

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОПКИ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОПРОДУКТУ З ПЛОДОВОЇ ДЕРЕВИНИ У ЯКОСТІ БІОПАЛИВА

Карасєв О.Г., Стручаєв М.І., Бондаренко Л.Ю.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Наведено теоретичну модель процесу горіння тріски із зрізаних гілок плодових дерев, на підставі якої отримано графічні залежності втрат теплоти з димовими газами від температури горіння тріски при заданій її вологості. Встановлено, що втрати теплоти з димовими газами мають лінійну залежність від температури горіння і вологості тріски. Чим більше вологість тріски, тим менша її горюча частина і тим менше повітря потрібно для її спалювання. Визначені графічні залежності дозволяють підібрати коефіцієнт надлишку повітря у топці і довести її коефіцієнт корисної дії до 84%.

Доведено, що для прискорення процесу горіння, підсушену тріску необхідно спалювати у два етапи – у зваженому стані в об'ємі топки та на допалювальній горизонтальній колосниковій решітці, де вона догорає у нерухомому шарі. Це прискорює процес горіння тріски та сприяє підвищенню енергетичної ефективності топки.

Для здійснення попереднього підсушування тріски запропоновано конструкцію топки, яка має підсушуюче склепіння і пережим. Підсушування відбувається завдяки тепловим променям, які надходять від розпеченого підсушуючого склепіння. Винесення тріски з похилої колосникової решітки забезпечує вентилятор, який частково здуває підсушену тріску з решітки в середину топки, а частково на горизонтальну колосникову решітку, де відбувається допалювання тріски в нерухомому шарі, як у звичайній топці. Пережим топки затримує розжарені гази в топці, що сприяє спалюванню підсушеної тріски у зваженому стані. Попіл, який утворюється при цьому зсипається у нижню частину топки і видаляється системою видалення попелу. Дуттьовий вентилятор забезпечує процес горіння необхідною кількістю повітря і охолоджує горизонтальну колосникову решітку.

Ключові слова – зрізані гілки, втрати теплоти, топка для спалювання тріски, процес горіння, енергетична ефективність.

Постановка проблеми. Зрізані гілки (ЗГ) дерев плодових культур є побічною продукцією садівництва, а в сучасному виробництві плодової продукції України є викидом. Згідно з ДСТУ ISO 13600-2001, ЗГ можна віднести до відновлюваного ресурсу (ВР), який може бути перетворений в енергопродукт для нагрівання.

Одним з найбільш раціональних способів використання ЗГ плодових дерев є їх спалювання в подрібненому виді (далі – тріска) [1]. Але коефіцієнт корисної дії (ККД) сучасних топок, які можуть бути використані для спалювання тріски не перевищує 60%. Пов'язано це з тим, що в них занадто великі втрати теплоти з димовими газами [2,3]. Тому підвищення ефективності роботи топок є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Останнім часом в країні з'явилася велика кількість сучасного закордонного та вітчизняного обладнання для спалювання гранул, брикетів та пелет.

В сучасних системах опалення будов і споруд є актуальним питання використання альтернативних джерел палива, які є більш дешевшими ніж видобувні види палива і менше забруднюють навколишнє середовище стосовно локального нульового балансу

споживання та викидів CO₂. Наприклад, порівняно з газоподібним паливом, витрати на опалення відходами деревини скорочуються більш ніж на 78%.

Відома топка для спалювання тирси, кори та відходів деревини [4] має певні недоліки, а саме: періодичність в переміщенні шару палива, необхідність його механічного розпушування, розрівнювання та руйнування «шуби» з попелу, яка погіршує горіння. Суттєвим недоліком є також прогорання колосникової решітки внаслідок перегріву її горизонтальної частини. Ці недоліки знижують коефіцієнт корисної дії даної топки.

Наведене вище вказує на те, що для підвищення ККД топок для спалювання тріски недостатньо даних щодо дослідження процесу її горіння.

Мета досліджень. Підвищення енергетичної ефективності спалювання тріски в топках шляхом оптимізації процесу перетворення рослинної речовини в теплову енергію.

Основна частина. Для досягнення поставленої мети визначимо енергетичний баланс процесу горіння тріски у топці, схема якої наведена на рис.1.

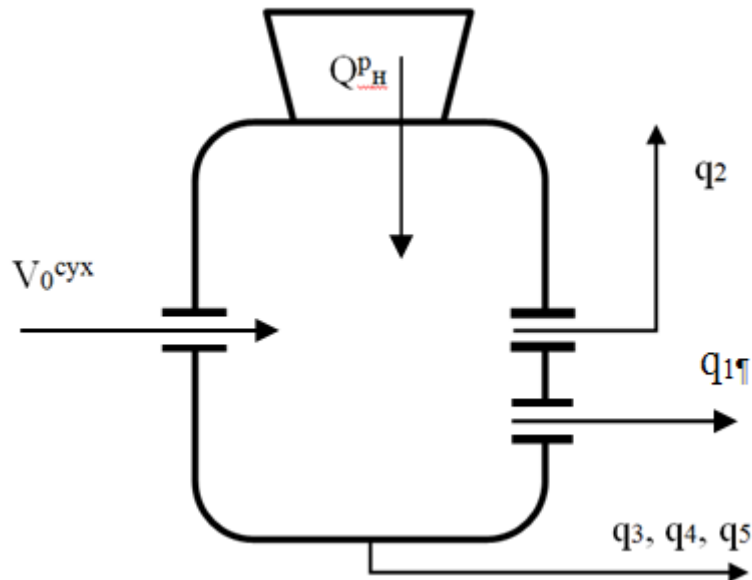


Рис.1. Схема для визначення енергетичного балансу топки для спалювання тріски: Q_n^P – кількість теплоти, яка міститься у паливі, що подається у топку, $V_0^{сух}$ – об'єм сухого повітря, яке надходить до топки,

q_1 – корисно використана теплота, q_2 – втрати теплоти з димовими газами, q_3 – втрати теплоти від хімічного недопалу, q_4 – втрати теплоти від механічного недопалу, q_5 – втрати теплоти топкою у навколишнє середовище.

Тріска, яка подається в топку як основне робоче паливо має такий хімічний склад: вуглець $C^P = 35,4\%$, водень $H^P = 4,2\%$, кисень $O^P = 25,3\%$, сірка $S^P = 0,4\%$, азот $N^P = 0,4\%$, зола $A^P = 10,3\%$, вода $W^P = 24\%$. Теплота згоряння тріски Q^P знаходиться у межах від 10 МДж/кг до 16 МДж/кг.

За методикою, яка наведена у [3] визначимо теоретично необхідну кількість повітря для спалювання 1 кг палива:

- сухого $V_0^{сух}$:

$$V_0^{сух} = 0,089 C^P + 0,265 H^P + 0,033(S^P - O^P), \quad (1)$$

$$V_0^{сух} = 0,089 \cdot 35,4 + 0,265 \cdot 4,2 + 0,033(0,4 - 25,3) = 5,083 \text{ м}^3/\text{кг}$$

- вологого $V_0^{\text{вол}}$:

$$V_0^{\text{вол}} = V_0^{\text{сух}}(1 + 0,0016 \cdot d) \quad (2)$$
$$V_0^{\text{вол}} = 5,083(1 + 0,0016 \cdot 10) = 5,26 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де d – вологомiсткiсть, $d=10$ г/кг [3].

Як вiдомо з [1] коефiцiєнт надлишку повітря в топцi складає $a = 1,6$, а коефiцiєнт присосу повітря до паливо-приготувальної системи складає $\Delta\alpha_{\text{пал}} = 0,04$ [2].

Дiйсну кiлькiсть повітря $V_{\text{д}}$, м³/кг палива розраховуємо за формулою [3]:

$$V_{\text{д}} = \alpha \cdot V_0^{\text{вол}} \quad (3)$$
$$V_{\text{д}} = 1,6 \cdot 5,26 = 8,416 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Визначимо кiлькiсть теплоти, яка утворюється в топцi, приймаючи до уваги те, що температура димових газiв становить $t_{\text{вих}}=130^\circ\text{C}$ [2,3].

Теплоту, що вноситься холодним повітрям $Q_{\text{х.п.}}$, кДж/кг визначимо за формулою:

$$Q_{\text{х.п.}} = C \cdot V_{\text{д}} \cdot t_{\text{х.п.}}, \quad (4)$$

де C – теплоємнiсть повітря, $C = 1,32$ кДж/кг;

$t_{\text{х.п.}}$ – температура холодного повітря, $t_{\text{х.п.}} = 20^\circ\text{C}$.

Тодi

$$Q_{\text{х.п.}} = 1,32 \cdot 8,416 \cdot 20 = 227 \text{ кДж/кг}.$$

Теплоту пiдiгрітого повітря у топцi $Q_{\text{в}}$ визначимо за формулою:

$$Q_{\text{в}} = C \cdot V_{\text{д}} \cdot t_{\text{г.п.}} \quad (5)$$

де $t_{\text{г.п.}}$ – температура гарячого повітря у топцi, $t_{\text{г.п.}}=340^\circ\text{C}$.

Тодi

$$Q_{\text{в}} = 1,32 \cdot 8,416 \cdot 340 = 3777 \text{ кДж/кг}.$$

Визначимо кiлькiсть корисно використаної теплоти q_1 та суму теплових втрат у топцi. Для чого згiдно з [1] приймаємо такi значення втрат теплоти в процесi горiння трiски:

- з димовими газами $q_2 = 9,8\%$;
- вiд хiмiчного недопалу $q_3 = 3,4\%$;
- вiд механiчного недопалу $q_4 = 2,2\%$;
- в навколишнє середовище $q_5 = 0,4\%$;
- з теплотою шлакiв $q_6 = 0,3\%$.

Тодi, суму теплових втрат $\sum q$ визначимо за формулою:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (6)$$
$$\sum q = 9,8 + 3,4 + 2,2 + 0,4 + 0,3 = 16,1\%,$$

а кiлькiсть корисно використаної теплоти q_1 , яка характеризує ККД $\eta_{\text{к.а}}$ топки, визначимо за формулою:

$$\eta_{\text{к.а}} = q_1 = 100 - \sum q, \quad (7)$$
$$\eta_{\text{к.а}} = q_1 = 100 - 16,1 = 83,9\%.$$

Найбільш вагомим параметром ефективності роботи топки є втрати теплоти з димовими газами q_2 , які визначимо за формулою:

$$q_2 = \frac{t_1 - t_2}{t_{max}} - (C + (h - 1) \cdot B \cdot K) \cdot 100 \quad (8)$$

де t_1 – температура димових газів, °С;

t_2 – температура холодного повітря, °С;

t_{max} – максимальна температура димових газів, °С;

h – коефіцієнт збільшення об'єму продуктів горіння;

C – коефіцієнт відношення середньозваженої теплоємності продуктів горіння;

B – емпіричний коефіцієнт;

K – коефіцієнт відношення теплоємності повітря до теплоємності продуктів горіння.

За формулами 1-8, визначено залежності втрати теплоти з димовими газами q_2 від температури t згоряння тріски та її вологості W (рис. 2).

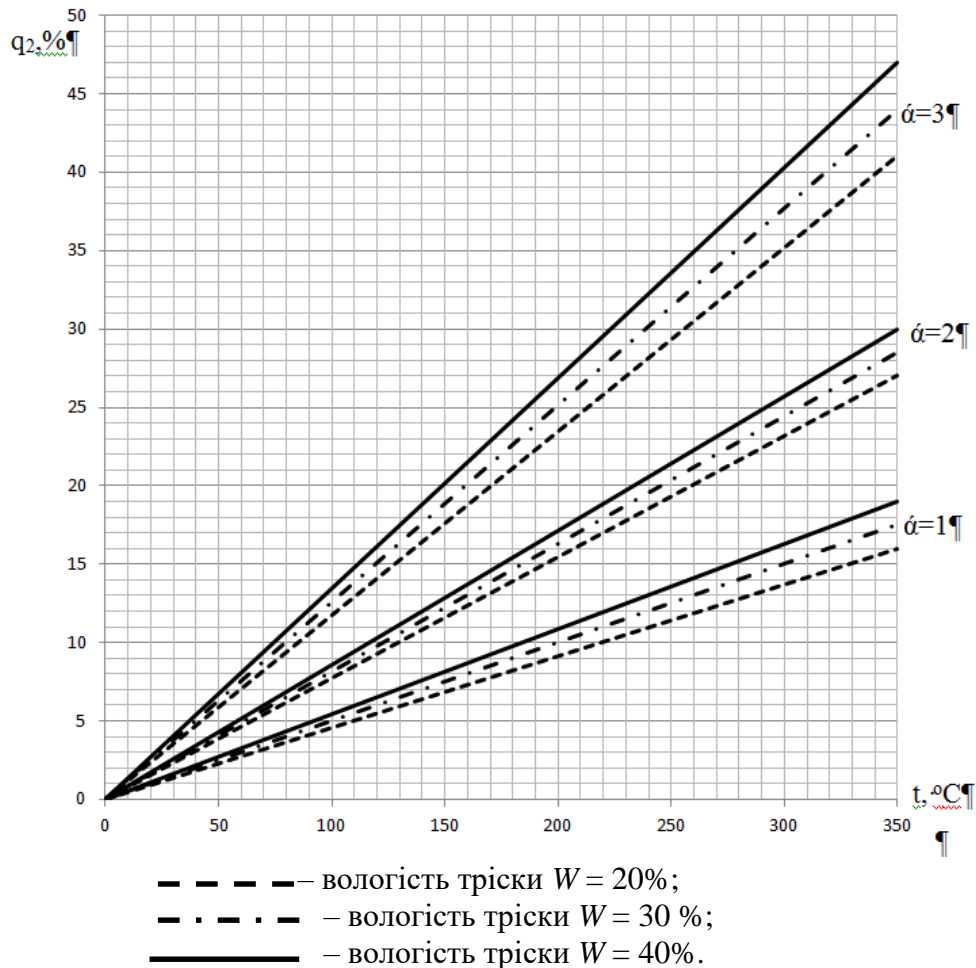


Рис.2. Втрати теплоти з димовими газами q_2 в залежності від температури горіння тріски t при заданих значеннях коефіцієнту надлишку повітря в топці ($\alpha = 1, \alpha = 2, \alpha = 3$) та вологості тріски W .

Аналіз залежностей, які наведені на рисунку 2 вказує на те, що втрати теплоти з димовими газами мають лінійну залежність від температури згоряння та вологості тріски. Чим більша вологість тріски, тим менша її горюча частина і тим менше

необхідно повітря для її спалювання. Але для перетворення зайвої вологи в пар необхідно додаткова кількість теплоти. Це призводить до збільшення втрат теплоти з димовими газами q_2 . Тобто, необхідно передбачити в конструкції топки попереднє підсушування тріски та спалювання її у декілька етапів.

Нами запропонована топка для спалювання тріски [5], схема якої наведена на рис. 3. Для здійснення попереднього підсушування тріски топка має підсушуюче склепіння 3 та пережим топки 4. Також передбачено наявність вентилятора 8, який призначений для виносу тріски з похилої колосникової решітки. При цьому горизонтальну колосникову решітку 5 розташовано після похилої колосникової решітки 2.

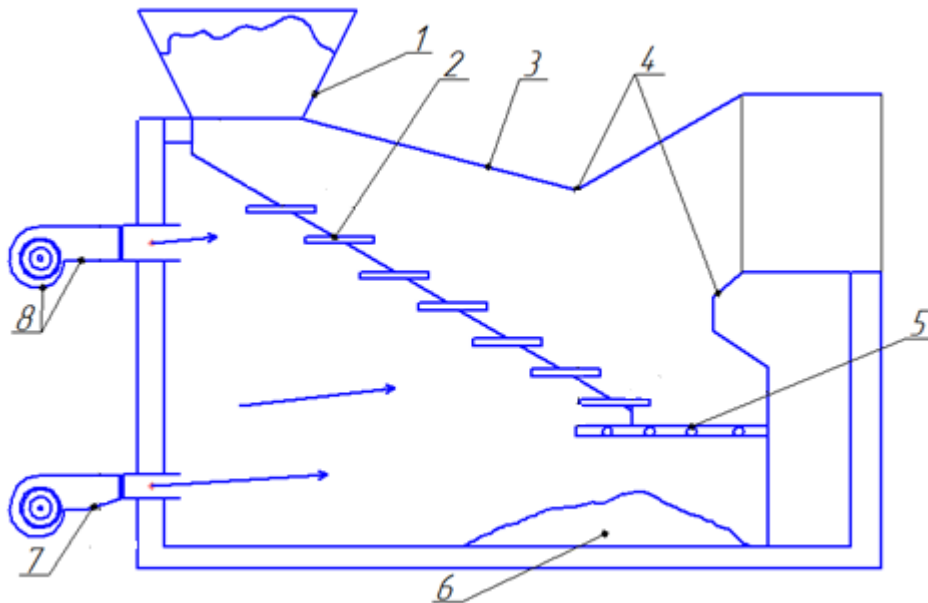


Рис.3. Схема топки для спалювання тріски: 1 – бункер для тріски, 2 – похила колосникова решітка, 3 – підсушуюче склепіння, 4 – пережим топки, 5 – горизонтальна колосникова решітка, на якій відбувається допалювання тріски, 6 – попіл, 7 – дуттьовий вентилятор, 8 – вентилятор для виносу тріски з похилої колосникової решітки.

Топка працює наступним чином: під час подачі тріски у бункер палива 1, вона зсипається на похилу колосникову решітку 2, де підсушується завдяки тепловим променям, які надходять від розжареного підсушуючого склепіння 3. Вентилятор 8 здуває підсушену тріску з похилої колосникової решітки частково в середину топки і частково на допалювальну горизонтальну колосникову решітку 5. Пережим топки 4 затримує розжарені гази у топці, що сприяє спалюванню підсушеної тріски у зваженому стані. Тріска, яка не встигла згоріти падає на допалювальну горизонтальну колосникову решітку 5 де догорає у нерухомому шарі як у звичайній топці. Попіл, який утворюється при цьому зсипається у нижню частину топки, а дуттьовий вентилятор 7 забезпечує процес горіння необхідною кількістю повітря та охолоджує горизонтальну колосникову решітку 5.

Висновки

1. Встановлено, що для прискорення процесу горіння тріски слід його здійснювати у два етапи – у зваженому стані в об'ємі топки та на допалювальній горизонтальній колосниковій решітці, де вона догорає у нерухомому шарі.

2. Отримано залежності втрат теплоти з димовими газами від температури згоряння тріски при заданій її вологості, за якими, шляхом підбору значення коефіцієнту надлишку повітря в топці можна довести її ККД до 84%.

3. Запропонована конструкція топки, яка дозволяє здійснювати попереднє підсушування тріски завдяки підсушуючому склепінню та пережимові топки.

Список використаних джерел

1. Акерханов Р.А., Бессараб А.С, Драганов Б.Х. и др. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства / Под ред. Б.Х. Драганова. - М.: Колос-Пресс, 2002 - 423 с.

2. Грачева Л.И. Стручаев Н.И. Кислый С.А. и др. Котельные установки в сельском хозяйстве. – К.: Урожай, 1985. – 167с.

3. Дідур В.А. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / В.А.Дідур, М.І.Стручаєв – К.: Аграрна освіта, 2008. – 233с.

4. Патент RU № 2166150, F23B 50/12. Топка / Пузырев Е.М.Опубл. 27.04.2001.

5. Патент України на корисну модель UA№ 125723 МПК F23B 50/12. Топка для спалювання тирси / М.І. Стручаєв, В.О. Сімонцев, Ю.О. Постол. – u201711911; заявл. 05.12.2017; опубл. 25.05.2018. – Бюл. № 10/2018

Аннотация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОПРОДУКТА ИЗ ПЛОДОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ В КАЧЕСТВЕ БИОТОПЛИВА

Караев А.И., Стручаев Н.И., Бондаренко Л.Ю.

Приведена теоретическая модель процесса горения щепы из срезанных ветвей плодовых деревьев. На основании модели получены графические зависимости потерь теплоты с дымовыми газами от температуры горения щепы при заданной влажности щепы. Установлено, что потери теплоты с дымовыми газами имеют линейную зависимость от температуры горения и влажности щепы. Чем больше влажность щепы, тем меньше ее горючая часть и тем меньше необходимо воздуха для ее сжигания. Графики позволяют путем подбора коэффициента избытка воздуха в топке довести ее коэффициент полезного действия до 84%.

Чтобы ускорить процесс горения подсушенную щепу необходимо сжигать в два этапа: во взвешенном состоянии в объеме топки и на горизонтальной колосниковой решетке, где она догорает в неподвижном слое. Это ускоряет процесс горения и способствует повышению энергетической эффективности топки.

Предложена конструкция топки, которая позволяет осуществлять предварительное подсушивание щепы. Для этого в топке имеется подсушивающий свод и пережим. Подсушивание происходит благодаря тепловым лучам, которые поступают от раскаленного подсушивающего свода. Для выноса щепы с наклонной колосниковой решетки предусмотрен вентилятор, который сдувает подсушенные опилки с наклонной колосниковой решетки частично внутрь топки, а частично на горизонтальную колосниковую решетку, где происходит догорание щепы в неподвижном слое, как в обычной топке. Пережим топки задерживает раскаленные газы в топке, что способствует сжиганию подсушенных опилок во взвешенном состоянии. Пепел, который образуется в процессе сжигания, сыпается вниз и удаляется системой удаления золы. Дутьевой вентилятор обеспечивает процесс

горения необходимым количеством воздуха и охлаждает горизонтальную колосниковую решетку.

Ключевые слова: срезанные ветви, потери тепла, топка для сжигания щепы, энергетическая эффективность, процесс горения.

Abstract

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE FIREBOX USE OF ENERGY PRODUCTS FROM FRUIT WOOD AS A BIOFUEL

Karaiev O., Struchaiev N., Bondarenko L.

A theoretical model of the process of burning chips from cut branches of fruit trees is given. Based on the model, graphical dependences of heat losses with flue gases on the burning temperature of chips are obtained at a specified moisture content of chips. It has been determined, that the heat losses from the flue gases have a linear dependence on the combustion temperature and the moisture of the chips. The greater the moisture content of the chips, the less its combustible part and the less air is needed to burn it. The graphs allow, by adjusting the coefficient of excess air in the furnace, to bring its efficiency to 84%.

To speed up the burning process, dried chips should be burned in two stages: suspended in the volume of the firebox and on the horizontal grate where it burns down in a fixed bed. This speeds up the burning process and contributes to increasing the energy efficiency of the furnace.

The design of the firebox, that allows the chips pre-drying, has been proposed. For this, the firebox has a drying arch and a clamp. Drying occurs due to the heat rays, that come from the hot drying roof. For the removal of chips from the inclined grate, a fan, that blows dried sawdust off the inclined grate partially into the firebox volume, and partially to the horizontal grate, where the chips burn out in a fixed bed, as in a conventional firebox, has been provided. Clamp of the firebox retains hot gases in the furnace, which contributes to the combustion of dried sawdust in suspension. The ash that is formed in the course of the combustion process is poured down and removed by the ash removal system. The blower fan provides the combustion process with the necessary amount of air and cools the horizontal grate.

Keywords: *cut branches, heat loss, chip burning firebox, energy efficiency, combustion process.*