

ЕМПІРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ ПТАХІВНИЦТВА

М. М. Заблодський, доктор технічних наук, професор

С. І. Ковальчук, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: kovalchuk@it.nubip.edu.ua; zablodskiyinn@gmail.com

Анотація. Птахівництво – один із ключових гравців у сільському господарстві, однак внаслідок діяльності цієї галузі утворюється надмірно велика кількість відходів, в основному пір'яних. Пір'я – цінна для переробки кератинова сировина. Одним із найефективніших методів переробки пір'яних відходів у промислових масштабах є метод гідротермічного гідролізу. Все частіше гідротермічний гідроліз побічних продуктів птахівництва виконують в шнековому електромеханічному гідролізері. Шнековий електромеханічний гідролізер характеризується своєю універсальністю, а механічні зусилля, що виникають під час роботи, покращують процеси перемішування та теплопередачі. Контроль температури під час гідротермічного гідролізу в шнековому електромеханічному гідролізері є вкрай важливим, тому дослідження цієї роботи є актуальним.

Метою цієї роботи є емпіричне дослідження теплових властивостей шнекового електромеханічного гідролізера.

Для досягнення поставленої мети було розроблено шнековий електромеханічний гідролізер для переробки побічних продуктів птахівництва. Обрано об'єкти дослідження: саморегульований нагрівний кабель SRF 30-2CR з потужністю 30 Вт/м та довжиною в 1 м для попереднього нагрівання сировини, кільцевий міканітовий ЕНКм 52х200, 1,2 кВт, 230В для основного нагрівання та два однофазні статори БЦПЕ 0,5-40У, 720 Вт для впливу магнітним полем. Вимірювання здійснювалися в закритому приміщенні з температурою навколишнього середовища 24 °С протягом 15 хв за допомогою інфрачервоного пірометра BENETECH GM533A. Контроль верхньої межі температури нагрівання здійснено за допомогою цифрового термостата TENSE DT-36E з термопарою типу J.

За результатами дослідження отримано залежності температури об'єктів дослідження від часу. Отримані результати дають змогу стверджувати, що запропонований шнековий електромеханічний гідролізер здатний дотримуватися необхідних параметрів температури для здійснення гідротермічного гідролізу побічних продуктів птахівництва.

Ключові слова: кератинова сировина, гідротермічний гідроліз, електромеханічний перетворювач

Актуальність. Птахівництво – один із ключових напрямів у сільському господарстві. Ця галузь є наукоємною, характеризується динамічним розвитком та щорічним світовим приростом виробничої потужності. Водночас із значними досягненнями внаслідок діяльності галузі утворюється надмірно велика кількість відходів [1]. При цьому більшість відходів не харчового типу не піддаються переробці з метою отримання корисної сировини, що призводить не лише до промислових чи то економічних втрат, але й несе у собі значну небезпеку для екології довкілля.

Пір'я за хімічною будовою, послідовністю амінокислот, балансом мікро- та макроелементів є цінною сировиною для виготовлення кормових добавок [2]. Існуючі технології переробки відходів птахівництва базуються на процесах, в яких доступність та знезараження цінних елементів сировини досягається шляхом кислотного та лужного гідролізу. Такі методи призводять до втрати та рацемізації амінокислот, утворення циклопептидів та зменшення якості кінцевої продукції [3]. Тому перед сучасною промисловістю переробки стоїть завдання з розробки нових, екологічно чистих різновидів технології переробки побічних продуктів птахівництва, що надаватиме можливість за високих значень економічної ефективності виготовляти кормові добавки та іншу продукцію.

Одним з найефективніших методів переробки пухо-пір'яних відходів у промислових масштабах є метод гідротермічного гідролізу. Процес гідротермічного гідролізу – перетворення біомаси під тиском за помірних температур 180-230 °C через ряд реакцій гідролізу, конденсації, декарбоксилювання та дегідрації [4]. Вода виступає у ролі зеленого розчинника, оскільки вона дешева, доступна і нетоксична. В умовах гідротермічного гідролізу вода знаходиться у субкритичній рідкій фазі, яка характеризується підвищеною здатністю до розчинності органічних речовин [5].

Все частіше гідротермічний гідроліз побічних продуктів птахівництва виконують у шнековому електромеханічному гідролізері. Шнековий електромеханічний гідролізер характеризується своєю універсальністю, а механічні зусилля, що виникають під час роботи, покращують процеси перемішування та теплопередачі [5]. Контроль температури під час гідротермічного гідролізу в

шнековому електромеханічному гідролізері є вкрай важливим, тому дослідження цієї роботи є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує декілька публікацій, присвячених дослідженню теплових процесів у шнековому електромеханічному гідролізері. У роботі [6] проведені дослідження ефектів передачі тепла матеріалу переробки. Визначено, що ефект теплопередачі в двошнековому перетворювачі кращий, а ніж в одношнековому. Визначено фундаментальні фізичні явища та взаємодії між фізичним переміщенням та хімічними реакціями в сировині переробки. Надано рекомендації з проектування шнекових перетворювачів. У роботі недостатньо уваги надано дослідженню впливу геометрії лопатей шнеку на продуктивність виходу та якість переробки сировини. У роботі [7] виконано математичне моделювання розподілу температури за тривимірною моделлю феромагнітного ротора двошнекового електромеханічного гідролізера. Сформовано основні аспекти гідротермічного гідролізу в шнековому електромеханічному гідролізері. У роботі [5] представлено результати чисельного дослідження теплових процесів у двошнековому електромеханічному гідролізері для переробки побічних продуктів птахівництва. Отримано просторове зображення температури шляхом математичного моделювання фізики електромагнітних полів, теплопередачі в твердих тілах та мультифізичного зв'язку – електромагнітне нагрівання в частотно-перехідній області дослідження. Математична модель, представлена в роботі, побудована за методом кінцевих елементів. Результати моделювання представлені у вигляді тривимірного зображення щільності розподілення магнітного поля, просторових зображень температури, об'ємної щільності електричних втрат, графічних залежностей температури та щільності струму.

Публікації [5-7] всебічно охоплюють дослідження теплових властивостей шнекових електромеханічних гідролізерів, враховуючи складну геометрію шнека-ротора, однак базуються на чисельних методах дослідження і потребують доповнення у вигляді емпіричних досліджень.

Мета дослідження – емпіричне дослідження теплових властивостей шнекового електромеханічного гідролізера для переробки побічних продуктів птахівництва.

Матеріали і методи дослідження. Електромеханічний гідролізер, представлений в цій роботі, є спрощеною реалізацією двошнекового електромеханічного гідролізера, описаного в роботах [5, 7] (рис. 1).



Рис. 1. Шнековий електромеханічний гідролізер

У цьому гідролізері завантажена пір'яна сировина проходить дві зони впливу. У першій робочій зоні шнеку пір'я попередньо нагрівається до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ та піддається впливу магнітного поля частотою 1-50 Гц з індукцією 0,025 Тл. Сировина в першій робочій зоні ущільнюється до утворення сировинного ущільнення (пробки) за рахунок зменшення прохідного перерізу шнеку (рис. 2). За тиску ущільнення 1-20 МПа сировина подається в другу робочу зону, де її розпушують зменшеною в діаметрі частиною витків шнеку, переміщують за температури $180\text{-}260\text{ }^{\circ}\text{C}$, піддають впливу магнітного поля частотою 1-50 Гц з індукцією 0,065 Тл протягом часу 110 с та здійснюють вакуумний вплив кожні 10-60 с.



Рис. 2. Шнек електромеханічного гідролізера

Попереднє нагрівання сировини до 60 °С у першій робочій зоні здійснюється за допомогою саморегульованого нагрівного кабеля SRF 30-2CR з потужністю 30 Вт/м та довжиною в 1 м (рис. 3).



Рис. 3. Саморегульований нагрівний кабель SRF 30-2CR

Основне нагрівання сировини до температури 180-260 °С здійснюється за допомогою нагрівного пристрою ЕНКм 52х200, 1,2 кВт, 230В – кільцевий міканітовий з температурою нагрівання до 350 °С (рис. 4). Контроль температури в межах діапазону 180-260 °С здійснюється за допомогою цифрового термостата TENSE DT-36E з термопарою типу J (рис. 5).



Рис. 4. Кільцевий міканітовий ЕНКм 52х200, 1,2 кВт, 230В



Рис. 5. Цифровий термостат TENSE DT-36E, 0-600 °C

Вплив магнітним полем здійснюється за допомогою двох однофазних статорів з пусковими конденсаторами потужністю 720 Вт кожен – БЦПЕ 0,5-40У (рис. 6).



Рис. 6. Однофазні статори БЦПЕ 0,5-40У, 720 Вт

Вимірювання температури здійснювали за допомогою інфрачервоного пірометра BENETECH GM533A з характеристиками: діапазон вимірювання -50-530 °C, показник візування 12:1, коефіцієнт теплового випромінювання 0,1-1, спектр 5-14 мкм (рис. 7).



Рис. 7. Інфрачервоний пірометр BENETECH GM533A

Результати досліджень та їх обговорення. Дослідження теплових властивостей шнекового електромеханічного гідролізера було здійснено в закритому приміщенні з температурою навколишнього середовища 24 °С. Вимірювання температури здійснювалось інфрачервоним пірометром BENETECH GM533A на відстані 0,5 м від об'єкта дослідження. Джерела тепла вмикались в мережу по чергово, перед наступним вимірюванням проводилась витримка часом для охолодження об'єкта дослідження до температури навколишнього середовища. Результати дослідження представлені на рис. 8-10.

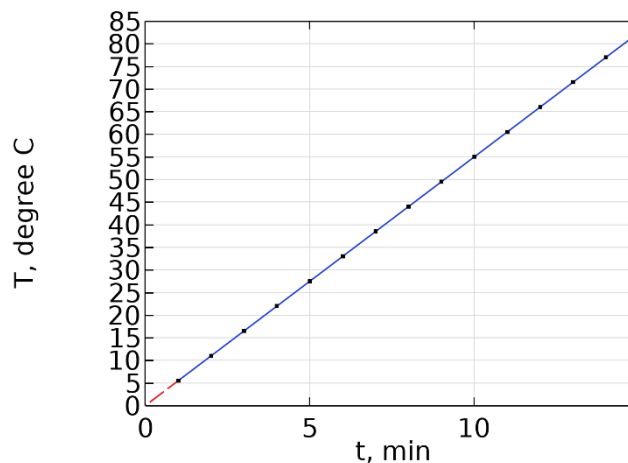


Рис. 8. Залежність температури нагрівання кабеля SRF 30-2CR від часу

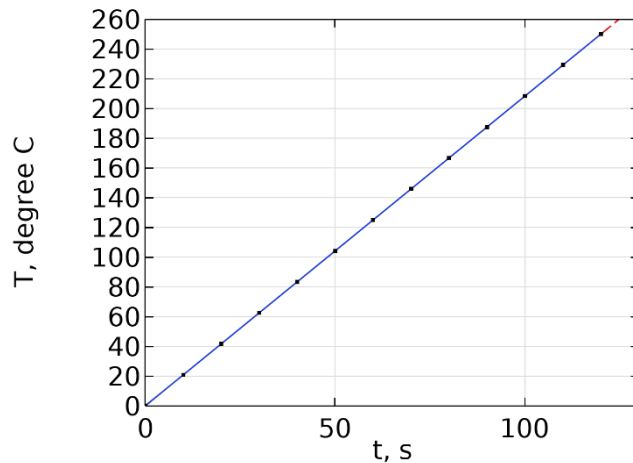


Рис. 9. Залежність температури нагрівання ЕНКм 52х200, 1,2 кВт, 230В від часу

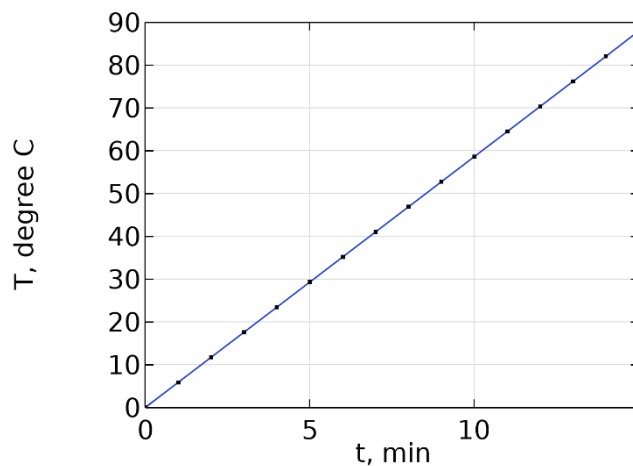


Рис. 10. Залежність температури нагрівання БЦПЕ 0,5-40У, 720 Вт від часу

Усі об'єкти дослідження вмикались в мережу напругою 220 В, вимірювання виконувались протягом часу 15 хв. З результатів дослідження помітно, що зростання температури має лінійний характер. Кільцевий міканітовий ЕНКм 52х200, 1,2 кВт, 230 В, досягнув температури технологічного процесу за час 2 хв, після чого температури підтримувалась на встановленій верхній межі в 250 °С за допомогою цифрового термостата TENSE DT-36E.

За результатами дослідження можна стверджувати, що шнековий електромеханічний гідролізер здатний дотримуватися необхідних теплових властивостей необхідних для здійснення гідротермічного гідролізу побічних продуктів птахівництва, отриманні параметри відповідають математично

дослідженим показникам гідротермічного гідролізу, запропонованого в роботах [5, 7].

Висновки і перспективи. Емпіричне дослідження теплових властивостей шнекового електромеханічного гідролізера, представлене в роботі, дозволяє стверджувати, що запропонований пристрій здатен ефективно дотримуватися теплових параметрів гідротермічного гідролізу, здійснювання регулювання цих параметрів у широких межах. Отримані результати дають можливість сформулювати кроки виконання технологічного процесу з переробки сировини, а також можливості створення інтелектуальних схем керування тепловими властивостями шнекового електромеханічного гідролізера.

Список використаних джерел

1. Salminen E., Rintala J. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste - A review. *Bioresource Technology*. 2002. Vol. 83, No. 1. P. 13-26. doi:10.1016/S0960-8524(01)00199-7
2. Корх І. В., Муржа І. І., Кебко В. Г., Кобаль Б. І., Зазуля І. М. Інноваційна технологічна лінія з виробництва комбінованої високопротеїнової кров'яно-пір'яної кормової добавки в ТОВ «Комплекс Агромарс». *Науково-технічний бюлетень ІТ НААН*. 2017. № 118. С. 94-104.
3. Ashok K. N., Sharma S. *Keratin as a Protein Biopolymer: Extraction from Waste Biomass and Applications*. Springer, 2019.
4. Zaini I. N., Novianti S., Nurdiawati A., Irhamna A. R., Aziz M., Yoshikawa K. Investigation of the physical characteristics of washed hydrochar pellets made from empty fruit bunch. *Fuel Processing Technology*. 2017. Vol. 160. P. 109-120. doi:10.1016/j.fuproc.2017.02.020
5. Kovalchuk S., Zablodskiy N., Zhyltsov A., Chuenko R., Gritsyuk V. The numerical analysis of thermal processes in a twin-screw electromechanical hydrolyser for poultry by-products processing. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2021. Vol. 34, No. 110. P. 96-103. doi:10.15276/eltecs.34.110.2021.10
6. Campuzano F., Brown R. C., Daniel Martínez J. Auger reactors for pyrolysis of biomass and wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 102. P. 372-409. doi:10.1016/j.rser.2018.12.014
7. Zablodskiy M., Kovalchuk S. The main aspects of the technology of processing keratin raw materials under the influence of a magnetic field. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 278-282. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250153

References

1. Salminen, E., Rintala, J. (2002). Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste - A review. *Bioresource Technology*, 83(1), 13-26. doi:10.1016/S0960-8524(01)00199-7
2. Korh, I. V., Murzha, I. I., Kebko, V. G., Kobal, B. I., Zazulya, I. N. (2017). Innovatsiina tekhnologichna liniia z vyrobnytstva kombinovanoi vysokoproteinovoi krov'iano-pir'iano kormovoi dobavky v TOV «Kompleks Ahromars» [Innovative technological line for the production of a combined high-protein blood-feather feed additive]. *Naukovotekhnichnyy byuleten IT NAAN*, 118, 94-104.
3. Ashok, K. N., Sharma, S. (2019). *Keratin as a Protein Biopolymer: Extraction from Waste Biomass and Applications*. Springer.
4. Zaini, I. N., Novianti, S., Nurdiawati, A., Irhamna, A. R., Aziz, M., Yoshikawa, K. (2017). Investigation of the physical characteristics of washed hydrochar pellets made from empty fruit bunch. *Fuel Processing Technology*, 160, 109-120. doi:10.1016/j.fuproc.2017.02.020
5. Kovalchuk, S., Zablodskiy, N., Zhylytsov, A., Chuenko, R., Gritsyuk, V. (2021). The numerical analysis of thermal processes in a twin-screw electromechanical hydrolyser for poultry by-products processing. *Electrotechnic and Computer Systems*, 34(110), 96-103. doi:10.15276/eltecs.34.110.2021.10
6. Campuzano, F., Brown, R. C., Daniel Martínez, J. (2019). Auger reactors for pyrolysis of biomass and wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 372-409. doi:10.1016/j.rser.2018.12.014
7. Zablodskiy, M., Kovalchuk, S. (2020). The main aspects of the technology of processing keratin raw materials under the influence of a magnetic field. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 278-282. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250153

EMPIRICAL STUDY OF THERMAL PROPERTIES OF A SCREW ELECTRO-MECHANICAL HYDROLYZER FOR PROCESSING POULTRY BY-PRODUCTS

N. Zablodskiy, S. Kovalchuk

Abstract. *Poultry farming is one of the key players in agriculture, but as a result of the activity of this industry, an excessively large amount of waste, mainly feathers, is generated. Feathers are valuable keratin raw materials for processing. One of the most effective methods of processing feather waste on an industrial scale is the hydrothermal hydrolysis method. Increasingly, hydrothermal hydrolysis of poultry by-products is performed in a screw electromechanical hydrolyzer. The screw electromechanical hydrolyzer is characterized by its versatility, and the mechanical forces arising during operation improve the mixing and heat transfer processes. Temperature control during hydrothermal hydrolysis in a screw electromechanical hydrolyzer is extremely important, so the study of this work is relevant.*

The purpose of this work is an empirical study of the thermal properties of a screw electromechanical hydrolyzer. To achieve this goal, a screw electromechanical hydrolyzer was developed for the processing of poultry by-products.

The objects of the study were selected: a self-regulating heating cable SRF 30-2CR with a power of 30 W/m and a length of 1 m for preheating raw materials, a ring micanite, 1.2 kW, 230V for the main heating and two single-phase stators, 720 W for magnetic field exposure. Measurements were carried out in a closed room with an ambient temperature of 24 °C for 15 minutes using an infrared pyrometer BENETECH GM533A. Control of the upper limit of the heating temperature is carried out using a TENSE DT-36E digital thermostat with a J-type thermocouple.

According to the results of the study, the dependence of the temperature of the research objects on time was obtained. The obtained results make it possible to state that the proposed screw electromechanical hydrolyzer is capable of maintaining the necessary temperature parameters for hydrothermal hydrolysis of poultry by-products.

Key words: *keratin raw material, hydrothermal hydrolysis, electromechanical converter*