктивність та якість отриманих виробів. Ефективність роботи грануляторів залежить від технологічних режимів процесу, характеристик сировинної біомаси, технічних параметрів обладнання тощо [Железна, 2020; Clauser et al., 2021; Єременко та ін., 2021].

Постановка завдань. Продуктивність та енергоспоживання грануляторів суттєво залежать від опору біомаси при русі у філь'єрах. Процеси утворення гранул супроводжуються інтенсивним тертям у філь'єрах і зносом їхніх поверхонь. До основних параметрів філь'єр матриці належать їхній діаметр і конфігурація вхідної частини. Найбільш поширені конструкції філь'єр із конусною вхідною частиною, що сприяє збільшенню «живого перетину» до 75 % [Риндюк, Штефан, 2008; Поліщук, Войтюк, 2018].

Сучасні компанії-виробники випускають декілька типів грануляторів із кільцевими матрицями. Водночас відомі конструкції технологічних каналів (філь'єр) матриць мають певні недоліки і потребують техніко-технологічного вдосконалення [Гелетуха та ін., 2020; Piskunova et al., 2022].

Мета роботи — підвищення ефективності твердопаливних грануляторів шляхом модифікації конструкції вхідної частини філь'єри матриці.

Методи і матеріали. Об'єктом досліджень є техніко-функціональна будова філь'єр матричного вузла для перетворення біомаси у гранули. Застосовано методи аналізу й абстрагування процесу, графоаналітичного моделювання з обґрунтуван-

ням введених припущень.

Гранули в матричних грануляторах утворюються методом екструзії (лат. *extrusio* — виштовхування), що є процесом продавлювання пружно-пластичне-в'язкої біомаси крізь формувальні отвори (філь'єри) в матриці [Поліщук, Войтюк, 2018; Derevianko et al., 2020; Єременко та ін., 2021; Sarker et al., 2023].

Під час гранулювання підготовлена біомаса (фракційний склад 1-4 мм, вологість 8-15 %) ущільнюється вальцями, а потім продавлюється у філь'єри. У міру заповнення філь'єр опір збільшується, а тиск гранулювання зростає і досягає найбільшого значення до 90 МПа. У філь'єрах між частинками біомаси виникає молекулярне зчеплення та відбувається інтенсивне тертя матеріалу об стінки, що супроводжується підвищенням температури гранул на виході до 80-105°C. Пружна деформація біомаси переходить у пластичну. Лігнін біомаси плавиться при температурі близько 90°C і зв'язує частинки у готових виробах [Єременко та ін., 2021; Polishchuk et al., 2021].

За результатами аналізу технічних розробок (патент на корисну модель UA № 30058, B01J 2/00) встановлено, що кут конусної вхідної частини філь'єри в межах від 10° до 80° суттєво не впливає на кінцеву щільність гранул, зокрема з соломистих матеріалів і лушпиння соняшника. Водночас відомо [Єременко та ін., 2021; Polishchuk, Shvorov et al., 2021], що після тривалої експлуатації матричного вузла (понад 1500 годин) у результаті зносу поверхонь твірна лінія вхідної частини філь'єри набуває форму гладенької випуклої кривої, а знос циліндричної частини філь'єри практично відсутній.

Відома конструкція філь'єри (патент на корисну модель UA № 79984, H01L35/00) передбачає введення на початку формувального каналу невеликої конусності 3-5°, що внаслідок пластичної деформації органічного матеріалу створює протитиск. При цьому загальна довжина циліндричного формувального каналу зменшується до 3-6 значень вихідного отвору цього ка-

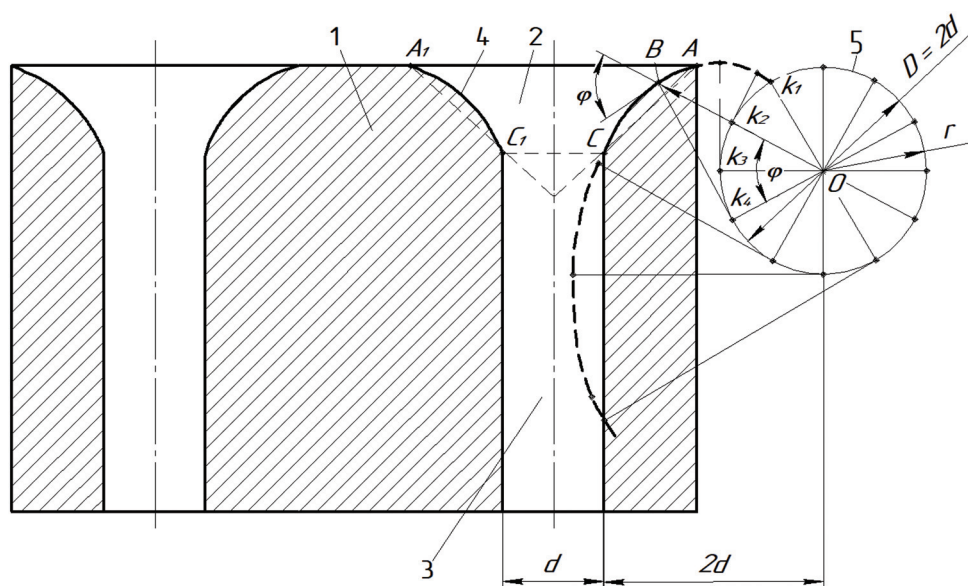


Рисунок 1 – Схема філь'єри матриці з формою вхідної частини у вигляді евольвенти кола

налу. Застосування таких філь'єр дає змогу зменшити тиск у вхідній частині.

Однак таке виконання філь'єри має техніко-технологічні недоліки. У вхідній частині філь'єри є два кутові елементи, які не сприяють плавності переміщення біомаси, а стримують її при тисках понад 10 МПа [Єременко, Войналович, 2020]. Окрім того, за технічними вимогами встановлена довжина циліндра філь'єри має забезпечувати протитиск для отримання гранул зі щільністю до 1200 кг/м³ і тривалість стиснутої біомаси у філь'єрі протягом певного часу для релаксації напружень, тобто довжина формувальної частини філь'єри має бути не меншою, ніж необхідна довжина для повної релаксації біомаси [Єременко та ін., 2021].

Результати. Проведений аналіз конструкційних рішень філь'єр матриць сприяв прийняттю технічної схеми пристрою, що містить матрицю з філь'єрами, які включають вхідну конусну частину та формувальну циліндричну частину.

Відповідно до мети роботи поставлене завдання щодо модифікації вхідної частини філь'єри матриці для формування гранул із біомаси вирішено шляхом розробки графоаналітичної моделі. У першому наближенні вхідна частина філь'єри мала

форму усіченого оберненого конуса, а формувальний канал мав однаковий переріз за діаметром за всією довжиною. Для досягнення мети на підставі проаналізованих досліджень [Хайліс, 2002; Риндюк, Штефан, 2008; Поліщук, Войтюк, 2018; Domnich, 2019] і логічних міркувань висунуто гіпотезу, згідно з якою вхідна частина філь'єри від внутрішньої поверхні

матриці до місця з'єднання з формувальним циліндричним каналом має форму об'ємної евольвенти (розгортки) кола на всьому просторі вхідної частини, причому крива евольвенти кола, радіус якого дорівнює діаметру формуючого каналу, плавно переходить без перегинів у циліндричну формувальну частину філь'єри [Єременко, Войналович, 2020]. Технічна сутність запропонованої графоаналітичної моделі вхідної частини філь'єри схематично пояснюється на рис. 1.

Технологічний процес перетворення сипкої біомаси у гранульовані паливні вироби в каналах 3 (філь'єрах) матриці 1 (рис. 1) відповідає визначенню і вимогам **сухої** екструзії. Тому навантаження та зношування робочих поверхонь у 1,2-1,5 рази вище, ніж при виробництві гранульованих кормів. За результатами аналізу [Поліщук, Войтюк, 2018; Єременко та ін., 2021; Polishchuk, Shvorov et al., 2021] припускаємо, що твірна лінія зношеної вхідної частини 2 філь'єри після тривалої роботи гранулятора понад 1500 годин умовно описується за правилами побудови евольвенти [Джеджула, Кормановський, 2011]. Для попередження додаткового опору та зношування вхідних поверхонь філь'єри прийнято форму вхідної частини

2 як евольвенту 4 кола з плавним переходом поверхні вхідної частини 2 в циліндричну частину формувального каналу 3 діаметром d .

У зв'язку з тим, що евольвенти кола може бути отримана як траєкторія будь-якої точки прямої, що перекочується без ковзання окружністю, якою є коло (еволюта) 5 з діаметром $D=2d$ і розташоване верхньою кромкою (точка k_1) на лінії внутрішньої поверхні матриці 1 та центром O на відстані $2d$ від найближчої стінки формувального каналу 3 [Джеджула, Кормановський, 2011].

Точка k_1 є початковою точкою евольвенти. Методом перекочування прямої проти стрілки годинника побудовано криву евольвенти. Гострий кут φ між дотичною до евольвенти 4 у точці B і радіусом-вектором OB є кутом профіля і він для отримання корисного результату має бути завжди більшим за кут тертя біомаси об сталеву поверхню філь'єри ($\approx 34^\circ$ – 42°). Це свідчить про те, що біомаса при проходженні вхідної частини 2 філь'єри від точки A (A_1) до точки C (C_1) буде зустрічати найменший опір від сили тертя [Джеджула, Кормановський, 2011; Єременко, Войналович, 2020].

Ефективність запропонованої моделі вхідної частини філь'єри доводять такі властивості евольвенти кола [Джеджула, Кормановський, 2011]:

— твірна пряма є радіусом кривизни евольвенти 4 в розглянутій точці B і відповідно є нормаллю до неї. Така властивість дає змогу визначити радіус кривизни в будь-якій її точці як відстань від точки на евольвенті 4 до точки дотику нормалі з основною окружністю (еволютою) 5 за формулою:

$$B \cdot k_4 = r_e \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (1)$$

— евольвенти на всьому просторі вхідної частини 2 від точки A (A_1) до точки C (C_1) є пивною кривою без перегинів, причому у точках C і C_1 крива плавно переходить у лінію стінки формувального циліндричного каналу 3 філь'єри. Розмірна форма евольвенти 4 залежить від вели-

чини радіуса ($r_e=d$) кола 5.

Обговорення. Результати дослідження засвідчили, що надання вхідній частині філь'єри об'ємної евольвентної форми може суттєво вплинути на зниження опору руху біомаси та рівень зношування робочих поверхонь. Очікуване зменшення показників тертя у вхідній зоні філь'єри узгоджується з відомими теоретичними положеннями [Хайліс, 2002], де підкреслюється значний вплив форми вхідної частини каналу на показники попереднього ущільнення й кінцеву якість гранул.

Установлено, що гранулювання біомаси з утворенням повноцінної структури пелет відбувається за умов досягнення достатнього тиску в каналі й одночасного зменшення надмірного опору у вхідній зоні. Традиційні конструкції філь'єр часто вирізняються конусною вхідною частиною. Однак, як підтверджують результати цієї роботи, саме поверхня у вигляді евольвенти дає змогу забезпечити плавне входження біомаси в циліндричний канал. Таким чином, відсутні різкі перепади перетинів або кутів нахилу конусної частини, що є однією з ключових причин підвищених енерговитрат і передчасного зношування філь'єр матриці [Єременко та ін., 2021].

На відміну від раніше досліджених рішень щодо зменшення кута конусної вхідної ділянки [Поліщук, Войтюк, 2018], об'ємна евольвентна форма забезпечує рівномірний перерозподіл тиску за довжиною вхідної частини за рахунок плавного зменшення поперечного перетину. Така властивість сприяє більш рівномірному ущільненню біомаси, що було підтверджено в роботах, присвячених аналізу процесів в екструзійних каналах [Риндюк, Штефан, 2008]. Доведено, що нерівномірний розподіл тиску часто зумовлює утворення мікротріщин і наявність „зон неуцільнення” в моноліті гранул, особливо коли сировина має значну жорсткість і підвищену пружність (лушпиння соняшника, солома).

Під час експлуатації гранулятора з запропонованою конструкцією вхідної частини

філь'ери варто враховувати можливість подальшої модифікації матриці залежно від типу біомаси та її фізико-хімічних властивостей. Наприклад, для матеріалів із високим вмістом лігніну (деревина) буде доцільно коригувати довжину циліндричного каналу або параметри вхідної евольвентної частини з метою створення раціональної зони підвищеного тиску, що дасть змогу забезпечити достатнє зчеплення частинок біомаси [Хайліс, 2002]. З іншого боку, у випадку використання біомаси з нижчим вмістом лігніну чи більшою схильністю до механічних ушкоджень (наприклад, гранулювання відходів кукурудзяних стрижнів) може виникнути потреба в оптимізації кута евольвентної кривої, аби запобігти надмірному стиранню волокнистих частинок.

Застосування конструкції філь'ери з евольвентною вхідною частиною особливо актуальне для паливних гранул, оскільки вони формуються у більш жорстких режимах (вищі тиски, вужчий діапазон вологості) порівняно з кормовими [Clauser et al., 2021]. Це збігається з даними про підвищення рівня зносу при тривалій експлуатації матричних грануляторів, де відбувається перехід від кутового до вигнутого профілю вхідної зони внаслідок зношування [Єременко та ін., 2021]. Запропонована модель дає можливість фактично імітувати такий фізичний профіль зносу. З початку експлуатації, що знижує енерговитрати та металоємкість на виготовлення й ремонт матриць.

Додатковою перевагою є збереження загальної довжини формувального каналу, оскільки саме він забезпечує потрібну тривалість релаксації стиснутої біомаси й формування структурної міцності пелет [Єременко та ін., 2021; Polishchuk et al., 2021]. Збереження довжини каналу без зменшення перетину дає змогу досягнути високої щільності та механічної міцності гранул, що підтверджено низкою досліджень з екструзії органічних матеріалів [Palamarchuk et al., 2021; Kuzmich et al., 2021].

Отримані результати впливають на напрями подальших розробок у галу-

зі виробництва твердих видів біопалива. По-перше, перспективною є експериментальна перевірка зазначеної конструкції філь'ери в умовах промислових грануляторів, де можна оцінити її довготривалу ефективність, порівняти рівень зношування з традиційними конструкціями та проаналізувати вплив на органолептичні показники пелет (щільність, міцність, відсоток дрібних фракцій). По-друге, у випадку масштабування виробництва та впровадження таких матриць на підприємствах із переробки аграрних і деревних відходів можна очікувати на комплексне зниження енерговитрат на 7-10 % залежно від виду та фракційного складу біомаси, що узгоджується з дорожніми картами розвитку біоенергетики в Україні [Гелету-ха та ін., 2020; Siddi, 2020].

Окремо слід відзначити можливі обмеження методу. По-перше, для точного розрахунку евольвентного профілю необхідно враховувати вологість і фракційний склад біомаси, оскільки вміст компонентів, що зв'язують (лігніну чи крохмалю), істотно впливає на коефіцієнт внутрішнього тертя та пружних деформацій. По-друге, виготовлення матриць із евольвентною формою філь'ер вимагає більш високої точності металообробки та, відповідно, якісного інструментального забезпечення, що збільшуватиме собівартість дрібно-серійного виробництва. Водночас у промислових масштабах така технологія металообробки застосовується у сфері виготовлення інструментів складної форми та зубчастих передач, зокрема у формуванні деталей машин і пресформ. Тому перехід на евольвентну форму філь'ер видається цілком реалістичним.

Висновки. Застосований метод графоаналітичного моделювання сприяв розробці раціональної форми вхідної частини філь'ери матриці для гранулювання біомаси способом сухої екструзії. Модифікація реалізується за рахунок виконання вхідної частини філь'ери у формі об'ємної евольвенти кола. Це сприятиме зменшенню на 12-18 % технологічного опору під час екструзії біомаси у вхідній евольвент-

ній частині філь'єри, підвищенню зносостійкості вхідної порожнини в 1,2-1,5 рази, досягненню показників нормативної якості виробів із біомаси при незмінній довжині формувального каналу, зниженню енерговитрат на процес гранулювання зі збереженням технологічної щільності близько 1,1 т/м³ у гранульованих виробках.

Подальші науково-дослідні й дослідно-конструкторські розробки можуть бути спрямовані на визначення раціональних параметрів евольвентної частини для певного типу біомаси, а також на інтеграцію такого рішення зі схемами попередньої підготовки сировини (подрібнення, сушіння тощо) з метою поширення твердопаливної галузі із застосуванням біоенергетичних технологій.

Перелік літератури

- Гелетука, Г. Г., Петрова, Ж. О., Корінчук, Д. М., Железна, Т. А. та ін. (2020). Технології та обладнання для виробництва і споживання альтернативних видів палива. Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України. 375 с.
- Джеджула, О. М., Кормановський, С. І. (2011). Курс нарисної геометрії: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ. 200 с.
- Єременко, О. І., Войналович, О. В. (2020). Патент на корисну модель № 139677 Україна. МПК В30В 11/20. Філь'єра матриці для формування біогранул методом екструзії. Опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1. 4 с.
- Єременко, О. І., Поліщук, В. М., Шворов, С. А., Скібчик, В. І. (2021). Розрахунок обладнання для отримання біопаливних гранул і брикетів: монографія. Київ: НУБіП України. 244 с.
- Железна, Т. А. (2020). Аналіз напрямків та перспектив використання агробіомаси для виробництва енергії в Україні. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 27 (41). 259-267.
- Поліщук, В. М., Войтюк, В. Д. (2018). Процеси, машини та обладнання виробництва твердих і рідких біопалив: монографія. Київ: НУБіП України, 586 с.
- Риндюк, Д. В., Штефан, Є. В. (2008). Методика визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів процесу грануляції дисперсних матеріалів шляхом ущільнення. Наукові праці НУХТ. № 25, частина 2. С. 81–83.
- Хайліс, Г. А. (2002). Механіка рослинних матеріалів. Київ: УААН. 374 с.
- Халін, С., Занько, М. (2022). Біотеплогенераторний комплекс роздільно-блочного типу: особливості будови та експлуатаційні показники. Техніка і технології АПК, № 4. С. 30-34.
- Clauser, N. M., González, G., Mendieta, C. M., Krueyanski, J., Area, M. C., & Vallejos, M. E. (2021). Biomass waste as sustainable raw material for energy and fuels. Sustainability, 13(2), 794. <https://doi.org/10.3390/su13020794>
- Deora, P. S., Verma, Y., Muhal, R. A., Goswami, C., & Singh, T. (2022). Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. Materials Today: Proceedings, 48, 1178-1184. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.227>
- Derevianko, D., Sukmaniuk, E., Chychulyuk, S., Derevianko, O., Polischuk, V. (2020). The impact of transporting technical means on grain crops damaging and quality. Scientific Horizons. 4. 47-54. DOI: 10.33249-2663-2144-2020-89-4-47-54
- Domnich, V. I. (2019). Solid bio-fuel. Energy efficient technologies, 63. DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-105-6/63-83>
- Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Nadtochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. AGRITECH-IV-2020: 677 052002. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>
- Palamarchuk, I., Rogogvskii, I., Titova, L., Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 20. 1761-1767. <https://doi.org/10.22616/ER-Dev.2021.20.TF386>

- Piskunova, L. E., Yeremenko, O. I., Zubok, T. O., Serbeniuk, H. A., Korzh, Z. V. (2022). Scientific and methodological aspects of solid biofuel production processes in compliance with labor protection and environmental safety measures. *Polityka energetyczna – energy policy Journal*, Volume 25. Issue 1. 143–154. DOI: 10.33223/epj/144008. URL: <https://epj.min-pan.krakow.pl/>
- Polishchuk, V. M., Derevianko, D.A., Dvornyk, Ye.O. (2021). Efficiency of Production and Application of Solid Fuels in Rural Areas. *Machinery and Energetics*. 12 (1). 31–38. doi: 10.31548/machenergy2021.01.031.
- Polishchuk, V. M., Shvorov, S. A., Zablodskiy, M. M., Kucheruk, P. P., Davidenko, T. S., Dvornyk, Ye. O. (2021). Effectiveness of Adding Extruded Wheat Straw to Poultry Manure to Increase the Rate of Biogas Yield. *Problemele Energeticii regionale*. 3 (51). 111-124. doi: 10.52254/1857-0070.2021.3-51.10.
- Sarker, T. R., Nanda, S., Meda, V., & Dalai, A. K. (2023). Densification of waste biomass for manufacturing solid biofuel pellets: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 231-264. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01510-0>
- Siddi, M. (2020). The European Green Deal. Assessing its current state and future implementation, FIIA Working Paper, 114, 2-14.
- means on grain crops damaging and quality. *Scientific Horizons*. 4. 47-54. DOI: 10.33249-2663-2144-2020-89-4-47-54.
- Domnich, V. I. (2019). Solid bio-fuel. *Energy efficient technologies*, 63. DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-105-6/63-83>
- Dzhedzhula O. M., Kormanovsky, S. I. (2011). *Course of Descriptive Geometry*. Textbook. Vinnytsia: VNAU. 200 p.
- Geletukha G. G., Petrova Zh. O., Korik D. M., Zheliezna T. A. (2020). Technologies and equipment for the production and consumption of alternative fuels. Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: 375 p.
- Khalin, S., Zanko, M. (2022). Bioheat generator complex of split-block type: structural features and performance indicators. *Techniques and technologies of agricultural industry*, No. 4. P. 30-34.
- Khaylys, G. A. (2002). *Mechanics of plant materials*. Kyiv: Agrarian Science, 374 p.
- Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Nadtochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. AGRITECH-IV-2020: 677 052002. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
- Palamarchuk, I., Rogovskii, I., Titova, L., Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*. 20. pp. 1761-1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>
- Piskunova, L. E., Yeremenko, O. I., Zubok, T. O., Serbeniuk, H. A., Korzh, Z. V. (2022). Scientific and methodological aspects of solid biofuel production processes in compliance with labor protection and environmental safety measures. *Polityka energetyczna – energy policy Journal*, Volume 25. Issue 1. 143–154. DOI: 10.33223/epj/144008. URL: <https://epj.min-pan.krakow.pl/>
- Polishchuk, V. M., Derevianko, D. A., Dvornyk, Ye. O. (2021). Efficiency of Production and Application of Solid Fuels in Rural Areas. *Machinery and Energetics*. 12 (1). 31–38. doi: 10.31548/machenergy2021.01.031.

References

- Clauser, N. M., González, G., Mendieta, C. M., Kruyeniski, J., Area, M. C., & Vallejos, M. E. (2021). Biomass waste as sustainable raw material for energy and fuels. *Sustainability*, 13(2), 794. <https://doi.org/10.3390/su13020794>
- Deora, P. S., Verma, Y., Muhal, R. A., Goswami, C., & Singh, T. (2022). Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1178-1184. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.227>
- Derevianko, D., Sukmaniuk, E., Chychlyuk, S., Derevianko, O., Polishchuk, V. (2020). The impact of transporting technical

Polishchuk, V. M., Shvorov, S. A., Zablodskiy, M. M., Kucheruk, P. P., Davidenko, T. S., Dvornyk, Ye. O. (2021). Effectiveness of Adding Extruded Wheat Straw to Poultry Manure to Increase the Rate of Biogas Yield. *Problemele Energeticii regionale*. 3 (51). 111-124. doi: 10.52254/1857-0070.2021.3-51.10.

Polishchuk, V. M., Voytyuk, V. D. (2018). Processes, machines and equipment for the production of solid and liquid biofuels: monograph. Kyiv: NUBiP of Ukraine, 586 p.

Ryndyuk, D. V., Shtefan, E. V. (2008). Methodology for determining the optimal design and technological parameters of the granulation process of dispersed materials by compaction. *Scientific Works of the National University of Food Technologies*. No. 25, part 2. pp. 81–83.

Sarker, T. R., Nanda, S., Meda, V., & Dalai, A. K. (2023). Densification of waste biomass for manufacturing solid biofuel pellets: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 231-264. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01510-0>

Siddi, M. (2020). The European Green Deal. Assessing its current state and future implementation, FIIA Working Paper, 114, 2-14.

Yeremenko, O. I., Voynalovych, O. V. (2020). Utility model patent No. 139677 Ukraine. MPK B30B 11/20. Matrix die-roller for forming biogranules by extrusion. Published 10.01.2020, Bulletin No. 1. 4 p.

Yeremenko O. I., Polishchuk V. M., Shvorov S. A., Skibchyk V. I. (2021). Calculation of equipment for obtaining biofuel pellets and briquettes: monograph. Kyiv: NULE of Ukraine. 248 p.

Zheliezna, T. (2020). Analysis of areas and prospects for the use of agrobiomass for energy production in Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture in Ukraine. Edition 27 (41). 259-267.

UDC 658.512.2-046.67:662.62

MODIFICATION OF THE ENTRY SECTION OF THE MATRIX DIE-ROLLER OF A SOLID FUEL PELLETIZER

Yeremenko O., PhD in Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-3377-0015>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Khalin S., PhD in Economic Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>

Maidanovych V., PhD in Technical Sciences

<https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The process of biomass pelletization for fuel involves compressing raw materials and forming pellets using specialized equipment – pelletizers. One of the most commonly used types of such machinery is the matrix pelletizer, which ensures high productivity and product quality.

This study aims to improve the efficiency of solid fuel pelletizers by modifying the design of the entry section of the matrix die-roller.

Methods and Materials. *The research object is the technical and functional design of the matrix die-roller assembly for converting biomass into pellets. The methods applied include analysis and abstraction of the process, and graph-analytical modeling with a rationale for the assumptions made.*

Results. *Graph-analytical modeling was applied to develop an optimal shape for the entry section of the matrix die-roller used for dry extrusion biomass pelletization. The modification involves shaping the entry section of the die-roller as a volumetric involute curve (from the inner surface of the matrix to the connection point with the forming cylindrical channel).*

The proposed solution reduces technological resistance during biomass extrusion in the involute entry section of the die-roller by 12-18%, increases the wear resistance of the entry cavity by 1.2-1.5 times, ensures compliance with regulatory quality standards for biomass products without altering the forming channel length, and lowers energy consumption in the pelletizing process while maintaining a technological density of approximately 1.1 t/m³ in the final pellets.

Conclusions. *A modification based on graph-analytical modeling is proposed to optimize the shape of the entry section of the matrix die-roller used in biomass pelletization by dry extrusion. This modification involves designing the entry section as a volumetric involute curve that smoothly transitions from the inner surface of the matrix to the forming cylindrical channel. This approach reduces energy consumption for biomass pressing, improves pellet uniformity, and ensures high mechanical strength. Additionally, the new geometry promotes uniform load distribution, reduces matrix wear, and extends its service life, positively impacting the efficiency of the industrial pelletizing process.*

Keywords: *biomass, pelletizer, pellets, matrix, die-roller, involute curve.*