

**DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2-124-133****УДК [631.363:662.63]:665.35**В. С. Кошулько¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0744-6318

О. М. Пацула², старш. наук. спів.

ORCID: 0000-0000-0000-0000

¹ Дніпровський державний аграрно-економічний університет² Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук Україниe-mail: vitaliykoshulko@gmail.com, тел.: +380969248267

РОЗРОБКА БРИКЕТУВАЛЬНОГО ГВИНТОВОГО ПРЕСУ ЛУШПИННОЇ ФРАКЦІЇ МАКУХИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Анотація. Лушпинна фракція, що включає основну масу клітковини використовується для виготовлення паливних брикетів. З цією метою в конструктивно-технологічну схему переробки макух з насіння олійних культур включено установку для виготовлення паливних брикетів, що дозволить одержувати брикети питомою вагою не менше 1000 кг/м³ при температурі не вище 150 °С з питомою теплотою згорання до 19 МДж/кг. Для реалізації технологічної лінії по переробці олійного насіння розроблено конструкцію і виготовлено брикетувальний гвинтовий прес. Встановлена залежність продуктивності Q і потужності приводу N брикетувального гвинтового пресу від довжини фільери L і частоти обертання гвинта n . Обґрунтовані раціональні значення основних конструктивно-технологічних параметрів: продуктивність – 260 кг/год, частота обертів гвинта – 320 об/хв, діаметр гвинта – 100 мм, діаметр фільери – 50 мм і довжина фільери – 150 мм.

Ключові слова: пресування, щільність, експериментальна установка, конструкція, параметри, частота обертання, фільера, продуктивність, потужність

Постановка проблеми. Під час переробки сільськогосподарської сировини одержують велику кількість різноманітних відходів. В Україні у якості цінного корму для сільськогосподарських тварин та птиці використовують відходи оліє-жирової промисловості – макухи з насіння олійних культур, які одержують при добуванні олії пресуванням на гідравлічних або гвинтових пресах [1–2]. Білки макух, зокрема білок насіння соняшнику, характеризується високою біологічною цінністю та перетравністю [3].

З огляду на створення нових виробництв для переробки нешеретованого насіння соняшнику, ріпаку, льону, гірчиці і інших культур з використанням прес-екструдерів, виробництво макухи поступово збільшується. Високий вміст клітковини в цих макухах, особливо завдяки лушпинній фракції, впливає на якість макуху та обмежує його використання у комбікормах для свиней і птиці. Так,



макуха з насіння соняшнику за вмістом протеїну відноситься до концентрованих кормів, а за вмістом клітковини наближається до грубих [4–6].

За покращення продуктивності тварин і птиці, важливою є задача збільшення виробництва та підвищення якості білкових кормів. Це може бути досягнуто шляхом вдосконалення технології переробки макухи. На сьогодні основним способом переробки макухи є подрібнення з послідуочим введенням в комбікорми [7]. В його задачу входить одержання максимально однорідних часток, 80 % яких повинно пройти через решето з діаметром отворів 1 мм [8].

Підвищення ефективності обробки макухи завдяки введенню додаткового процесу механічного розділення роздробленої макухи дозволяє виділити більше 40 % білкової фракції з вмістом протеїну не менше 38 % [9–11].

Для виконання даної операції було виготовлено щітковий роторний просіювач, переваги якого – якісне фракціонування подрібненої макухи, що має в своєму складі до 12 % олії [12–13].

Лушпинна фракція, що включає основну масу клітковини використовується для виготовлення паливних брикетів. З цією метою в конструктивно-технологічну схему переробки макух з насіння олійних культур включено установку для виготовлення паливних брикетів, що дозволить одержувати брикети питомою вагою не менше 1000 кг/м³ при температурі не вище 150 °С з питомою теплотою згорання до 19 МДж/кг [14–16].

При одержанні брикетів з лушпинної фракції процеси подрібнення і сушки відсутні, що значно знижує затрати на їх виготовлення, а наявність в ній до 12 % олії дозволяє знизити енергоємність процесу брикетування в 2,5–3 рази.

Аналіз останніх досліджень. Тверде біопаливо виготовляється у вигляді брикетів або пелет. Пелети та брикети – види поновлюваного палива, що виробляються методом термічного пресування з відходів деревини та сільськогосподарської промисловості (сировина: тирса, солома, відходи з рапсу, лузга соняшника, торф тощо). Вимоги до сировини: вологість – 6–14 %; фракційний склад 1–8 мм [17–19].

Брикети, незалежно від того, з якої сировини їх виготовляють різні за формою: прямокутна або шестигранна призма, циліндр з отвором всередині або без нього. Стандартних розмірів у даного виду палива немає. Загальноприйнята довжина брикету 20–30 см [20].

Основним фактором, який визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність брикету, є його питома вага. Чим більша питома вага брикету, тим вищі показники його якості. Наприклад, якщо питома вага брикету 650–750 кг/м³ калорійність дорівнює 12–14 МДж/кг; при питомій вазі 1200–1300 кг/м³ калорійність складає 25–

31 МДж/кг [9, 21–22].

Для виготовлення паливних брикетів використовуються гвинтові брикетні преси або преси ударної дії. Паливні брикети виготовлюються шляхом використання екструдерного пресування при високих температурах. В якості зв'язуючої речовини використовується лігнін, який є природним продуктом і виділяється під час нагрівання. Цей вид палива не містить жодних додаткових хімічних добавок [23–25]. Виробництво паливних брикетів включає такі основні етапи:

1. Подрібнення вихідної сировини до фракції, яка підходить для подальшого брикетування.
2. Сушка сировини до рівня вологості 12 % або менше.
3. Пресування сировини за допомогою екструдерного методу.

Деякі види сировини, такі як, наприклад, соняшник, не вимагають додаткового подрібнення та сушки, адже вони мають вже відповідну вологість (нижче 12 %) і достатньо м'яку фракцію. В таких випадках використовується гранулювання методом екструдерного пресування.

Обладнання для виготовлення паливних брикетів не вимагає ніякої спеціальної ліцензії, воно є не стандартне і виготовляється по технічному завданню.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Розробити брикетувальний гвинтовий прес лушпинної фракції макухи олійних культур і обґрунтувати його конструктивно-технологічні параметри.

Основна частина. Конструктивно-технологічна схема і загальний вигляд брикетувального гвинтового пресу лушпинної фракції макухи олійних культур наведені на рис. 1.

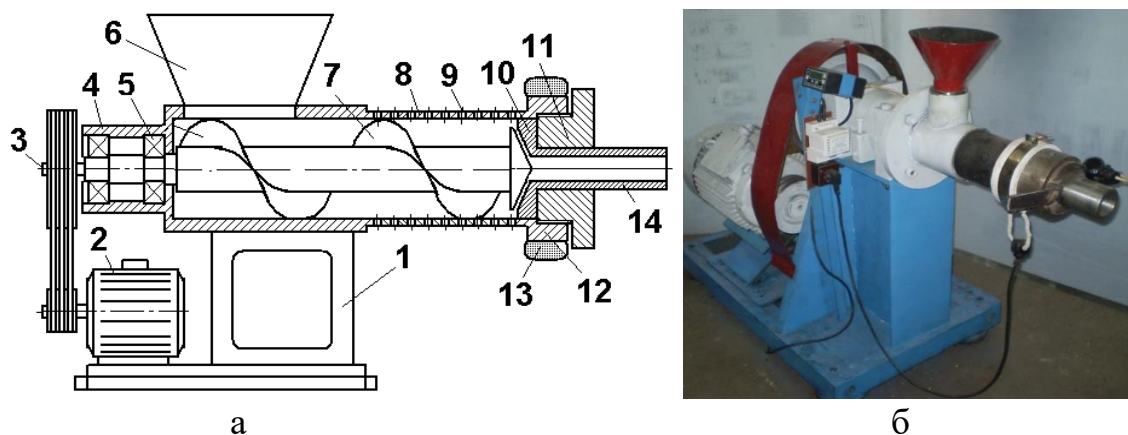


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема (а) і загальний вигляд (б) брикетувального гвинтового пресу лушпинної фракції макухи олійних культур

Прес складається з рами 1, до якої прикріплений електропривід 2, що викликає обертальний рух валу 3, розташованого всередині циліндричного корпусу 4 разом із підшипниковим вузлом 5. Над цим циліндричним корпусом розташований завантажувальний бункер 6, з якого матеріал подається на гвинт 7, який приєднаний до валу 3 і має форму гвинта з конусом на торці. Гвинт обертається всередині перфорованої гільзи 8 з отворами 9. Гільза з одного боку прилягає до циліндричного корпусу 5, а з іншого – до фільтри 10, яка має конічну форму з переходом у циліндричну поверхню 14. Фільтри розташована в стакані 11 і може переміщуватися відносно гайки 12. На зовнішній поверхні гайки 12 закріплено електронагрівач 13.

Для виконання експериментальних досліджень змонтована механізована технологічна лінія переробки макух з насіння олійних культур з одержанням протеїнових добавок і твердого біопалива (рис. 2). Базовим обладнанням цієї лінії стали гвинтова норія, молоткова дробарка, щітковий роторний просіювач та брикетувальний гвинтовий прес.



Рис. 2. Механізована технологічна лінія переробки макух з насіння олійних культур з одержанням протеїнових добавок і твердого біопалива



При проведенні досліджень було використано:

- частотний регулятор асинхронних двигунів Danfoss Micro Drive;
- комплект вимірювальний К-50 – для визначення потужності;
- тахометр ТЧ-10-Р – для визначення частоти обертів робочих органів обладнання;
- секундомір СДПР-12-000 – для визначення продуктивності;
- ваги ВН-10Ц – для зважування досліджуваного матеріалу.

Технічна характеристика брикетувального гвинтового пресу складена на основі даних технічного завдання, технічної документації та результатів експертизи обладнання (табл. 1).

Таблиця 1

Технічна характеристика брикетувального гвинтового пресу

№ п/п	Показники	Значення показника	
		згідно ТЗ	фактично
1	Тип пресу	стаціонарний	стаціонарний
2	Діаметр гвинта, мм	90–110	100
3	Шаг гвинта, мм	17–18	18
4	Діаметр фільтри, мм	40, 50, 60	50
5	Довжина фільтри	130–160	150
6	Частота обертів гвинта, об/хв	не більше 400	320
7	Маса устаткування, кг	не більше 320	290
8	Потужність приводу, кВт	не більше 11	7,5
9	Габаритні розміри, мм:		
	довжина	не більше 1650	1610
	ширина	не більше 1100	1040
	висота	не більше 620	580

Дослідження проведені на лушпинній фракції макухи насіння соняшнику.

В якості факторів досліджень обрано довжину фільтри L (120, 150, 180 мм) і частоту обертання гвинта n (120, 240, 360 об/хв).

Для організації досліджень була використана трирівнева матриця оптимального планування другого порядку Бокса-Бенкіна для аналізу впливу двох факторів.

В результаті обробки даних отримано рівняння залежності продуктивності пресу від факторів досліджень:

$$Q = 295,4455 - 0,6945 L + 0,3441 n + 0,00261 L^2 - 0,0021 Ln + 0,0003 n^2. \quad (1)$$

В результаті статистичної обробки даних і рівняння (1) розраховано: критерій Фішера $F = 2,2512 < F_{05}(5, 30) = 2,53$, коефіцієнт детермінації моделі $R^2 = 0,9730$. Тобто модель (1) – адекватна.

Отримана регресійна модель потужності процесу брикетування:

$$N = 10,5282 + 0,01051 L - 0,02922 n - 1,063 \cdot 10^{-5} L^2 + 4,1668 \cdot 10^{-6} L n + 3,5329 \cdot 10^{-5} n^2. \quad (2)$$

В результаті статистичної обробки даних і рівняння (2) розраховано: критерій Фішера $F = 1,3114 < F_{05}(5, 30) = 2,53$, коефіцієнт детермінації моделі $R^2 = 0,9218$. Тобто модель (2) – адекватна.

Графіки залежностей (1) і (2) наведені на рис. 3.

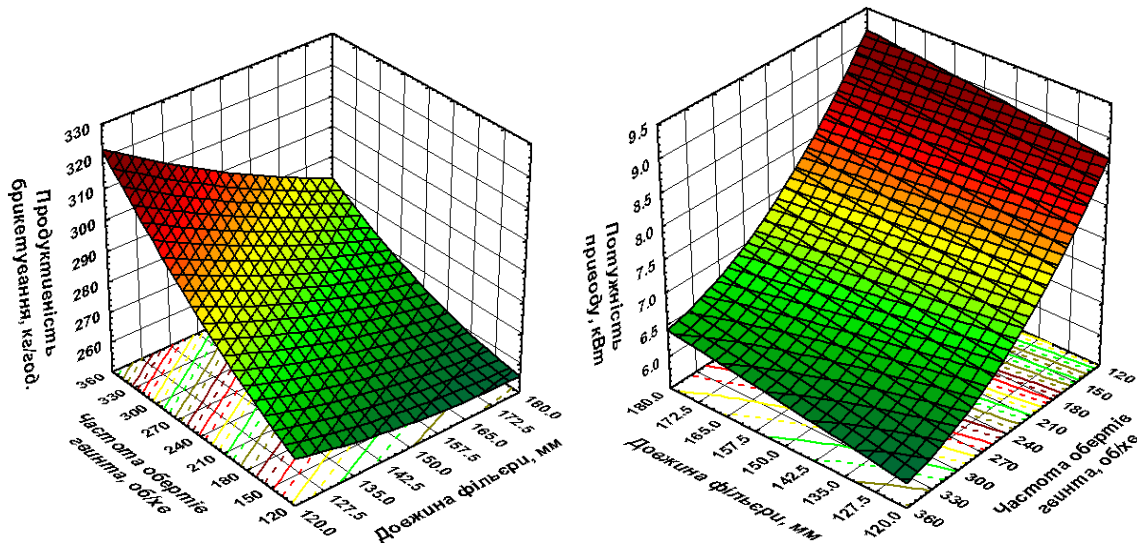


Рис. 3. Залежність продуктивності Q і потужності приводу N від довжини фільтри L (мм) і частоти обертання гвинта n (об/хв.)

Були визначені основні конструктивно-технологічні параметри брикетувального гвинтового пресу, які є раціональними: продуктивність – 260 кг/год, частота обертів гвинта – 320 об/хв, діаметр гвинта – 100 мм, діаметр фільтри – 50 мм і довжина фільтри – 150 мм.

Показники якості роботи брикетувальника наведено в табл. 2

Таблиця 2

Показники якості роботи брикетувального гвинтового пресу

Показники	Значення показника
Тривалість виробничого циклу, год	0,08
Питома вага брикетів з лушпиної фракції, кг/м ³ :	–
– соняшникової макухи	1052
– ріпакової макухи	1012
– гірчичної макухи	1102
Потужність процесу брикетування, кВт	4,9
Потужність холостого ходу, кВт	2,4



Висновки. Для реалізації технологічної лінії по переробці олійного насіння розроблено конструкцію і виготовлено брикетувальний гвинтовий прес.

Встановлена залежність продуктивності Q і потужності приводу N брикетувального гвинтового пресу від довжини фільтри L і частоти обертання гвинта n .

Обґрунтовані раціональні значення основних конструктивно-технологічних параметрів: продуктивність – 260 кг/год, частота обертів гвинта – 320 об/хв, діаметр гвинта – 100 мм, діаметр фільтри – 50 мм і довжина фільтри – 150 мм.

Список використаних джерел

1. Алієв Е. Б. Технологія і технічні засоби комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива. *Пропозиція*. 2019. № 5. С. 187–193.

2. Гриценко В. Т., Бакарджієв Р. О. Перспективи отримання білкових добавок і біопалива з насіння олійних культур. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2013. Т. 2, вип. 98. С. 152–157.

3. Бегма Н. А. Використання кормів: навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2018. 168 с. <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/1362> (дата звернення 04.09.2023).

4. Berwanger E., Nunes R. V., Pozza P. C., Oliveira T. M. M. de Scherer C., Frank R., Bayerle D. F., Henz J. R. Nutritional and energy values of sunflower cake for broilers. *Semina: Ciências Agrárias*. 2014. Vol. 35(6). P. 3429–3438. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3429>.

5. Cordeiro C. N., Freitas E. R., Nepomuceno R. C., Pinheiro S. G., Souza D. H., Watanabe G. C. A., Freitas C. A., Watanabe P. H. Nutritional Composition, Metabolizable Energy and Total Use of Sunflower Seed Cake for Meat Quail. *Braz. J. Poult. Sci.* 2022. Vol. 24(2). P. 1–10. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2021-1470>.

6. Vasudha C., Sarla L. Nutritional quality analysis of sunflower seed cake (SSC). *The Pharma Innovation Journal*. 2021. Vol. 10(4). P. 720–728. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue4/PartK/10-3-59-923.pdf> (дата звернення 19.09.2023).

7. Kumar S. Sunflower is a Good Source of Animal Feed. *J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2018. Vol. 7. P. 2812–2816.



<https://www.ijcmas.com/special/7/Sunil%20Kumar2.pdf> (дата звернення 26.09.2023).

8. Братішко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбікормів гвинтовими грануляторами. Дис. ... д. т. . н.: 05.05.11. Глеваха, 2017. 397 с.

9. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива: науково-методичні рекомендації. Запоріжжя: СТАТУС. 2017. 96 с. http://aliev.in.ua/doc/knigi/kniga_2.pdf (дата звернення 20.09.2023).

10. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Сова Н. А. та ін. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛПА, 2022. 192 с. http://aliev.in.ua/doc/knigi/kniga_6.pdf (дата звернення 20.09.2023).

11. Алієв Е. Б., Пацула О. М. Результати експериментальних досліджень макетної установки для виготовлення пелет з білкової фракції макух насіння олійних культур. Технічні системи і технології тваринництва: *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 157. С. 222–226. http://aliev.in.ua/doc/stat/2015/stat_3.pdf (дата звернення 26.09.2023).

12. Алієв Е. Б., Колбасін О. О., Ручий І. А. Результати експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача. *Олійні культури. тенденції та перспективи*: збірник тез Міжнар.наук. інтернет-конф.(1 листопада 2016 р.). Київ, 2016. С. 132–133. http://aliev.in.ua/doc/stat/2016/stat_9.pdf (дата звернення 19.09.2023).

13. Роторний щітковий просіювач: пат. 89851 Україна, МКИ В07В 1/08. № 200803973; заявл. 31.03.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.

14. Бакарджиєв Р. О., Гриценко В. Т. Параметри кулісного коромисло-повзунного преса брикетувальника. *Праці ТДАТУ*. 2013. Т. 3, вип. 13. С. 23–31.

15. Nurkina S., Kinzhibekova A., Prihodko E. Research and analysis of characteristics of fuel from organic and industrial waste. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2022. Vol. 5. P. 43–54. <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002357>.

16. Demirel C., Herak D., Gurdil G. A. K., Kabutey A. Briquette densification from ground hazelnut husks and sunflower stalks under compression loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 420. No 012019. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012019>.



17. Nikiforov A., Kinzhibekova A., Prikhodko E., Karmanov A., Nurkina S. Analysis of the Characteristics of Bio-Coal Briquettes from Agricultural and Coal Industry Waste. *Energies*. 2023. Vol. 16. P. 3527. <https://doi.org/10.3390/en16083527>.

18. Ibrahim M. S., Bello S., Ibrahim A. Biomass Briquettes as an Alternative Source of Cooking Fuel towards Green Recovery Post COVID-19. *Saudi Journal of Engineering and Technology*. 2020. Vol. 5(6). P. 285–290. <https://doi.org/10.36348/sjet.2020.v05i06.005>.

19. Spirchez C., Lunguleasa A., Croitoru C. Ecological briquettes from sunflower seed husk. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 80. No 01001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001001>.

20. Plíštil D., Brožek M., Malat'ák J., Roy A., Hutla P. Mechanical characteristics of standard fuel briquettes on biomass basis. *Res. Agr. Eng.* 2005. Vol. 51(2). P. 66–72. <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/rae/2005/02/06.pdf> (дата звернення 15.09.2023).

21. Kougioumtzis M. A., Kanaveli I. P., Karampinis E., Grammelis P., Kakaras E. Combustion of olive tree pruning pellets versus sunflower husk pellets at industrial boiler. Monitoring of emissions and combustion efficiency. *Renewable Energy*. 2021. Vol. 171. P. 516–525. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.118>.

22. Bala-Litwiniak A., Musiał D. Computational and Experimental Studies of Selected Types of Biomass Combustion in a Domestic Boiler. *Materials (Basel)*. 2022. Vol. 15(14). No 4826. <https://doi.org/10.3390/ma15144826>.

23. Говоруха В. Б., Луц П. М., Кисельов О. В. Результати лабораторних досліджень процесу виготовлення паливних брикетів з ріпакової соломи. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. Vol. 2(121). P. 23–31. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-2-3>.

24. Marreiro H. M. P., Peruchi R. S., Lopes R. M. B. P., Andersen S. L. F., Eliziário S. A., Rotella Junior P. Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies*. 2021. Vol. 14(24). No 8320. <https://doi.org/10.3390/en14248320>.

25. Kpalo S. Y., Zainuddin M. F., Manaf L. A., Roslan A.M. A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. *Sustainability*. 2020. Vol. 12(11). No 4609. <https://doi.org/10.3390/su12114609>.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2023 р.



V. Koshulko¹, O. Patsula²

¹ Dnipro State Agrarian and Economic University

² Institute of Oilseed Crops of the NAAS

DEVELOPMENT OF A BRIQUETTING SCREW PRESS FOR THE HUSK FRACTION OF THE CAKE OF OIL CROPS

Summary

During the processing of agricultural raw materials, a large amount of various waste is obtained. In Ukraine, the waste of the oil and fat industry is used as valuable fodder for farm animals and poultry – cake from the seeds of oil crops, which is obtained during oil extraction by pressing on hydraulic or screw presses. The husk fraction, which includes the main mass of fiber, is used for the production of fuel briquettes.

For this purpose, the construction and technological scheme of oilseed cake processing includes a plant for the production of fuel briquettes, which will allow to obtain briquettes with a specific weight of at least 1000 kg/m³ at a temperature not higher than 150 °C with a specific heat of combustion up to 19 MJ/kg.

Production of fuel briquettes includes the following main stages. 1. Shredding of raw materials to a fraction suitable for further briquetting. 2. Drying of raw materials to a moisture level of 12% or less. 3. Pressing raw materials using the extruder method.

The purpose of the work is the development of a briquetting screw press for the husk fraction of the cake of oilseed crops and the substantiation of its structural and technological parameters.

For the implementation of the technological line for the processing of oilseeds, a design was developed and a briquetting screw press was manufactured. To carry out experimental research, a mechanized technological line for the processing of cake from oilseeds with the production of protein additives and solid biofuel was installed. The basic equipment of this line became a screw noria, a hammer crusher, a brush rotary sieve and a briquetting screw press.

The length of the spinneret L (120, 150, 180 mm) and the rotation frequency of the screw n (120, 240, 360 rpm) were chosen as research factors. To organize the research, a three-level matrix of optimal planning of the second order of Box-Benkin was used to analyze the influence of two factors.

The dependence of productivity Q and drive power N of the briquetting screw press on the length of the die L and the rotation frequency of the screw n is established. Reasonable rational values of the main structural and technological parameters: productivity – 260 kg/h, screw rotation frequency – 320 rpm, screw diameter – 100 mm, die diameter – 50 mm and die length – 150 mm.

Keywords: pressing, density, experimental setup, design, parameters, rotation frequency, die, performance, power.