

DOI 10.31891/2307-5732-2024-343-6-64
УДК 662.61:662.93

ЦУРКАН ОЛЕГ

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»
<https://orcid.org/0000-0002-7218-0026>
e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net

СПІРІН АНАТОЛІЙ

Відокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»
<https://orcid.org/0000-0002-4642-6205>
e-mail: spirinanatoly16@gmail.com

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР

Вінницький національний аграрний університет
<https://orcid.org/0000-0002-6366-7772>
e-mail: v_rut@ukr.net

ДІДИК АНДРІЙ

Вінницький національний аграрний університет
<https://orcid.org/0000-0002-0524-0017>
e-mail: anddidyk99@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ШКАРАЛУПИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ В ЯКОСТІ ПАЛИВА

При повній переробці волоських горіхів окрім основного продукту – ядра горіха, залишається в тому числі і його шкаралупа. Технологія переробки волоських горіхів передбачає наявність процесу сушіння який є найбільш енергозатратним для всієї технології. Найбільш розповсюджені в сільському господарстві сучасні конвективні сушарки витрачають 5,5 – 6,0 МДж/кг випарованої вологи. В умовах сьогодення при значному дефіциті традиційних джерел енергії доцільно звернутись до альтернативних палив, одним з яких є шкаралупа волоського горіха. Вона має високу теплоту згоряння (21 МДж/кг) і низьку зольність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те що проблема використання рослинних решток в якості палива розробляється вітчизняними та зарубіжними дослідниками. Основна увага приділена відходам основних культур що вирощуються в Україні: пшениця, кукурудза на зерно і соняшник. Використання відходів як палива вимагає специфічних умов організації процесу горіння, експлуатації паливоспалювальних установок і облаштування систем очищення продуктів згоряння.

Аналіз останніх досліджень показує що питання теорії та практики згоряння шкаралупи волоських горіхів залишається відкритим. Основна увага приділяється «традиційним» паливам із рослинних решток.

Метою досліджень є зменшення затрат енергії при переробці волоських горіхів шляхом розробки теоретичних та практичних заходів та засобів для використання шкаралупи горіхів в якості палива. З енергетичної точки зору шкаралупа волоського горіха стоїть в одному ряду з традиційними паливами які використовують в тому числі і в сільському господарстві. Адже теплота згоряння паливних брикетів з волоського горіху становить близько 21 МДж/кг, причому при дуже малій зольності (близько 1 %). Для порівняння: теплота згоряння умовного палива становить 29,35 МДж/кг, природного газу 33-38 МДж/м³, бурого вугілля в середньому 24 МДж/кг, деревини 10-12 МДж/кг.

Ключові слова: шкаралупа горіха, питома теплота згоряння, фізико-механічні властивості горіха, швидкість горіння, коефіцієнт надлишку повітря, котел.

TSURKAN OLEH, SPIRIN ANATOLII

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

RUTKEVYCH VOLODYMYR, DIDYK ANDRII

Vinnytsia National Agrarian University

USING WALNUT SHELLS AS FUEL

With the complete processing of walnuts, in addition to the main product - the kernel of the walnut, its shell remains. The technology of processing walnuts involves the presence of a drying process, which is the most energy-consuming for the entire technology. The most common modern convective dryers in agriculture consume 5.5 – 6.0 MJ/kg of evaporated moisture. In today's conditions, with a significant shortage of traditional energy sources, it is advisable to turn to alternative fuels, one of which is walnut shells. It has a high calorific value (21 MJ/kg) and low ash content.

The analysis of recent studies and publications indicates that the problem of using plant residues as fuel is being developed by domestic and foreign researchers. The main attention is paid to the waste of the main crops grown in Ukraine: wheat, corn for grain and sunflower. The use of waste as fuel requires specific conditions for the organization of the combustion process, the operation of fuel combustion plants and the arrangement of combustion product purification systems.

An analysis of recent studies shows that the question of the theory and practice of walnut shell combustion remains open. The focus is on "traditional" fuels from plant residues.

The aim of the research is to reduce energy expenditure in the processing of walnuts by developing theoretical and practical measures and means for the use of nutshells as fuel. From an energy point of view, walnut shells are on a par with traditional fuels, which are used, among other things, in agriculture. After all, the heat of combustion of walnut fuel briquettes is about 21 MJ/kg, and with a very low ash content (about 1%). For comparison: the calorific value of equivalent fuel is 29.35 MJ/kg, natural gas 33-38 MJ/m³, lignite on average 24 MJ/kg, wood 10-12 MJ/kg.

Keywords: walnut shell, specific heat of combustion, physical and mechanical properties of walnut, combustion rate, excess air coefficient, boiler.

Постановка проблеми

Про користь волоських горіхів написано багато матеріалу: статей, заміток, нарисів тощо. Наприклад, в [1] як і в багатьох інших джерелах, описуються гастрономічні, лікарські, фармацевтичні та інші цінні якості волоських горіхів. В більшості публікацій мова йде про ядро волоського горіха, а про його інші складові частини матеріалу набагато менше. Потрібно зауважити що мова про складові частини волоського горіху при його вирощуванні і переробці в промислових масштабах може йти лише у випадку повної його переробки, тобто розділення на складові частини і їх переробку, наприклад, як це описано в [2]. Там представлена технологія повної переробки волоських горіхів з розділенням на основні фракції: шкаралупа, ядро, перикарпій, перетинка. Підкреслимо ще раз що основною продукцією виробництва волоських горіхів наразі є саме ядро горіха. Використання інших фракцій поки, що знаходиться на початковій стадії.

Якщо кінцевим продуктом переробки буде горіх в шкаралупі, його вологість має становити 10 % [3]. Якщо ж кінцевою метою переробки є всі фракції горіха, як показано в [2], постає нагальне питання про сушіння горіхів після їх миття з метою успішного виконання операції розколювання, сепарації та інших. В будь-якому випадку в складі технології переробки горіхів має бути присутня операція сушіння і відповідне обладнання для її реалізації.

Потрібно відмітити що операція сушіння є найбільш енергоємною у більшості технологій переробки продукції рослинництва. Не є виключенням і технологія переробки волоських горіхів. Адже якщо із саду горіхи поступають вологістю, наприклад, 30 % (що має місце в період збирання горіхів навіть без дощової погоди), то для доведення продукції до кондиційної вологості 10 % з кожного кілограму зібраних горіхів потрібно випарувати по 0,22 кілограми вологи. Найбільш розповсюджені в сільському господарстві сучасні конвективні сушарки витрачають 5,5 – 6,0 МДж/кг випаруваної вологи [5, 6]. Це досить значна кількість енергії, особливо враховуючи проблеми сьогодення України в забезпеченні традиційними джерелами енергії. Звичайно, потрібно звертатись до альтернативних джерел енергії. Їх існує досить значна кількість, але зараз ми хочемо поговорити про використання шкаралупи волоських горіхів у якості альтернативного палива. Адже воно має досить високу питому теплоту згоряння, низьку зольність і в решті наразі найбільша перевага при реалізації технології переробки волоських горіхів – воно знаходиться на цьому ж місці, буквально під ногами.

Але переваги шкаралупи горіхів як палива потребують додаткових теоретичних та експериментальних досліджень. Адже для спалювання шкаралупи горіхів не можна застосовувати ті самі котли, що й для спалювання дров, соломі та інших подібних матеріалів. Потрібно створити математичну модель згоряння шкаралупи волоських горіхів і на її основі розробити прийнятну конструкцію котельного обладнання.

Робота по розробці обладнання для використання шкаралупи волоських горіхів у якості палива наразі є актуальною і саме вирішенню цієї проблеми присвячена дана стаття.

Аналіз останніх джерел

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що проблема використання рослинних решток в якості палива розробляється вітчизняними та зарубіжними дослідниками. Так в [7] поданий детальний аналіз та рекомендації щодо використання відходів продукції рослинництва у якості палива. Основна увага приділена відходам основних культур що вирощуються в Україні: пшениця, кукурудза на зерно і соняшник. Про горіх та його шкаралупу, на жаль, мова не йдеться. В роботі [8] розглядаються питання виробництва і подальшого використання біогазу з рослинних відходів. Потрібно відмітити що продукти переробки волоських горіхів мало придатні для виробництва біогазу. Використання ще одного виду альтернативного палива – твердих побутових відходів (ТПВ) розглянуто в [9]. У статті представлені результати експериментальних досліджень процесу спалювання ТПВ і рекомендації щодо безпечної і ефективної організації такого процесу. Результати досліджень підтверджують, що використання відходів як палива вимагає специфічних умов організації процесу горіння, експлуатації паливоспалювальних установок і облаштування систем очищення продуктів згоряння.

Цінність саме цієї роботи полягає в тому, що в ній наголошується про специфічність кожного виду палива, що потребує окремого підходу і дослідження.

Зарубіжні дослідники також приділяють багато уваги проблемі використання рослинних відходів у якості альтернативних палив. Так, в роботі [10] наведені результати вивчення продуктів згоряння опалювальних пристроїв, що працюють на пелетах які отримані від обрізання винограду. Результати підкреслюють, що, уникаючи спалювання на відкритому повітрі та використовуючи цю залишкову біомасу для виробництва енергії, можна досягти значного зменшення забруднення навколишнього середовища разом із збільшенням виробництва енергії з відновлюваних джерел. Результати досліджень в [11] представлено підхід до моделювання спалювання деревних пелет у побутових системах опалення, проблема якого полягає в описі руху та перетворення твердого палива під час взаємодії з навколишньою газовою фазою. Розкрито деталі нестационарного виділення водяної пари, газів піролізу та продуктів згоряння. Нерівномірний геометричний розподіл пелет на решітці пальника в результаті несиметричної подачі палива призводить до відхилення полум'я газу над шаром пелет в одну сторону від камери згоряння. В роботі [12] представлено дослідження щодо покращення спалювання деревних та агропелет у водогрійних котлах. Авторами запропоновано нову концепцію системи згоряння біомаси, що складається з ротаційного пальника та двох типів підсилювачів горіння, з метою забезпечення простого застосування в більшості існуючих котлів, а також

підвищення ефективності та зниження викидів для дотримання відповідних вимог Стандартів ЄС. У статті [13] наведено експериментальні результати дослідження спалювання лушпиння соняшника, що подається зі швидкістю 45 кг/год, в конічній камері з киплячим шаром. Було вивчено вплив робочих параметрів, таких як надлишок повітря (α) і співвідношення вторинного повітря до загального повітря (S/T) на продуктивність згоряння та характеристики викидів оксидів вуглецю (CO), азоту (NO) і вуглеводнів (CxHy), а також ефективність згоряння.

Аналіз останніх досліджень показує що питання теорії та практики згоряння шкаралупи волоських горіхів залишається відкритим. Основна увага приділяється «традиційним» паливам із рослинних решток: соломі злакових культур, решткам від збирання кукурудзи на зерно та соняшника. Наукові дані по використуванню шкаралупи волоських горіхів в якості палива ще мають вивчатись.

Метою досліджень є зменшення затрат енергії при переробці волоських горіхів шляхом розробки теоретичних та практичних заходів та засобів для використання шкаралупи горіхів в якості палива.

Виклад основного матеріалу

Використання шкаралупи волоського горіха в якості палива найбільш доцільно саме при промислових об'ємах його переробки. Адже по масі шкаралупа складає майже половину від цілого горіха. Тому в промислових масштабах є сенс використовувати котли для твердого палива з умовою правильного підбору параметрів які відповідають саме шкаралупі горіха.

З енергетичної точки зору шкаралупа волоського горіха стоїть в одному ряду з традиційними паливами які використовують в тому числі і в сільському господарстві. Адже теплота згоряння паливних брикетів з волоського горіху становить близько 21 МДж/кг, причому при дуже малій зольності (близько 1 %). Для порівняння: теплота згоряння умовного палива становить 29,35 МДж/кг, природного газу 33-38 МДж/м³, бурого вугілля в середньому 24 МДж/кг, деревини 10-12 МДж/кг.

Наведемо основні етапи розрахунку процесу горіння горіхової шкаралупи і вибору котлоагрегату для реалізації цього процесу.

Перш за все визначається хімічний склад палива. В [12] приводиться хімічний склад багатьох пелет з рослинних матеріалів, в тому числі і шкаралупи волоського горіха. Наведемо ці дані: $C^p=48,08\%$; $H^p=5,70\%$; $O^p=38,96\%$; $N^p=0,21\%$; $S^p=0,04\%$; $W^p=6,82\%$; $A^p=0,19\%$; $V^p=78,6\%$; $Q_{p}^u=21$ МДж/кг. Максимальна температура горіння шкаралупи становить 2110⁰ С. Потім вибирають одну з типових розрахункових схем топкових агрегатів. Вони представлені на рис.1.

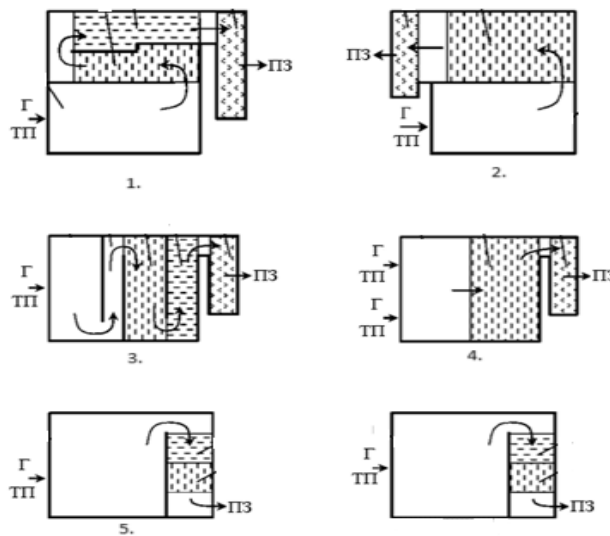


Рис.1. Розрахункові схеми топкових агрегатів:

1 – топкова камера; 2 – перший конвективний пучок; 3 – другий конвективний пучок;
4 – економайзер; 5 – камера догорання; 6 – ланцюгова решітка; Г – газ; П – повітря; ТП – тверде паливо; ПЗ – продукти згоряння; → – напрям руху газів в котлі

Теоретичний об'єм повітря для горіння визначають з виразу:

$$V^0 = 0,0889(C^p + 0,375 \cdot 8^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O^p \quad (1)$$

де C^p , 8^p , H^p , O^p , CO^c , H_2^c , H_2S^c , $C_m H_n^c$ – процентний вміст в паливі на робочу або суху масу відповідно вуглецю, горючої сірки, водню, кисню, оксиду вуглецю, сірководню, вуглеводнів, %.

Оскільки на практиці не вдається повністю спалити паливо при подачі в топку тільки з теоретично-розрахованим обсягом повітря V^0 то зазвичай повітря на горіння подають дещо більше (з деяким надлишком), ніж це розраховано за формулою. Ця величина надлишку повітря оцінюється коефіцієнтом надлишку повітря α_T . Коефіцієнт надлишку повітря для шкаралупи волоських горіхів становить $\alpha_T = 1,4$.

Повний розрахунок котла для спалювання шкаралупи волоських горіхів не входить в завдання даної роботи. Для цього існують певні причини. Процес горіння шкаралупи має певні особливості. Адже це паливо має високу теплоту згоряння і високу температуру горіння. Тому не рекомендується робити котли для спалювання шкаралупи в умовах господарства, тобто кустарним способом. Потрібно вибирати котел заводського виробництва відповідно до умов в яких відбувається реалізація технології переробки горіхів.

Висновки та пропозиції

Використання шкаралупи волоських горіхів в якості палива є перспективним шляхом для зменшення затрат енергії при їх переробці, адже шкаралупа має високу теплоту згоряння (21 МДж/кг) і низьку зольність.

При спалюванні шкаралупи потрібно забезпечити високий коефіцієнт надлишку повітря ($\alpha_T = 1,4$). Це залежить від теплофізичних характеристик шкаралупи, а також розмірами шару матеріалу в якому відбувається процес горіння.

Аналіз літературних джерел свідчить про недостатній рівень інформаційного забезпечення питання згоряння шкаралупи волоських горіхів, особливо у вітчизняних дослідників.

Література

1. Користь горіхів [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://delikatto.com.ua/korust-horihiv> (дата звернення 25.11.2024)
2. Калетнік Г.М. Технологія переробки волоських горіхів / Г.М. Калетнік, О.В. Цуркан, А.В. Спирін, А.М. Дідик // Вібрації в техніці та технологіях. – 2024. – № 2 (113). С. 5–13.
3. ДСТУ 8900:2019 Горіхи волоські. Технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc> (дата звернення 1.12.2024)
4. Руткевич В.С. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкаралупі / Руткевич В.С., Дідик А.М. // Вісник Хмельницького національного університету Серія: Технічні науки. - 2023. - № 1 (317). С. 230-236
14. Цуркан О.В. Розробка конвективно-вібраційної сушарки для сушіння волоських горіхів / О.В. Цуркан, А.В. Спирін, В.С. Руткевич, А.М. Дідик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки – 2024. – № 2 (331). С. 393–399.
6. Kaletnik G. Substantiation of the operating parameters of walnut drying equipment./ Kaletnik G. Tsurkan O., Spirin A., Gudzenko N., Prysiazniuk D., Didyk A. // Journal of Engineering Sciences (Ukraine. – 2024- Vol . 11(2), pp. F27–F35. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(2\).f4](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(2).f4)
7. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. / Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. // Аналітична записка БАУ №7. Біоенергетична асоціація України, - 2014. 31 с.
8. Токарчук Д.М. Перспективи використання відходів рослинництва на виробництво біогазу в Україні. / Токарчук Д.М., Пришляк Н. В., Паламаренко Я. В. // АГРОСВІТ. – 2020. - № 22. С.51-57.
9. Колієнко А. Г. Фактори використання відходів в якості палива в теплоенергетичних системах. / Колієнко А. Г., Шеліманова О. В. // Енергетика і автоматика. – 2023. - №5 2023 р. С.48-57.
10. Pizzi A. Emissions of heating appliances fuelled with agropellet produced from vine pruning residues and environmental aspects. / Pizzi A. // Renewable Energy. - 2018. - T. 121. С. 513–520.
11. Wiese J. DEM/CFD modeling of the fuel conversion in a pellet stove. / Wiese J. // Fuel Processing Technology. - 2016. - T. 152. С. 223–239.
12. Horvat I. Numerical and experimental methods in development of the novel biomass combustion system concept for wood and agro pellets. / Horvat I., Dović D., Filipović P. // Energy. - 2021. - T. 231. С. 120929.
13. Sirisomboon K. Effects of air staging on emission characteristics in a conical fluidized-bed combustor firing with sunflower shells. / Sirisomboon K., Charernporn P. // Journal of the Energy Institute. - 2017. - T. 90, № 2. С. 316–323.

References

1. Koryst horikhiv [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu: <http://delikatto.com.ua/korust-horihiv> (data zvernennia 25.11.2024)
2. Kaletnik H.M. Tekhnolohiia pererobky voloskykh horikhiv / H.M. Kaletnik, O.V. Tsurkan, A.V. Spirin, A.M. Didyk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2024. – № 2 (113). С. 5–13.
3. DSTU 8900:2019 Horikhy voloski. Tekhnichni umovy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc> (data zvernennia 1.12.2024)
4. Rutkevych V.S. Ohliad metodiv ta zasobiv dlia sushinnia voloskoho horikha v shkarlupi / Rutkevych V.S., Didyk A.M. // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo univertsytetu Serii: Tekhnichni nauky. - 2023. - № 1 (317). С. 230-236
5. Цуркан О.В. Розробка конвективно-вібраційної сушарки для сушіння волоських горіхів / О.В. Цуркан, А.В. Спирін, В.С. Руткевич, А.М. Дідик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки – 2024. – № 2 (331). С. 393–399.
6. Kaletnik G. Substantiation of the operating parameters of walnut drying equipment./ Kaletnik G. Tsurkan O., Spirin A., Gudzenko N., Prysiazniuk D., Didyk A. // Journal of Engineering Sciences (Ukraine. – 2024- Vol . 11(2), pp. F27–F35. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(2\).f4](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(2).f4)
7. Heletukha H.H. Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv silskoho hospodarstva dlia vyrobnytstva enerhii v Ukraini. / Heletukha H.H., Zheliezna T.A. // Analitychna zapyska BAU №7. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy, - 2014. 31 s.
8. Tokarchuk D.M. Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv roslynyntstva na vyrobnytstvo biohazu v Ukraini. / Tokarchuk D.M., Pryshliak N. V., Palamarenko Ya. V. // AHROSVIT. – 2020. - № 22. S.51-57.

-
9. Koliienko A. H. Faktory vykorystannia vidkhodiv v yakosti palyva v teploenerhetychnykh systemakh. / Koliienko A. H., Shelimanova O. V. // Enerhetyka i avtomatyka. – 2023. - №5 2023 r. S.48-57.
 10. Pizzi A. Emissions of heating appliances fuelled with agropellet produced from vine pruning residues and environmental aspects. / Pizzi A. // Renewable Energy. - 2018. - T. 121. S. 513–520.
 11. Wiese J. DEM/CFD modeling of the fuel conversion in a pellet stove. / Wiese J. // Fuel Processing Technology. - 2016. - T. 152. S. 223–239.
 12. Horvat I. Numerical and experimental methods in development of the novel biomass combustion system concept for wood and agro pellets. / Horvat I., Dović D., Filipović P. // Energy. - 2021. - T. 231. S. 120929.
 13. Sirisomboon K. Effects of air staging on emission characteristics in a conical fluidized-bed combustor firing with sunflower shells. / Sirisomboon K., Charemporn P. // Journal of the Energy Institute. - 2017. - T. 90, № 2. S. 316–323.