

УДК 662.636

В.В. Іванцов
аспірант

Л.В. Лось
д.т.н.

О.К. Рогаль
аспірант

Житомирський національний агроекологічний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОДОСТАТНОСТІ ЗЕРНОВОГО ПОЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СОЛОМИ ЯК ПАЛИВА ТА ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ПРИВОДУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Обґрунтовано перспективи енергетичного використання соломи для сільського господарства України. Розраховано витрати робочого та сухого газу для двигуна зернозбирального комбайна. Визначено вихід сухого газу при газифікації робочого палива (солома). Визначена годинна витрата соломи як газогенераторного палива для роботи двигуна зернозбирального комбайна. Проведено порівняльні розрахунки бункера газогенератора, що працює на брикетованій або подрібненій соломі.

Постановка проблеми

На сьогодні енергоємність ВВП в Україні становить 0,75 кг умовного палива на 1 долар США, що у три рази перевищує середній рівень енергоємності ВВП країн світу. Причина високої енергоємності полягає у надмірному споживанні в галузях економіки традиційних енергетичних ресурсів на виробництво продукції, що зумовлює відповідне зростання імпорту вуглеводів до України [11].

Щорічно українське сільське господарство споживає 1,9 млн т дизельного палива та 650 тис. т бензину. Для виробництва такої кількості пального необхідно переробити 4,5 млн т нафти, переважно імпортованої [1].

Зростання світових цін на традиційні носії енергії (нафту та газ) спричинило суттєві зміни в системі міжнародної торгівлі. На цьому фоні почали активно формуватися біоенергетичні ринки, основними продуктами яких є біологічні палива, отримані із сільськогосподарської сировини. Використання різноманітних палив (рідких, твердих та газоподібних) неухильно зростає [18,19].

Аналіз останніх досліджень

Актуальність проблеми енергоносіїв не втрачає для України своєї гостроти, а ситуація не покращиться, якщо в Україні не будуть знайдені внутрішні резерви. Економічно ефективним резервом заміни імпортової нафти, бензину і дизельного пального в двигунах автотранспорту є використання місцевих видів палива: дров, бурого вугілля, торфу, соломи, лущиння соняшнику та іншої горючої сировини і відходів [2, 3, 4].

За розрахунками навіть у разі врожаю зернових 24 млн т (як у неврожайні 1999–2000 роки) потенційний збір соломи злаків може становити 20 млн т [5].

Оскільки для кількості пального, що використовує українське сільське господарство необхідно переробити 4,5 млн т нафти, проведемо порівняння соломи як палива та нафти.

Розрахунок проведемо по найменшому врожаю соломи злаків – 20 млн т. Теплоота згоряння 1 кг соломи становить в середньому 15 МДж, а теплоота згоряння 1 кг «нафтового еквіваленту» – 41,9 МДж. Тобто 20 млн т соломи складає 7,15 млн т нафтового еквіваленту. Отже, 62,9 % річного збору соломи становлять 4,5 млн т нафтового еквіваленту. Тому використання даної кількості соломи як палива може забезпечити сільське господарство, замінивши дизельне паливо та бензин.

В Україні кожного року виробляється біля 25 млн т соломи, з яких 20 % (5 млн т) не використовуються ні в якості підстилки, ні в якості корму для худоби [6].

Об'єкт та методика досліджень

Об'єктом досліджень є солома пшениці, що використовується як паливо для газогенератора зернозбирального комбайна. Предметом досліджень є газогенераторна установка для комбайна, яка працює на цьому біопаливі.

У процесі дослідження використовувалися експериментальні та теоретичні методи.

Результати досліджень

Технічна проблема створення зернозбирального комбайна, конструкція якого дозволяє ефективно використовувати солому замість нафтового пального одразу при збиранні зернових культур на даний момент є дуже актуальною [14].

Для використання соломи як палива на зернозбиральному комбайні необхідно розмістити газогенераторну установку.

Для газифікації соломи найбільш підходить зворотний процес газифікації, отже, для цього необхідний газогенератор зі зворотним процесом газифікації [13].

Визначимо, скільки необхідно газу для двигуна комбайна.

Розрахунок витрати газу проведемо для двигунів СМД-31 комбайна РСМ-10 «Дон-1500» (СМД-31А комбайнів КТР-10 «Дон-Ротор», СК-10 «Ротор») та СМД-23 (СМД-24) комбайна РСМ-8 «Дон-1200» («Єнисей-1200»), необхідні дані наведено в табл. 1 [8].

Витрата газу залежить від розмірів двигуна й визначається за формулою [7]:

$$V_{г.з.} = \frac{0,03V_{дп}}{(1 + \alpha L_0)} \eta_v \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (1)$$

де V_n – робочий об'єм циліндрів двигуна (літраж), л;
 n – число обертів вала двигуна на хвилину;
 η_v – коефіцієнт наповнення, $\eta_v = 0,85$ [8];
 α – коефіцієнт надлишку повітря при згорянні газу;
 L_0 – кількість повітря, необхідна для згорання 1 м³ газу, м³.

По заданому у відсотках від об'єму складу газу визначаємо кількість повітря, що необхідна для згорання 1 м³ газу, за формулою [16]:

$$L_0 = 1/21 [0,5(\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 - \text{O}_2] \text{ м}^3 \text{ повітря/м}^3 \text{ газу.} \quad (2)$$

Склад сухого генераторного газу при газифікації соломи, який використовуємо в розрахунках, наступний: $\text{CO}_2 = 13,8\%$; $\text{CO} = 18,9\%$; $\text{H}_2 = 17,6\%$; $\text{CH}_4 = 2,3\%$; $\text{O}_2 = 0,1\%$ [15,17].

Таблиця 1. Витрата газу в двигунах комбайна

Комбайн	Марка двигуна	Діаметр циліндрів, мм	Хід поршня, мм	Число обертів вала за хв.	Робочий об'єм циліндрів, л	Витрата робочого газу $V_{в.г.}$, м ³ /год.	Витрата сухого газу $V_{с.г.}$, м ³ /год.
PCM-10 «Дон 1500»	СМД-31А	120	140	2000	9,5	210,69	176,67
КТР-10 «Дон-Ротор», СК-10 «Ротор»	СМД-31	120	140	2000	9,5	210,69	176,67
PCM-8 «Дон 1200», «Єнісей-1200»	СМД-23,24	120	140	2000	6,3	139,72	117,16

$$L_0 = 1/21 [0,5(18,9 + 17,6) + 2 \cdot 2,3 - 0,1] = 1,083, \text{ м}^3 \text{ повітря/ м}^3 \text{ газу};$$

$$V_{в.г.} = 0,03 \cdot 9,5 \cdot 2000 \cdot 0,85 / (1 + 1,2 \cdot 1,083) = 210,69 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$V_{в.г.} = 0,03 \cdot 6,3 \cdot 2000 \cdot 0,85 / (1 + 1,2 \cdot 1,083) = 139,72 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для приведення об'єму газу до нормальних умов (температура 0° і тиск 760 мм рт. ст.) множать отримане значення витрати газу на коефіцієнт k .

Об'єм газу, приведений до нормальних умов [7]:

$$V_{с.г.} = V_{в.г.} \cdot k. \quad (3)$$

Коефіцієнт k [7]:

$$k = \frac{0,29 p}{(0,804 + f_r) T}, \quad (4)$$

де p і T – тиск і температура навколишнього середовища, до яких віднесений коефіцієнт наповнення η_v ;

f_r – вологість газу, визначається за формулою (5), у кг/м³.

Кількість водяних парів, яка міститься в газі, що виходить з газогенератора, складається з вологи гігроскопічної та вологи, що

утворюється з водню палива, не враховуючи водень, що витрачається на утворення метану та водню газу. Кількість вологи, що міститься в 1 м³ газу, дорівнює [16]:

$$f_r = (W^p + 9H^p)/100 V_g + G_b/V_g - 0,804(H_2 + 2CH_4)/100 \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

де W^p та H^p – вміст вологи та водню у відсотках в 1 кг палива;

H_2 та CH_4 – вміст водню та метану в 1 м³ газу у відсотках;

G_b – вода, що підводиться зовні, кг/кг палива;

0,804 – умовна питома вага (кг/м³) водяної пари при 0° та 760 мм рт. ст., підрахована із виразу $m_{H_2O}/22,4 = 18/22,4 = 0,804$.

Вміст вологи на робочу масу W^p для соломи приймемо 7,85 %, $H^p = 4,81$ % [14].

Вологовміст газу (подачі води зовні до газогенератора немає):

$$f_r = (7,85 + 9 \cdot 4,81)/100 \cdot 1,985 - 0,804(17,6 + 2 \cdot 2,3)/100 = 0,0792 \text{ кг/м}^3.$$

Визначивши вологість газу, підраховуємо коефіцієнт k :

$$k = 0,29 \cdot 735,5/(0,804 + 0,0792)288 = 213,295/254,3616 = 0,83855.$$

Визначаємо об'єм газу, приведений до нормальних умов, для двох видів двигунів:

$$V_{c.r.} = 210,69 \cdot 0,83855 = 176,67 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$V_{c.r.} = 139,72 \cdot 0,83855 = 117,16 \text{ м}^3/\text{год}.$$

У табл. 1. наведена витрата газу в комбайнових двигунах, що підрахована при $\alpha = 1,2$; $L_0 = 1,083$; $T = 273 + 15 = 288^\circ$ і $p = 735,5$ мм рт. ст.

Кількість газифікованого палива на годину визначають після розрахунку складу газу й визначення виходу його з палива або приймають сполуку газу за наявними експериментальними даними.

Вихід сухого газу V_g визначаємо за формулою (6).

Розділивши кількість вуглецю палива, що перейшов у стан газу, на кількість вуглецю в 1 м³ газу, отримаємо вихід сухого газу з 1 кг робочого палива [16]:

$$V_g = 22,4 (C^p - C_n)/100/12 (CO + CO_2 + CH_4) 100 = 1,867 (C^p - C_n)/CO + CO_2 + CH_4 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (6)$$

На основі дослідних даних втрати вуглецю C_n у «провалі» та у вигляді пилу оцінюються у 1,5–2,5 % [12].

Менше значення C_n приймається при газифікації деревини твердих порід та антрациту. Більше значення C_n береться при газифікації м'яких порід деревини, бурого вугілля та ін.

Визначаємо вихід газу з 1 кг палива (солома), прийнявши втрати вуглецю з виносом 2,5 %.

$$V_g = 1,867 (C^p - C_n)/18,9 + 13,8 + 2,3 = 1,867 (39,72 - 2,5)/35 = 1,985 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Годинна витрата палива (кг) визначається за формулою [7]:

$$G_T = \frac{V_{c.r.}}{V_g}, \quad (7)$$

$$G_T = 176,67/1,985 = 89 \text{ кг}.$$

$$G_T = 117,16/1,985 = 59 \text{ кг}.$$

Пропускна здатність комбайнів: РСМ-10 «Дон-1500» – 8...9 кг/с, РСМ-8 «Дон-1200» – 7 кг/с при масовому відношенні зерна до соломи 1:1,5 (додаток 1) [9, 10].

Відповідно, комбайн РСМ-10 «Дон-1500» за годину основного часу виробляє 16 т соломи (при пропускній здатності 8 кг/с), а комбайн РСМ-8 «Дон-1200» – 12,5 т соломи.

Годинна витрата газогенератора комбайна РСМ-10 «Дон-1500» 89 кг/год. умовно складає 0,55 % від годинного виробництва соломи, а для газогенератора комбайна РСМ-8 «Дон-1200» – 0,47 %. Для реальних обставин роботи комбайнів (перервність у роботі, втрати газу, тепла, підвищена вологість тощо) використання соломи в якості її палива не перевищить 10 %.

Проведені розрахунки показали, що проектування і виготовлення спеціальних пожежобезпечних газогенераторів для комбайна є економічно доцільними, тому що, використавши малу кількість соломи, можна виконати збір врожаю на відповідній ділянці.

Бункер газогенератора служить резервуаром для палива (солома) при безперервній роботі комбайна та використовує більшість площі газогенератора (60–75 % – залежно від конструктивного рішення). Визначимо його необхідний розмір, щоб переконатися в можливості розмістити його на зернозбиральному комбайні.

Газогенератор повинен працювати без довантаження палива в бункер не менш 1,5 год.

Об'єм бункера V_6 вибирають на підставі заданої періодичності τ_6 завантаження палива в бункер газогенератора (прийmemo 2 год.), витрати палива G_T на годину й насипної ваги палива g_m [7]:

$$V_6 = \frac{G_T \tau_6}{g_m} \text{ л.} \quad (8)$$

У даній формулі величина g_m виражена в кг/л.

Проведемо розрахунок об'єму бункера газогенератора, який працює на соломі у вигляді брикетів ($g_m = 0,3 - 0,45$ кг/л) [5, 21]:

$$V_6 = 89 \cdot 2/0,3 = 593,3 \text{ л;}$$

$$V_6 = 89 \cdot 2/0,45 = 395,5 \text{ л;}$$

$$V_6 = 59 \cdot 2/0,3 = 393,3 \text{ л;}$$

$$V_6 = 59 \cdot 2/0,45 = 262,2 \text{ л.}$$

Проведемо розрахунок об'єму бункера газогенератора, який працює на подрібненій соломі ($g_m = 0,04 - 0,06$ кг/л) [5,21]:

$$V_6 = 89 \cdot 2/0,04 = 4450 \text{ л;}$$

$$V_6 = 89 \cdot 2/0,06 = 2966,7 \text{ л;}$$

$$V_6 = 59 \cdot 2/0,04 = 2950 \text{ л;}$$

$$V_6 = 59 \cdot 2/0,06 = 1966,7 \text{ л.}$$

З розрахунків видно, що найбільш доцільне використання соломи як палива у вигляді брикетів для роботи газогенератора на комбайні. Брикети

повинні мати якомога більшу об'ємну масу або повинна бути періодична загрузка подрібненої соломи.

До об'єму бункера V_6 , що представляє собою видатковий об'єм, при виборі розмірів додають додатковий об'єм, що складає 20–30 % від величини G_T , щоб запобігти порушенню нормальної роботи газогенератора. Повний випал палива до фурм не рекомендується, тому що в цьому випадку знову завантажене свіже паливо не встигає пройти прогрів, сушіння й суху перегонку, що викликає зниження температури в окисній зоні й погіршення якості газу [12],[52].

Прийmemo додатковий об'єм G_T^d 20 % від G_T відповідно отримаємо $G_T^d = 17,8$ л та $G_T^d = 11,8$ л.

$$V_6 = \frac{(G_T + G_T^d) \tau_6}{g_m} \quad (9)$$

Об'єм бункера для брикетів із соломи ($g_m = 0,45$ кг/л):

$$V_6 = (17,8 + 89)2/0,45 = 474,7 \text{ л};$$

$$V_6 = (11,8 + 59)2/0,45 = 314,7 \text{ л}.$$

Об'єм бункера для подрібненої соломи ($g_m = 0,04$ кг/л):

$$V_6 = (17,8 + 89)2/0,04 = 5340 \text{ л};$$

$$V_6 = (11,8 + 59)2/0,04 = 3540 \text{ л}.$$

Діаметр і висоту бункера вибирають залежно від заданих розмірів газогенератора, установлюваного на комбайні. Приймемо діаметр бункера D_6 для обох газогенераторів 650 мм.

Бункер являє собою циліндр, отже:

$$V_6 = \pi R_6^2 H_6, \quad (10)$$

де R_6 – радіус бункера, м;

H_6 – висота бункера, м.

Отже, при об'ємі бункера $V_6 = 474,7$ л його висота H_6 складатиме близько 1,4 м, а при $V_6 = 5340$ л – 16,2 м. Розрахунки показали, що брикетована солома може довантажуватися раз на 2 год, але подрібнена не може через малу щільність. Отже, необхідно частіше завантажувати подрібнену солому, кожні 10–15 хвилин.

Найбільш перспективними є розробка та виготовлення газогенераторної установки, яка б працювала на соломі та мала механізовану подачу соломи в топку пожежобезпечним шляхом та спеціальний газогенератор для комбайна [20]. Звичайний дров'яний газогенератор не підходить для газифікації соломи у вигляді подрібненої соломи та брикетів через значну втрату потужності двигуна, що підтверджують проведені досліді зі спалювання соломи. Виконані напрацювання доводять, що зараз для зернозбирального комбайна може бути створений газогенератор з підвищеною пожежобезпекою, який буде працювати на солом'яних брикетах чи на подрібненій соломі.

Висновки

1. Україна має значний потенціал соломи, доступний для отримання енергії, що обумовлює доцільність прискорення розвитку й впровадження технологій спалювання соломи в енергетичних цілях для зменшення тяжкої залежності від імпорту енергоносіїв.
2. зернозбиральний комбайн може працювати на полі, використовуючи в якості палива не більше 10 % соломи з оброблюваної ділянки.
3. Для оптимізації газогенератора солома повинна бути в брикетах або подрібнена, з довантаженням у бункер та з жорсткими мірами пожежної безпеки.

Перспективи подальших досліджень: розробка і виготовлення сучасних надійних установок для газифікації соломи сучасного зразка, які можуть бути високоефективно використані для роботи зернозбиральних комбайнів.

Література

1. Біодизель: порятунок від енергетичної кризи чи нагода заробити? // Новини агротехніки. – 2006. – № 6. – С. 23–24.
2. Лось Л.В. Екологічні аспекти нового газогенераторного автотракторного двигуна / Л.В. Лось, В.А. Вознюков, М.І. Шмалюк // Вісн. ДААУ. – 2000. – № 2. – С. 224–227.
3. Лось Л.В. Проблема зменшення шкідливого навантаження від автотракторних двигунів в північній зоні України / Л.В. Лось, В.А. Вознюков, М.І. Шмалюк // Вісн. ДААУ. – 2001. – № 1. – С. 17–19.
4. Желейна Т. Лушпиння соняшнику для теплових потреб / Т. Железная, О. Морозова // Зелена енергетика. – 2007. – № 4. – С. 24–25.
5. Жовнір М. Солома обігріє села / М. Жовнір, Є. Олійник, С. Чаплигін // Агросектор. – 2007. – № 5. – С. 28–30.
6. Жовнір М. Альтернативное теплоснабжение за счет использования соломы / М. Жовнір, Є. Олейник, С. Чаплигин // Коммунальное хозяйство. – 2007. – № 8. – С. 24–27.
7. Юдушкин Н.Г. Газогенераторные трактора / Н.Г. Юдушкин. – М.: Машгиз, 1955. – 244 с.
8. Лось Л.В. Перспективи створення, визначення показників роботи і основних розмірів газогенераторних установок для тракторних двигунів / Л.В. Лось, Б.В. Ємець, М.І. Шмалюк // Вісник ДАУ. – 2006. – № 1. – С. 109–121.
9. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
10. Погорілець О.М. Зернозбиральні комбайни / О.М. Погорілець, Г.І. Живолуп. – К.: Урожай, 1994. – 232 с.
11. Ясенецький В. Відновлювальна енергетика ХХІ століття / В. Ясенецький, В. Клименко // Новини агротехніки. – 2007. – № 5. – С. 38–39.

-
-
12. Мезин И.С. Транспортные газогенераторы / И.С. Мезин – М.: Сельхозгиз, 1948. – 311 с.
 13. Коллеров Л.К. Газомоторные установки / Л.К. Коллеров – М.: Машгиз, 1951. – 240 с.
 14. Лось Л.В. Перспективи енергетичного використання соломи для сільського господарства України / Л.В. Лось, В.В. Іванцов, Р.Ц. Новіцький // Вісник ДАУ. – 2008. – № 1. – С. 199–204.
 15. Лось Л.В. Технологічні особливості газифікації біомаси в транспортних газогенераторах / Л.В. Лось, В.В. Іванцов, Р.Ц. Новіцький // Вісник ДАУ. – 2008. – № 2. – С. 129–140.
 16. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили / Г.Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 207 с.
 17. Гелетуха Г.Г. Обзор технологий газификации биомассы / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экологические и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С. 21–29.
 18. Зінчук Т.О. Еколого-економічні аспекти розвитку біоенергетики в ЄС: нові тенденції та перспективи для України / Т.О. Зінчук // Вісн. ДАУ. – 2007. – № 1. – С. 233–245.
 19. Гелетуха Г.Г. Государственное регулирование развития биоэнергетики в странах Европы и США / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Промышленная теплотехника. – 2002. – № 4. – С. 81–88.
 20. Пат. на корисну модель 38782 Україна МПК (2009) A01D 34/00, A01D 41/00. Енергоощадний спосіб збирання зернових та інших культур (спосіб Лося) / Л.В. Лось, В.В. Іванцов; патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет; заявка №а200603664; заявлено 03.04.2006; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.
 21. Олійник Є. Зігріємось соломою / Є. Олійник // Коммунальное хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 32–35.
-
-