

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-13>

УДК 662.8.055:665.3

К. О. Самойчук, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В. А. Самохвал, аспірант

ORCID: 0000-0001-5539-3647

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ШНЕКОВОГО ПРЕС-ЕКСТРУДЕРА В ПАРІ З БАГАТОСЕКЦІЙНИМ ПРИСТРОЄМ ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

Анотація. Актуальність цього дослідження обумовлена гострими проблемами, з якими стикаються виробники паливних брикетів, що використовують як сировину відходи оліємістких культур. Більша частина пресового обладнання не дає змоги без включення в лінію додаткового обладнання виготовляти якісний продукт із цього типу сировини. Тому ці дослідження спрямовані на вирішення проблеми щодо зменшення відсоткової частки олій у готовому продукті та збільшення часу перебування сировини у стиснутому стані завдяки додаванню секцій пристрою формування паливних брикетів. Таким чином, поставлену мету роботи – покращення якості готової продукції та збільшення ресурсу пресового обладнання – було виконано. За результатами проведених досліджень було визначено, що розроблений шнековий прес екструдер у парі з пристроєм остаточного формування зі здатністю відбору олій на етапі формування брикету має підвищену ефективність порівняно з традиційними.

Ключові слова: олія, брикет, прес, формування, достискання, сировина, лігнін.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції в енергетичній галузі свідчать про поступове зростання вартості видобутку традиційних енергоресурсів, зокрема нафтопродуктів, вугілля та природного газу [1, 2]. Тому в Україні стрімко розвивається галузь із переробки відходів та залишків рослинної сировини в біопаливо [3, 4]. Основною сировиною для виробництва паливних брикетів є відходи провіювання таких сільськогосподарських культур, як соняшник, соя, льон, коріандр і рапс, які містять у своїй структурі велику кількість олій [5].

На цей час на світовому ринку представлено великий асортимент пресового обладнання, яке ефективно функціонує під час переробки сировини, що не містить олій або містить незначну кількість олій (солома, очерет, відходи після обробки деревини тощо) [7]. Проте відома невелика кількість промислового обладнання, здатного працювати з оліємісткою сировиною та забезпечувати гарну якість паливних брикетів, що не містять центрального отвору. При цьому основною вимогою до такого обладнання є забезпечення мінімальних витрат електроенергії, що є дуже важливим для підвищення економічної ефективності виробництва [8]. У роботі із сировиною, що у своїй структурі містить частку олій, найкраще зарекомендувало шнекове обладнання. Після вивчення процесу брикетування шнековим пресом можна зробити висновок, що більша частина виробників стикаються з проблемами низької якості готової продукції у разі використання цього виду сировини. Для вирішення цієї проблеми в більшості випадків використовують маслопрес як проміжне обладнання для відбору олій [9], завдяки чому вже в брикетер подається заздалегідь знежирена і частково спресована сировина, що, зі свого боку, поліпшує якість брикету, але в разі зменшує ресурс пресу, оскільки така сировина є абразивною і сухою, що призводить до надмірного зношування деталей та збільшує витрати електроенергії через додаткове обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні наукові дослідження в галузі виробництва обладнання для переробки різних видів сировини переважно зосереджені на вивченні конструктивних особливостей вже існуючих агрегатів та аналізі технологічних процесів, які відбуваються під час їх експлуатації [10, 11]. Дослідники прагнуть виявити найбільш ефективні способи вдосконалення конструкцій, що дадуть змогу підвищити продуктивність обладнання, знизити витрати енергії та покращити якість кінцевої продукції. Одночасно із цим велика кількість виробничих підприємств, які вже займаються виготовленням пресового обладнання, концентрують свої зусилля на розробці більш інноваційних моделей, що відрізняються підвищеною ефективністю, економічністю та здатністю працювати з різними типами сировини [12, 13]. Особливої уваги заслуговує сектор виробництва паливних брикетів, який демонструє високий потенціал для розвитку. Останнім часом відзначається помітне зростання кількості нових моделей устаткування, що поєднують у собі широкий спектр технологічних операцій, необхідних для повного циклу виробництва паливних брикетів з різних видів сировини [14].

В Україні сільське господарство розвинене на високому рівні, тому існують значні ресурси для забезпечення цієї галузі відповідною сировиною. Органічні відходи сільськогосподарського виробництва є ефективним джерелом біопалива, оскільки більшість із них мають високу теплотворну здатність і добре згоряють, при цьому кожен вид сировини потребує використання спеціально адаптованого пресового обладнання, що дає можливість досягти оптимального рівня ущільнення та формування брикетів [15, 16].

Дослідження показали, що найефективніше із цим типом сировини працює обладнання шнекового типу [17, 18]. Останнім часом цей тип пресового обладнання зазнав суттєвого вдосконалення, що дало можливість значно підвищити його універсальність і розширити спектр можливостей його застосування [19]. Однак слід зазначити, що більшість шнекових пресів, які використовуються для роботи з олійємісними культурами, мають досить складну структуру й передбачають наявність у виробничій лінії кількох окремих технологічних установок [20–21]. Це, зі свого боку, збільшує як початкові капіталовкладення в закупівлю нового обладнання, так і собівартість його обслуговування. З метою мінімізації витрат і підвищення економічної ефективності виробництва було ухвалено рішення про розробку нового типу установки, яка б інтегрувала основні процеси в одному універсальному пресовому агрегаті. Це дасть змогу значно скоротити витрати на виробничий процес, спростити експлуатацію обладнання та забезпечити його максимальну продуктивність [22].

Формулювання цілей статті. Метою цієї роботи є всебічне вивчення та аналіз наукової літератури, патентних розробок, а також зразків обладнання, що використовуються у сфері виробництва паливних брикетів. На основі отриманих даних передбачається розробка більш універсального й економічно вигідного обладнання, яке характеризуватиметься відносно низькою собівартістю та високою ефективністю. Запропонована установка повинна поєднувати в собі більшість ключових технологічних процесів, необхідних для виготовлення паливних брикетів із конкретного виду сировини. Одним із головних завдань є забезпечення більш тривалого утримання сировини в стиснутому стані, що сприятиме покращенню її щільності, механічної міцності та енергетичної ефективності кінцевого продукту.

Основна частина. Процес брикетування заснований на фізико-хімічних властивостях лігніну, який є природним компонентом рослинних клітин. Саме лігнін виконує функцію природного сполучного матеріалу, що активується під впливом високої температури та значного механічного тиску. У процесі нагрівання органічної сировини лігнін починає розм'якшуватися та виступати у ролі природного клею, забезпечуючи спікання частинок між собою та формування міцної структури паливного брикету [23–24].

Основою технології виробництва паливних брикетів є процес пресування шнеком рослинної сировини, зокрема відходів провіювання таких культур, як соняшник, льон, коріандр, ріпак, соя, а також якісно подрібнених залишків деревини, як-от тирса. Під час пресування відходи піддаються дії високого тиску, через що підвищується температура. Саме цей тепловий ефект сприяє активному виділенню лігніну, який, стаючи твердим після охолодження, забезпечує міцність готового виробу. При цьому готові паливні брикети не містять додаткових синтетичних або хімічних сполучних речовин, оскільки лігнін, що входить до складу будь-якої органічної сировини, самостійно виконує цю функцію. Завдяки цьому брикети мають високу механічну міцність, що робить їх стійкими до зовнішніх впливів і сприяє зручному транспортуванню та тривалому зберіганню. Крім того, щільна поверхнева структура брикетів зменшує їхню гігроскопічність, що є важливою перевагою у разі зберігання у відкритих або вологих умовах. Однак ефективність процесу брикетування значною мірою залежить від правильного вибору та підготовки сировини. Один із ключових параметрів – вміст лігніну в різних видах сировини, адже його недостатня кількість у вихідному матеріалі може спричинити руйнування брикету ще на стадії виходу з пресувального пристрою. У таких випадках брикети можуть розпадатися на окремі частини або набувати нестабільної структури. Не менш важливим є контроль рівня вологості сировини перед брикетуванням. Оптимальним є діапазон 8–12 %, оскільки саме за таких параметрів лігнін максимально ефективно виконує свою функцію. Якщо вологість перевищує 12 %, у зоні розвантаження преса через високу температуру може утворюватися так звана парова пробка. Це явище призводить до надмірного внутрішнього тиску в брикеті та, як наслідок, до його розтріскування або повного руйнування. З іншого боку, надмірне висушування сировини теж небажане, оскільки воно погіршує властивості лігніну та знижує ефективність процесу спікання частинок. Таким чином, якість паливних брикетів безпосередньо залежить від правильного вибору сировини, її попередньої обробки, а також точного дотримання параметрів температури, вологості та тиску під час процесу брикетування.

За результатами проведеного аналізу було ухвалено рішення про розробку інноваційного обладнання, яке об'єднує відразу кілька ключових технологічних процесів. Запропонована установка поєднує функції формування паливного брикету, ефективного віджиму технічних олій та оптимізації технологічного циклу шляхом збільшення часу перебування сировини у стиснутому стані. Таке конструктивне рішення дає змогу значно підвищити якість кінцевого продукту, забезпечуючи його високу щільність, механічну міцність і стабільність форми. Крім того, подовження часу стискання сприяє покращенню процесу виділення та рівномірного розподілу лігніну, що відіграє ключову роль у скріпленні частинок брикету. Запропонована концепція дає можливість оптимізувати виробничий процес, зменшити витрати енергії та забезпечити максимальну ефективність роботи обладнання під час переробки різних видів сировини.

Таблиця 1

Технічні характеристики вдосконаленого прес-екструдера

Показник	Величина
Продуктивність (за відходами олієвісних культур), кг/год	20–150
Встановлена потужність, кВт	до 7,5
Споживана потужність, кВт/т	55...60
Потужність електродвигуна, кВт	11
Частота обертання шнеків, об/хв	75
Робоча температура, °C	65–85
Вологість сировини до, %	14

Під час досліджень було використано три види сировини: відходи соняшнику, відходи сої та відходи льону. Основним параметром експерименту була зміна кількості секцій у конструкції пристрою остаточного формування брикету та зміна регульовального зазору канавок для відбору олій на торцях секцій, що давало можливість оцінити вплив цього фактора на кінцеві характеристики продукції. Перед початком випробувань уся сировина була завчасно підготовлена, що забезпечило її однакову структуру, рівень вологості та вміст олієвмісної складової. Це дало змогу мінімізувати вплив зовнішніх змінних факторів і забезпечити коректність отриманих результатів. Усі дослідження проводилися в однакових умовах і протягом однакових проміжків часу. Для підвищення достовірності отриманих даних кожен із дослідів повторювався чотири рази, а результати аналізувалися та вносилися в таблицю.

Конструкція органів обладнання зображено на (рис. 1). [25]

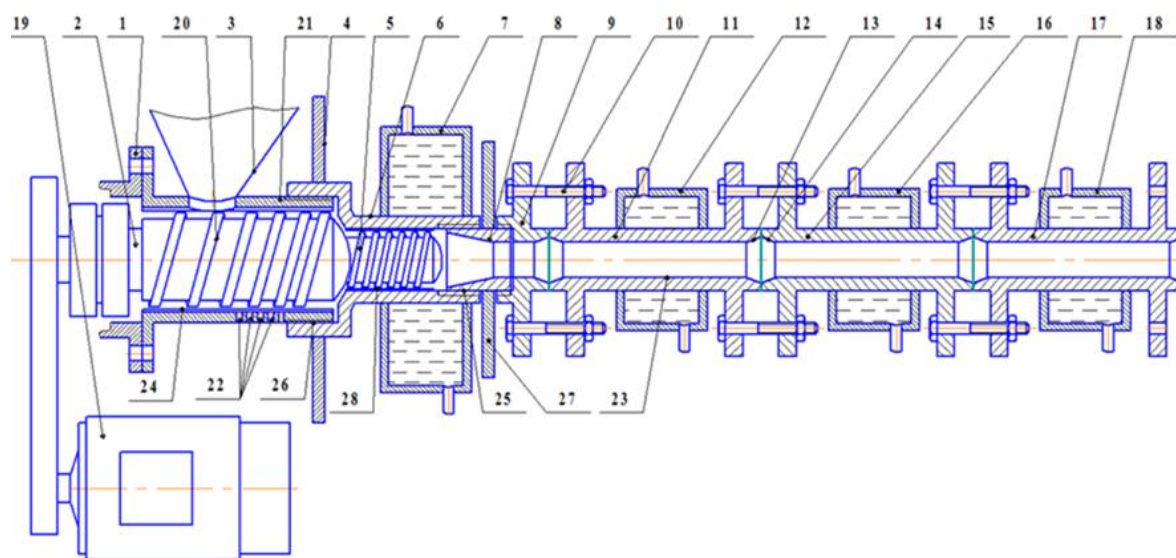


Рис. 1. Схема шнекового розробленого прес-екструдера для виготовлення паливних брикетів з пристроєм остаточного формування:

1 – корпус привода; 2 – приводний вал; 3 – завантажувальний бункер; 4 – фіксатор; 5, 20 – шнек; 6 – камера дожиму; 7, 12, 16, 18 – сорочка охолодження; 8 – матриця; 9 – пристрій остаточного формування; 10 – болт; 11, 15, 17 – секції труб; 13, 14 – маслосгінні фаски; 19 – електродвигун; 21 – пресовальна камера; 22 – аварійні відводи; 23 – труба; 24, 28 ребра; 25, 26 – різьбове з'єднання; 27 – рукоятка

Вихід олії визначили за рівнянням (1):

$$V_o = \frac{m_m}{m_o} \cdot 100, \quad (1)$$

де V_o – вихід відібраної олії, %;

m_o – маса відібраної технічної олії, кг;

m_m – маса брикетів, кг.

Тривалість перебування матеріалу в матриці під час процесу брикетування відіграє важливу роль, оскільки саме цей фактор сприяє зменшенню внутрішніх напружень у сформованому брикеті. Чим довше матеріал залишається в стислому стані, тим краще відбувається стабілізація його структури, що безпосередньо впливає на кінцеві характеристики виробу.

Цей показник залежить від кількості матеріалу, що надходить у пресову камеру, а також від конструктивних особливостей обладнання, зокрема довжини пристрою остаточного форму-

вання. Оптимальне співвідношення цих параметрів дозволяє досягти максимальної щільності брикетів, що є важливим критерієм їхньої якості. Під час розробки обладнання для брикетування всі ці параметри були враховані з метою забезпечення ефективного процесу пресування.

Таблиця 2

Кількісні показники роботи вдосконаленого пресу

Кількість секцій пристрою	1	2	3	4	5	6	7	8
Маса олії для виготовлення 100 кг брикету з відходів соняшника	0,85	2	2,7	3,4	4,1	4,8	5,0	5,4
Маса олії для виготовлення 100 кг брикету з відходів сої	0,4	0,8	1	1,2	1,8	2,1	2,6	2,75
Маса олії для виготовлення 100 кг брикету з відходів льону	0,6	1,2	1,7	3	3,4	4,1	4,9	5,3

Висновки. З проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільш ефективним варіантом для таких матеріалів є використання шнекових прес-екструдерів, оскільки вони забезпечують стабільний процес переробки та високий рівень продуктивності. Особливо ефективним виявилось застосування секційного пристрою остаточного формування брикету, що значно покращує якість кінцевого продукту. Завдяки наявності невеликих секцій у конструкції пристрою з'явилася можливість із великою точністю регулювати рівень тиску та контролювати видалення олій на кожному етапі формування брикету. Це, зі свого боку, дає можливість значно подовжити час перебування сировини у стиснутому стані, що сприяє покращенню фізико-механічних характеристик готової продукції. Таке рішення забезпечує рівномірне ущільнення матеріалу, що позитивно впливає на стабільність форми брикетів, їхню щільність та енергетичну ефективність у подальшому використанні.

З економічного погляду застосування прес-екструдера в поєднанні з пристроєм остаточного формування дає змогу значно зменшити собівартість виробництва готової продукції. Одним із ключових факторів економічної вигоди є розширення спектра сировини, яка може бути використана в процесі пресування без необхідності застосування додаткового проміжного обладнання. Це суттєво спрощує виробничий процес і знижує операційні витрати. Під час експериментальних випробувань було підтверджено теоретичне припущення, що запропоноване технічне рішення дає можливість суттєво покращити якість кінцевого продукту.

Розроблене обладнання продемонструвало високу стабільність роботи навіть у випадках, коли рівень вмісту олій у сировині наближався до критичних показників. Крім того, завдяки оптимізованій конструкції та видаленню з виробничого циклу зайвих етапів обробки було досягнуто суттєвого показника щодо зменшення витрат електроенергії. Таким чином, розроблена технологія підтвердила свою ефективність як з технічного, так і з економічного погляду, забезпечуючи високу якість продукції за одночасного зниження виробничих витрат.

Список використаних джерел

1. Руденко Д. Т., Єременко О. І., Василенков В. Є. Дослідження в процесі брикетування рослинної біомаси шнековим механізмом. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*. 2020. Вип. 3 (17). С. 15–22.
2. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А., Драгнєв С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. *Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України*. 2018. № 20. С. 48.
3. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Перспективи використання біопалива з рослинної сировини. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії» (3–4 листопада 2022 р). Черкаси, 2022. С. 158–161.
4. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Ч. 1. *Промислова теплотехніка*, 2010. Т. 3. № 3. С. 73–79.

5. Полянський О. С., Д'яконов В. І., Дьяконов О. В. Комплексна оцінка енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2018. Вип. 190. С. 192–202.
6. Патент а202007249. Україна, МПК(2006) : В30В.11/00, В30В 9/00, В27N 5/00 Шнековий прес-екструдер для виготовлення брикетів / Самохвал І. В. А. : патентовласник Самохвал Віталій Анатолійович – u202007249 : заявлено 13.11.2020 : опубліковано 18.05.2022. Бюл. № 20.
7. Бойко В. С., Самойчук К. О., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси. Київ : Проф Книга, 2021. С. 468.
8. Palamarchuk I., Mushtruk M., Gudzenko M., Vasylyv V., Slobodyanyuk N., Kuts A., Nychyk O., Bober A., Salavor O. Mathematical modeling, of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 937–944. <https://doi.org/10.5219/1436>.
9. Indartono Y.S., Heriawan H., Kartika I.A. Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65. P. 91–97.
10. Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М., Мотіль І. М., Госовський Р. Р. Дослідження процесу формування паливних брикетів з рослинної сировини та визначення їх характеристик. *Науковий вісник НЛТУ України*. С. 138–146.
11. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 21. Т. 1. С. 152–159.
12. Vorobiev E., Bogaert L., Mhemdi H. Residence time distribution and flow pattern modeling of oilseeds in a pilot screw press. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2020. Vol. 27 (65). <https://doi.org/10.1051/ocl/2020060>.
13. Лук'янець В. О., Субота С. В. Вплив параметрів ущільнення рослинної біомаси на показники якості біопаливних брикетів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2014. Вип. 99. Т. 2. С. 103–113.
14. Фомич М. І. Технології та обладнання для виготовлення паливних брикетів. *Сільськогосподарські машини*. 2023. № 46. С. 53–59.
15. Alonge A.F., Extraction of vegetable oils from agricultural materials: A review. In Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium. *CIGR – International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*, 2019. P. 1184–1206.
16. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Виготовлення паливних брикетів на пресі екструдерного типу. Науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (24 лютого 2023 р.). ТДАТУ, 2023. С. 11.
17. Antoniassi R., Wilhelm A.E., Reis S.L.R., Regis S.A., Faria-Machado A.F., Bizzo H.R., & Cenci S.A. Expeller pressing of passion fruit seed oil: Pressing efficiency and quality of oil. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022. Vol. 25. No. 2021168. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16821>.
18. Єременко О. І., Лук'янець В. О. Дослідження та вдосконалення живильного пристрою перспективного брикетного преса. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 4. Т. 2. С. 146–156.
19. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Підвищення ефективності виробництва паливних брикетів з оліємистих сировин в шнекових прес-екструдерах. *Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2023»* (18–19 травня 2023 року). Київ : Національний університет біоресурсів та природокористування України, 2023. С. 56–59.
20. Subota S.V. Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen roboty hvyntovoho pres-bryketuvalnyka vyrobnytstva palyvnykh bryketiv iz roslynnoyi syrovyny. *Mizhvidomchyu tematychnyy naukovyy zbirnyk Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya sil'skoho hospodarstva*. 2015. Issue 97. Vol. 2. P. 40–46.
21. Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Паляничка Н. О., Самохвал В. А. Вплив різних параметрів при процесі гранулювання рослинної сировини на якість гранул. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання*. Мелітополь : ТДАТУ, 2023. Вип. 23. Т. 2. С. 103–123.
22. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Дослідження ефективності роботи обладнання для інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 13. Т. 1. С. 16. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-16>.



23. Bălțatu C., Mateescu M., Anghelache D., Tăbărașu A. The importance of moisture in extracting oils from oilseeds. A review. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*. 2022. Vol. 2. P. 167–170.

24. Gudzenko M.M., Vasylyv V.P., Mushtruk M.M., Zheplinska M.M., Palamarchuk I.P., Burova Z.A., Sarana V.V. Parameters of screw nozzles of twin-screw extruder-press on oil yield. *Animal Science and Food Technology*. 2021. Vol. 12 (3). P. 5–17.

25. Патент. 127064. Україна, МПК (2022.05) Шнековий прес екструдер для виготовлення брикетів / Самохвал В. А. : патентовласник Самохвал Віталій Анатолійович. а 202007249 : заявлено 13.11.2020: опубліковано 30.03.2023. Бюл. № 13. 8 с.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2025 р.

K. Samoichuk, V. Samokhval
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

STUDYING THE OPERATION OF A SCREW PRESS EXTRUDER IN COMBINATION WITH A MULTI-SECTIONAL FUEL BRIQUETTE FORMING DEVICE

Summary

The relevance of this study is due to the acute problems faced by most fuel briquette producers that use oilseed waste as a raw material. Currently, the world market offers a wide range of press equipment that operates efficiently when processing raw materials that do not contain oil or contain a small amount of oil (straw, reeds, wood waste). However, there is not a large number of industrial equipment capable of working with oil-containing feedstocks and providing good quality fuel briquettes that do not contain a central hole. The large time of pressing equipment does not allow to produce a quality product from this type of raw material without including additional equipment in the line. During pressing, the waste is exposed to high pressure, which is accompanied by an increase in temperature. It is this thermal effect that promotes the active release of lignin, which, hardening after cooling, ensures the strength of the finished product. As a result, the briquettes have high mechanical strength, which makes them resistant to external influences, and the dense surface structure of the briquettes reduces their hygroscopicity and facilitates convenient transportation and long-term storage. Our research is aimed at solving the problem of reducing the percentage of oils in the finished product and increasing the time of stay of raw materials in a compressed state due to the number of sections of the fuel briquette forming device. One of the goals of the work is to improve the quality of the finished product and increase the service life of the press equipment. After analyzing the operation of the existing press equipment and its shortcomings, it was decided to develop a wicker screw press extruder paired with an extended final molding device with the ability to dose oils at the briquette formation stage.

Keywords: oil, briquette, press, molding, ripening, raw materials, lignin.