



Дослідження насипної щільності подрібненої рослинної сировини

Г.А. Голуб¹, Н.М. Цивенкова^{1,2}, В.В. Чуба¹,
А.А. Голубенко², В.І. Ачкевич¹, В.В. Корнійчук

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна);

² Поліський національний університет (м. Житомир, Україна), email: nataliyatsyvenkova@gmail.com

Стойка тенденція до розвитку засобів з виробництва енергії та палив, що представляють альтернативу традиційним джерелам енергії, має на увазі і попередню підготовку сировини. Теплотворна здатність палива в одиниці об'єму є основною паливно-технічною характеристикою сировини. Одним із методів підвищення даного параметра є збільшення насипної щільності сировини.

З метою збільшення насипної щільності сировини в одиниці об'єму пропонується конструкція експериментальної установки. В якості сировини використано поліфракційну суміш з подрібненої соломи. Дослідження виконано методом проведення багатofакторного експерименту. Змінними факторами були – фракційний склад подрібненої рослинної сировини, вміст вологи в суміші, коефіцієнт ущільнення суміші. Досліджувалась залежність насипної щільності суміші з подрібненої рослинної сировини від змінних факторів. За результатами експерименту складено рівняння регресії та побудовано відповідні поверхні відгуку. При виробництві енергії, з метою забезпечення нормальних умов протікання тепломасообмінних процесів в шарі сировини, порозність шару повинна бути 0,54–0,61, що досягається при значенні насипної щільності сировини 200...250 кг/м³. Діапазон вказаних значень насипної щільності сировини експериментально отримано при вологості сировини 20 %, вмісті дрібної фракції в суміші з подрібненої рослинної сировини 50 % і коефіцієнті її ущільнення 1,4. Отримані результати дозволяють забезпечити керованість технологічним процесом виробництва палив та енергії. А саме, залежно від складу та вологості вихідної сировини можна підібрати такий коефіцієнт її ущільнення, при якому значення насипної щільності буде забезпечувати задану порозність шару на її основі. Представлені дослідження можуть бути використані при виборі обладнання та методу ущільнення сировини для виробництва палив та енергії на їх основі.

Ключові слова: подрібнена сировина, коефіцієнт ущільнення, дрібна фракція, порозність шару

Постановка проблеми та її актуальність. Упродовж багатьох років численні проекти довели, що використання рослинної сировини загалом, та, зокрема, залишків сільськогосподарських культур для виробництва енергії є досить перспективним напрямком [1]. Однією з основних переваг використання рослинної сировини та палив на її основі є її мультиваріантність як за технологіями конверсії в енергію, так і за способами її кінцевого використання. В енергетичних цілях рослинну сировину можна використовувати або безпосередньо шляхом прямого спалювання, або переробляти у рідкі (спирти, рідкі продукти піролізу) чи газоподібні (біогаз, генераторний газ) види палива [2].

Перевагами використання рослинної сировини є: дешевизна в порівнянні з викопними видами палива; відсутність географічних обмежень; висока здатність до відтворення; є СО₂-нейтральним видом палива; сприяє економічному розвитку регіонів шляхом створення додаткових робочих місць, що пов'язано з її збиранням, підготовкою та переробкою в інші види енергії [3].

Однак, використання рослинної сировини має ряд суттєвих недоліків. Основним недоліком є незадовільні паливно-технічні характеристики: низькі механічна щільність та міцність; висока здатність до спікання, особливо у соломи зернових; високий вміст вологи у щойно зібраної сировини; високий вміст сірки та хлору; висока золь-

ність; низька теплотворна здатність в одиниці об'єму [4]. Низькі паливно-технічні характеристики рослинної сировини призводять до ускладнень під час експлуатації відповідного теплотехнічного обладнання з її конверсії в енергію. А саме: циклічність процесу згорання чи газифікації рослинної сировини призводить до циклічності виробництва енергії; необхідність в обладнанні для усунення і подальшої утилізації золи; висока корозія елементів теплотехнічного обладнання через високий вміст сірки та хлору, тощо [5].

Тому актуальним є питання попередньої підготовки рослинної сировини до її подальшого використання в енергетичних цілях.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій. Одним з методів підвищення теплотворної здатності виробленого палива в одиниці об'єму є збільшення насипної щільності вихідної сировини. Насипна щільність сировини, в свою чергу, залежить її фізико-хімічних властивостей, фракційного складу і безпосередньо ступеня ущільнення [4, 5].

Вплив фізико-хімічних властивостей сировини на її насипну щільність досліджено в [6]. Оптимальною вважається вологість рослинної сировини 10–25%. Зокрема встановлено, що сировина з вологістю меншою за 8% погано піддається пресуванню та потребує оснащення відповідного обладнання для її ущільнення пристроями додаткового зволоження (як правило, шнекові змішувачі з можливістю подачі води або пари). Для ущільнення сировини з вологістю понад 25 % необхідно додатково витратити енергію на доведення її вологості до нормативних меж [7]. Як висока, так і низька вологість палива значно підвищує енергоємність процесу.

Для стійкої роботи преса вхідна фракція рослинної сировини повинна бути не більше 4 мм. Залежно від виду рослинної сировини таку фракцію може забезпечити молотковий млин, стружковий верстат або дезінтегратор [8]. Якщо як вихідну сировину розглядати солому зернових, то на її основі доцільно готувати поліфракційні суміші. Використання поліфракційних сумішей знижує енерговитрати на процес ущільнення та підвищує якість отриманого палива [9].

Із збільшенням коефіцієнта ущільнення насипна щільність сировини зростає. Однак надмірні зусилля на прес ущільнюючого обладнання (пристрій для виробництва пелет, гранул, брикетів) призводять до додаткових витрат енергії, порушують вимоги технологічних процесів щодо виробництва палив, знижують якість готової продукції [10].

Також, при виробництві енергії та палив з рослинної сировини шляхом прямого спалювання або газифікації потрібно, щоб порозність шару сировини забезпечувала протікання тепло- та масообмінних процесів в шарі. Наприклад, для соломи зернових порозність шару повинна бути в межах 0,54–0,61 [4].

Результати наукових досліджень [1–10] свідчать про різний ступінь залежності насипної щільності від фізико-механічних властивостей сировини, методу та ступеня її ущільнення. Однак, щоб підвищити ефективність процесу виробництва енергії з рослинної сировини слід провести комплекс досліджень залежності насипної щільності цієї сировини від вказаних факторів, забезпечивши при цьому належну порозність шару матеріалу. Дослідження слід провести із застосуванням досягнень сучасної наукової думки та методології.

Метою дослідження є методом проведення багатофакторного експерименту встановити залежність насипної щільності ρ поліфракційної суміші з подрібненої соломи пшениці від вмісту дрібних фракцій в суміші R_f , вологості W^p та коефіцієнту ущільнення соломи k при яких забезпечується порозність шару $\varepsilon = 0,54 - 0,61$.

Методика дослідження. В якості рослинної сировини використовували подрібнену солому пшениці. На її основі виготовлено поліфракційну суміш: циліндричні стебла довжиною ~ 35 мм з потовщеннями, з товщиною стінок 0,5–1,1 мм; циліндричні гладкі стебла довжиною 15–35 мм з товщиною стінок 0,2–0,3 мм і зовнішнім діаметром 2–4 мм; сплюснені стебла довжиною 20–40 мм, з товщиною стінок 0,3–0,5 мм; дрібні розщеплені стебла довжиною 10–30 мм, з товщиною стінок 0,15–0,25 мм; дрібні розщеплені стебла довжиною ~ 8 мм і товщиною стінок 0,15 мм; вміст усіх інших фракцій в суміші менше 3 %. Хімічний склад соломи за сухою масою $N = 0,52$ %, $C = 44,43$ %, $H = 5,86$ %, $O = 44,43$ %, $S = 0,11$ %, вміст золи 6,5 %.

Експериментальна установка для ущільнення подрібненої соломи представлено на рис. 1.

Насипну щільність поліфракційної суміші визначали за EN 15103:2009. З цієї метою циліндричну ємність внутрішнім об'ємом 5 л заповнювали поліфракційною сумішшю і зважували. Для цього використовувалися ваги електронні цифрові QILIVE, Q 5635: діапазон 0–5000 г; дискретність ± 1 г. Значення насипної щільності визначали, виходячи з об'єму циліндра і маси нетто. Об'єм вимірювального циліндру визначався за ГОСТ 32987.

Вміст вологи в поліфракційній суміші визначали за EN 14774-2:2009. Для цього наважку суміші з соломи-січки сушили в сушильній шафі за температури 105 ± 2 °C до сталої маси. Вміст вологи визначали за втратою маси. Обладнання: шафа сушильна ШСУ-М, $t_{max} = 130$ °C; ваги лабораторні цифрові HE-100 з діапазоном 0–100 г та дискретністю $\pm 0,01$ г. Відносну випадкову похибку опосередкованих вимірів насипної щільності і вологості визначали за розподілом Стьюдента [11].



Рис. 1. Експериментальна установка:
 1 – електродвигун; 2 – привод живильника матриці, 3 – редуктор приводу шнека;
 4 – захисний кожух нагрівних елементів;
 5 – формовочна матриця, 6 – завантажувальна горловина

Оскільки програма наступних досліджень передбачала виробництво горючого газу з поліфракційної суміші на основі соломи-січки в прямопоточковому газогенераторі, дослідження фізико-механічних характеристик зазначеної сировини здійснювалися з врахуванням особливостей газогенераторного процесу.

На початку досліду було підготовлено поліфракційні суміші з соломи-січки пшениці із зазначеним вмістом дрібних фракцій в кожній. Склад суміші виражено складовою вмісту дрібної фракції (довжиною <25 мм) у частинах цілого. Суміш I – вміст дрібної фракції складала 20 %; суміш II – вміст дрібної фракції 35 % і суміш III – вміст дрібної фракції складав 50 %.

Далі за EN 14774-2:2009 визначалась вологість W^p кожної суміші. Вологість поліфракційних сумішей становила 10, 20 і 30 %. Якщо сировина мала відмінні значення вологості її, відповідно, підсушували в сушильній шафі до заданих значень. Далі, за допомогою експериментальної установки (рис. 1) поліфракційну суміш ущільнювали.

Діапазони вологості, вмісту дрібної фракції в суміші та коефіцієнту ущільнення вибрано з умови забезпечення такої порозності матеріалу, щоб згідно редуційної теорії та теорії фільтрації було забезпечено протікання усіх реакцій газогенераторного процесу з зазначеною швидкістю у відповідних часових інтервалах згідно з [12].

Для визначення зв'язку між незалежними факторами (R_f , W^p , k) і залежним (ρ), визначення

характеру даного зв'язку і знаходження математичного рівняння для його опису виконано багатофакторний експеримент.

Інтервали варіації факторів: вміст дрібних фракцій в поліфракційній суміші з соломи-січки пшениці R_f – 20, 35 та 50 %; вологість поліфракційної суміші подрібненої соломи пшениці W^p – 10, 20 та 30 %; коефіцієнт ущільнення суміші k – 1,0; 1,2; 1,4. Фактори кодування: $X_1 = R_f$, $X_2 = W^p$, $X_3 = k$. Рівні варіацій вищезазначених факторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Змінні фактори та межі їх варіацій для визначення насипної щільності рослинної сировини

Рівень варіації фактора	Вміст дрібних фракцій в суміші, R_f , %	Вологість сировини, W^p , %	Коефіцієнт ущільнення, k
Верхній рівень (+)	50	30	1,4
Середній рівень (0)	35	20	1,2
Нижній рівень рівень (-)	20	10	1,0

Для отримання моделей процесу у вигляді поліномів другого ступеню вибрано некомпозиційний план другого порядку на кубі типу Бокса-Бенкіна [11]. Для достовірності дослідних даних прийнято, що кількість паралельних дослідів, проведених за однакових умов, рівна $k = 3$. Було виконано серію з 8 оригінальних дослідів у відповідності до матриці планування та обраховані коефіцієнти лінійної частини полінома за методикою [11].

Згідно з планом багатофакторного експерименту отримано значення відносної похибки моделі, яке є меншим за 2,8% [11]. Це стосується всіх експериментів. Значення середнього відносного відхилення складало 1,8% [11]. Таким чином, величина відносної похибки була меншою за 10 % [11]. Отримане значення відносної похибки вважається прийнятним при моделюванні.

Результати дослідження. В результаті експериментального дослідження та статистичної обробки отримано масив даних значень насипної щільності поліфракційної суміші з соломи-січки пшениці, які представлено в таблиці 2.

Результати експериментів були оброблені за допомогою програмного забезпечення "Statistica".

Перевірку однорідності дисперсій було здійснено за критерієм Кохрена. Табличне значення критерію Кохрена становило $G_{табл} = 0,3346$ при 5 % рівні значущості для числа ступенів свободи рівному $f_2 = 2$ та числі експериментів $f_1 = 15$. Отримано, що $G = 0,198 < G_{табл} (0,05; 15; 2) = 0,334$ [11]. Отже, процес повністю відтворюється.

Таблиця 2. Матриця планування багатofакторного експерименту

№	Метод планування експерименту			Результати експериментів				Перевірка адекватності моделі		
	X_1	X_2	X_3	ρ_1	ρ_2	ρ_3	$\rho_{\text{сер}}$	$\rho_{\text{сер.р}}$	$(\rho_{\text{сер}} - \rho_{\text{сер.р}})$	$(\rho_{\text{сер}} - \rho_{\text{сер.р}})^2$
1	+	+	0	237,4	238,2	238,4	238,0	237,46	0,54	0,29
2	+	-	0	198,5	199,2	199,6	199,1	198,29	0,81	0,66
3	-	+	0	187,1	185,7	185,4	186,1	186,91	-0,81	0,66
4	-	-	0	155,6	153,8	155,7	155,0	155,54	-0,54	0,29
5	0	0	0	185,5	186,3	187,0	186,3	186,53	-0,23	0,05
6	+	0	+	250,1	251,2	251,4	250,9	250,31	0,59	0,35
7	+	0	-	178,3	179,1	180,2	179,2	178,79	0,41	0,17
8	-	0	+	195,8	195,3	194,9	195,3	195,71	-0,41	0,17
9	-	0	-	139,2	139,5	139,9	139,5	140,09	-0,59	0,35
10	0	0	0	186,8	186,6	186,2	186,5	186,53	-0,03	0,01
11	0	+	+	241,9	242,8	241,9	242,2	242,63	-0,43	0,18
12	0	+	-	174,5	173,0	171,5	173,0	173,25	-0,25	0,06
13	0	-	+	202,1	201,5	201,8	201,8	201,55	0,25	0,06
14	0	-	-	143,9	144,1	144,5	144,2	143,78	0,42	0,18
15	0	0	0	185,8	186,5	188,1	186,8	186,53	0,27	0,07

Значимість коефіцієнтів рівняння регресії оцінено за критерієм Стьюдента. Табличне значення критерію Стьюдента при 5 % рівні значущості, $f_2 = 2$ та числі експериментів $f_1 = 15$ становило $t = 4,3$ [11].

Гіпотезу про адекватність моделі досліджуваному об'єкту перевіряли за допомогою критерію Фішера. Розрахункове значення критерію Фішера при дисперсії неадекватності $S^2 = 0,242$ становило $F = 4,07$.

Оскільки $f_1 = 15 < F^{\text{табл}}(0,05; 15; 2) = 19,38$, то гіпотеза про адекватність рівняння регресії підтверджується [11].

Коефіцієнти регресії:

$$b_0 = 186,53; b_1 = 23,33; b_2 = 17,64; \\ b_3 = 31,79; b_{12} = 1,95; b_{13} = 3,98; b_{23} = 2,9; \\ b_{11} = 4,47; b_{22} = 3,54; b_{33} = 0,22.$$

Після обчислення коефіцієнтів рівняння регресії оцінювали їх значимість.

Після виключення вищезазначених коефіцієнтів поліноміальне рівняння отримало вигляд:

$$\rho = 186,53 + 23,33 \cdot R_f + 17,64 \cdot W^p + \\ + 31,79 \cdot k + 1,95 \cdot R_f \cdot W^p + \\ + 3,98 \cdot R_f \cdot k + 2,9 \cdot W^p \cdot k + \\ + 4,47 \cdot R_f^2 + 3,54 \cdot (W^p)^2 + 0,22 \cdot k^2, \quad (1)$$

де: ρ – насипна щільність поліфракційної суміші з подрібненої соломи пшениці, $\text{кг}/\text{м}^3$; R_f – вміст дрібної фракції в поліфракційній суміші із подрібненої соломи пшениці, %; W^p – вологість поліфракційної суміші, %; k – коефіцієнт ущільнення.

Коефіцієнт детермінації склав $R^2 = 0,98$.

Графічні зображення вище зазначеного рівняння наведені на рис. 2-4.

За рівнянням 1 збільшення R_f , W^p та k призводить до зростання насипної щільності ρ сировини. Найбільший вплив має коефіцієнт ущільнення сировини k , дещо менший – вміст дрібних фракцій в поліфракційній суміші R_f і найменший – вологість W^p сировини.

За залежностями рис. 2 при сталому вмісті дрібної фракції в суміші R_f зростання вологості W^p спричиняє зростання насипної щільності поліфракційної суміші з подрібненої соломи пшениці ρ . Зокрема, підвищення вологості з 8 до 30 % підвищує значення ρ на 6 – 8 %. Однак зазначене підвищення насипної щільності сировини ρ носить негативний характер і свідчить про високий вміст баласту в робочій частині палива. Прогнозовано, із збільшенням коефіцієнту ущільнення k зростає і насипна щільність ρ . Лінійний характер даної залежності пояснюється тим, що коефіцієнт ущільнення k вводився саме як лінійний параметр.

Згідно з рис. 3 за умови незмінної вологості сировини W^p збільшення коефіцієнту ущільнення k та вмісту дрібної фракції R_f в поліфракційній суміші призводять до зростання насипної щільності ρ сировини. Однак, залежність насипної щільності ρ сировини від вмісту дрібної фракції R_f в суміші носить нелінійний характер.

За рис.4 при сталих значеннях коефіцієнту ущільнення k збільшення відносної вологості W^p та вмісту дрібної фракції R_f в суміші, як кожного з показників окремо, так і одночасне, призводить до зростання насипної щільності ρ . При значеннях $R_f < 20$ % і відносній вологості $W^p < 10$ % присутня ділянка, на якій насипна щільність ρ майже не змінюється. Це явище є результатом похибки, притаманної будь-якій екстраполяції.

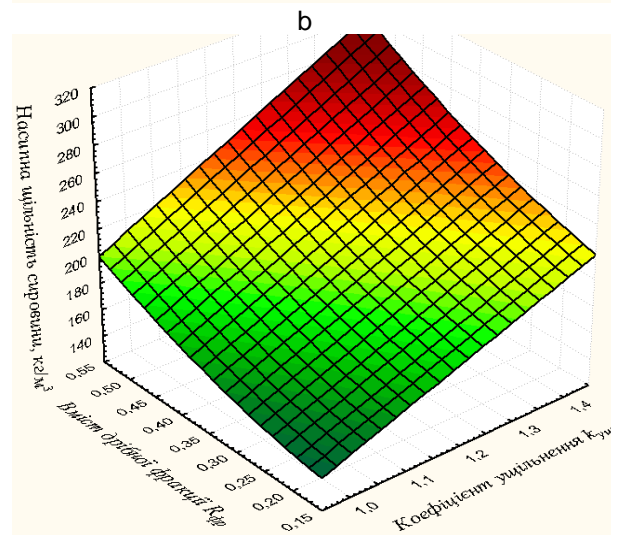
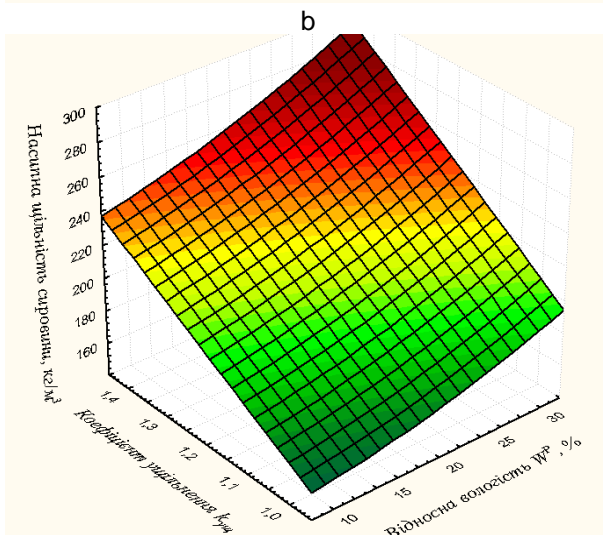
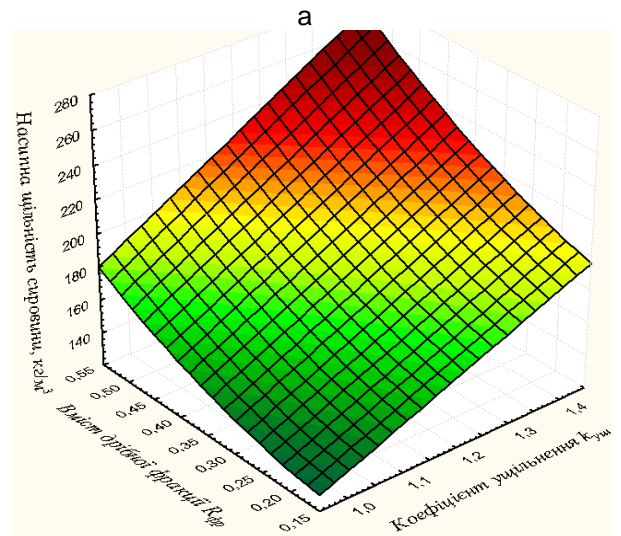
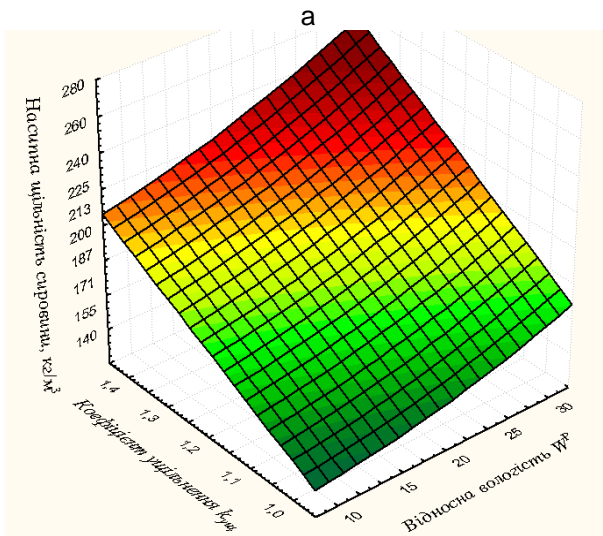
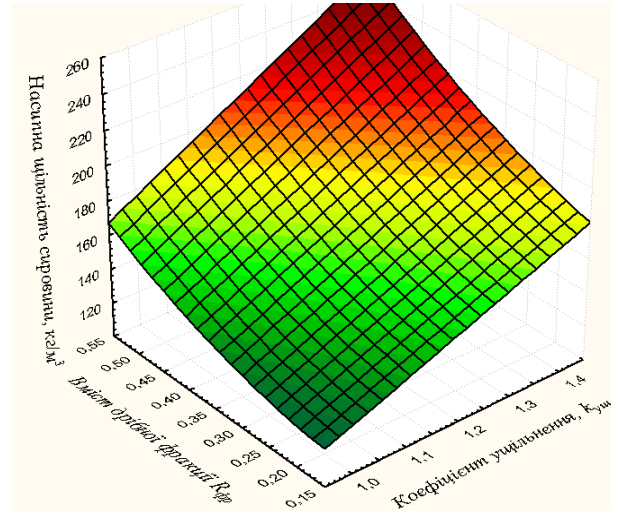
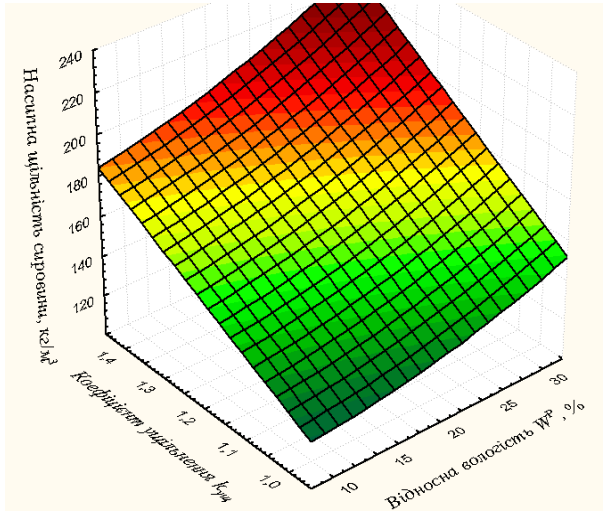


Рис. 2. Залежність насипної щільності ρ подрібненої соломи від її вологості W^p та коефіцієнту ущільнення k при вмісті дрібної фракції у суміші R_f : а – $R_f = 20\%$; б – $R_f = 35\%$; с – $R_f = 50\%$

Рис. 3. Залежність насипної щільності ρ подрібненої соломи від коефіцієнту її ущільнення k , вмісту дрібної фракції у суміші R_f при відносній вологості W : а – $W^p = 10\%$; б – $W^p = 20\%$; с – $W^p = 35\%$

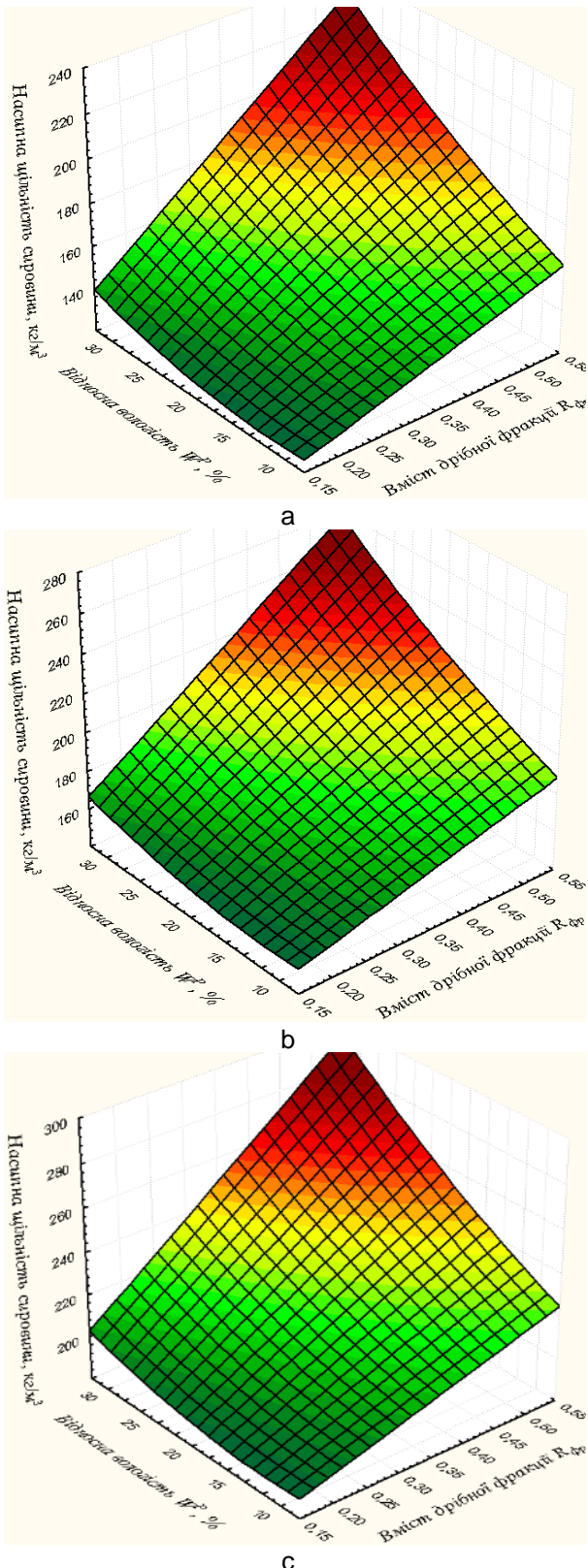


Рис. 4. Залежність насипної щільності ρ подрібненої соломи від відносної вологості W^p і вмісту дрібної фракції у суміші R_f при коефіцієнті її ущільнення k : а – $k = 1$; б – $k = 1,2$; с – $k = 1,4$

Оскільки метою дослідження було встановити залежність насипної щільності ρ поліфракційної суміші з подрібненої соломи від вмісту дрібних фракцій в суміші R_f , вологості W^p та коефіцієнту її ущільнення k при яких забезпечується порозність шару $\varepsilon = 0,54-0,61$, то шляхом проведення експерименту встановлено, що дана вимога забезпечується при $k = 1,4$, $R_f = 50\%$ та $W^p = 20\%$. Значення насипної щільності при цьому становило $\rho \approx 200 \dots 250 \text{ кг/м}^3$. Згідно рис. 2–4 при значеннях $W^p < 20\%$, $R_f = 50\%$ та $k = 1,4$ забезпечуються найкращі умови для протікання тепло- та масообмінних процесів в шарі сировини [1, 12] під час її газифікації чи прямого спалювання. Використання соломи-січки з вологістю $W^p > 30\%$ призводить до порушення тепло- та масообмінних процесів в робочих зонах теплотехнічного обладнання [12]. Спостерігається явище золошлакової агломерації з локалізацією зони горіння, що також підтверджується дослідженнями [12].

Висновки.

Методом проведення багатofакторного експерименту встановлено залежність насипної щільності поліфракційної суміші з подрібненої соломи пшениці від вмісту дрібних фракцій в суміш, вологості та коефіцієнту її ущільнення при яких забезпечується порозність шару $0,54-0,61$.

1. Досліджено, що при збільшенні вмісту дрібної фракції в суміші, вологості сировини та коефіцієнту ущільнення насипна щільність поліфракційної суміші з соломи-січки зростає.

2. При вмісті дрібної фракції в суміші 50% , коефіцієнту ущільнення $1,4$ та вологості соломи меншій за 20% отримано значення насипної щільності палива $200 \dots 250 \text{ кг/м}^3$. За вказаного значення насипної щільності палива коефіцієнт порозності шару складає $0,54-0,61$, чим забезпечуються найкращі умови для протікання тепло- та масообмінних процесів в процесі виробництва енергії.

3. При виробництві енергії з поліфракційної суміші з подрібненої соломи і забезпеченні потрібної енергоефективності відповідного теплотехнічного обладнання потрібно підбирати такий коефіцієнт ущільнення, який забезпечить нормальні умови протікання тепломасообмінних процесів в шарі сировини. При значеннях вологості сировини $20-22\%$ і вмісті дрібних фракцій в суміші $20-35\%$ коефіцієнт ущільнення слід приймати в межах $1,1-1,25$, а при вологості $28-30\%$ і вмісті дрібної фракції в суміші 50% сировину краще не ущільнювати.

Література:

1. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems / Golub G., Kukharets S., Yarosh Y., Kukharets V. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 51, No. 1. P. 93–100.
2. Виробництво і використання біопалив в агроекосистемах. Механіко-технологічні основи: монографія / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус О.А. Київ: НУБіП, 2018. 254 с.
3. Malmgren A., Riley G. Biomass power generation. *Comprehensive Renewable Energy*. 2012. Vol. 5. P. 27–53.
4. Biofuels policies that have encouraged their production and use: An international perspective / Ebadian M., van Dyk S., McMillan J. D., & Saddler J. *Energy Policy*. 2020. Vol. 147. doi:10.1016/j.enpol.2020.111906
5. Alizadeh R., Lund P.D., Soltanisehat L. Outlook on biofuels in future studies: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol 134. doi:10.1016/j.rser.2020.110326
6. Kaliyan N., Morey R.V., Schmidt D.R. Roll press compaction of corn stover and perennial grasses to increase bulk density. *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 55. P. 322–330. doi:10.1016/j.biombioe.2013.02.031
7. Pradhan P., Mahajani S.M., Arora A. Pilot scale production of fuel pellets from waste biomass leaves: Effect of milling size on pelletization process and pellet quality. *Fuel*. 2020. Vol. 285. doi:10.1016/j.fuel.2020.119145
8. Kashaninejad M., Tabil L.G. Effect of microwave–chemical pre-treatment on compression characteristics of biomass grinds. *Biosystems Engineering*. 2011. Vol. 108, Issue 1. P. 36–45. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.10.008
9. Tymoszek M., Mroczek K., Kalisz S., Kubiczek H. An investigation of biomass grindability. *Energy*. 2019. Vol. 183. P. 116–126. doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.167
10. The significance of pelletization operating conditions: An analysis of physical and mechanical characteristics as well as energy consumption of biomass pellets / M.E. Mostafa et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 105. P. 332–348. doi:10.1016/j.rser.2019.01.053
11. Мельников С.В., Ацелкин В.П., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград : Колос, 1980. 168 с.
12. Experimental study into the influence of straw content in fuel on parameters of generator gas / Golub G. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5, No. 8. P. 76–86. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142159>

References:

1. Golub, G., Kukharets, S., Yarosh, Y., Kukharets, V. (2017). Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 51 (1), 93–100.
2. Golub, G.A., Kukharets, S M., Chuba, V.V., Marus, O. A. (2018). *Vyrobnytstvo i vykorystannya biopalyv v ahroekosystemakh. Mekhaniko-tekhnolohichni osnovy : monohrafiya*. Kyiv, NUBiP, 254.
3. Malmgren, A., Riley, G. (2012). Biomass power generation. *Comprehensive Renewable Energy*, 5, 27–53.
4. Ebadian, M., van Dyk, S., McMillan, J. D., Saddler, J. (2020). Biofuels policies that have encouraged their production and use: An international perspective. *Energy Policy*, 147. doi:10.1016/j.enpol.2020.111906
5. Alizadeh, R., Lund, P. D., Soltanisehat, L. (2020). Outlook on biofuels in future studies: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134. doi:10.1016/j.rser.2020.110326
6. Kaliyan, N., Morey, R. V., Schmidt, D. R. (2013). Roll press compaction of corn stover and perennial grasses to increase bulk density. *Biomass and Bioenergy*, 55, 322–330. doi:10.1016/j.biombioe.2013.02.031
7. Pradhan, P., Mahajani, S. M., Arora, A. (2020). Pilot scale production of fuel pellets from waste biomass leaves: Effect of milling size on pelletization process and pellet quality. *Fuel*, 285. doi:10.1016/j.fuel.2020.119145
8. Kashaninejad, M., Tabil, L. G. (2011). Effect of microwave–chemical pre-treatment on compression characteristics of biomass grinds. *Biosystems Engineering*, 108 (1), 36–45. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.10.008
9. Tymoszek, M., Mroczek, K., Kalisz, S., Kubiczek, H. (2019). An investigation of biomass grindability. *Energy*, 183, 116–126. doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.167
10. Mostafa, M. E., Huab, S., Wang, Yi., Su, Sh., Hu, X., Elsayed. S. A., Xiang, J. (2019). The significance of pelletization operating conditions: An analysis of physical and mechanical characteristics as well as energy consumption of biomass pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 332–348. doi:10.1016/j.rser.2019.01.053
11. Mel'nikov, S. V., Atselkin, V. R., Roshchin, P. M. (1980). *Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaystvennykh protsessov*. Leningrad, Kolos, 168.
12. Golub, G., Kukharets, S., Tsyvenkova, N., Yarosh, Ya., Chuba, V. (2018). Experimental study into the influence of straw content in fuel on parameters of generator gas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8), 76–86. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142159>

Анотація

**Исследование насыпной плотности
измельченного растительного сырья****Г.А. Голуб, Н.М. Цивенкова, В.В. Чуба, А.А. Голубенко, В.И. Ачкевич, В.В. Корнейчук**

Устойчивая тенденция к развитию средств по производству энергии и топлива, представляющих альтернативу традиционным источникам энергии, подразумевает и предварительную подготовку сырья. Теплотворная способность топлива в единице объема является основной топливно-технической характеристикой сырья. Одним из методов повышения данного параметра является увеличение насыпной плотности сырья.

С целью увеличения насыпной плотности сырья в единице объема предлагается конструкция экспериментальной установки. В качестве сырья использовано полифракционный смесь из измельченной соломы. Исследование выполнено методом проведения многофакторного эксперимента. Переменными факторами были – фракционный состав измельченного растительного сырья, содержание влаги в смеси, коэффициент уплотнения смеси. Исследовалась зависимость насыпной плотности смеси с измельченного растительного сырья от переменных факторов. По результатам эксперимента составлено уравнения регрессии и построены соответствующие поверхности отклика. При производстве энергии, с целью обеспечения нормальных условий протекания тепло- и массообменных процессов в слое сырья, порозность слоя должна быть 0,54-0,61, что достигается при значении насыпной плотности сырья 200...250 кг/м³. Диапазон указанных значений насыпной плотности сырья экспериментально получен при влажности сырья 20 %, содержании мелкой фракции в смеси из измельченного растительного сырья 50 % и коэффициенте ее уплотнения 1,4. Полученные результаты позволяют обеспечить управляемость технологическим процессом производства топлив и энергии. А именно, в зависимости от состава и влажности исходного сырья можно подобрать такой коэффициент ее уплотнения, при котором значение насыпной плотности будет обеспечивать заданную порозность слоя на ее основе. Представленные исследования могут быть использованы при выборе оборудования и метода уплотнения сырья для производства топлив и энергии на их основе.

Ключевые слова: *фракционный состав, коэффициент уплотнения, мелкая фракция, порозность слоя*

Abstract

Research of bulk density of ground plant raw material**G.A. Golub, N.M. Tsyvenkova, V.V. Chuba, A.A. Holubenko, V.I. Achkevych, V.V. Korniychuk**

A stable trend of development of fuels and energy production which are alternatives to traditional energy sources, means that raw material pretreatment technology is also a wide field of investigation. The heat value of a volumetric unit of a fuel is the main characteristic of the raw material. One of the methods of raising this parameter is raising fuel bulk density. To raise the bulk density of a fuel a design of an experimental installation is proposed. A poly fractional mixture of ground plant raw material is used as a fuel. An investigation is made with a multi-factor experiment. Varied factors were: a fractional composition of a ground plant raw material, a moisture content of the mixture, a coefficient of compaction of the mixture. A ground plant raw material bulk density was investigated. A regression equation was composed and response surfaces were built according to the results of the experiment. When producing energy the fuel layer porosity should be 0.54–0.61, that is obtained at bulk density 200–250 kg/m³. It is important for providing normal conditions of heat-mass exchange processes. The abovementioned bulk density range was obtained experimentally at moisture content of 20 %, small fraction content of 50 % and coefficient of compaction of 1.4. The received results provide controllable technological process of fuel and energy production. Namely depending on composition and moisture content of primary raw material such coefficient of compaction could be picked that provides needed fuel layer porosity. The investigation could be used to choose an equipment and compaction method of raw material to produce fuels and energy.

Keywords: *fraction composition, the coefficient of compaction, fine fraction content, layer porosity*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Golub, G. A. et al. (2020) 'Research of bulk density of ground plant raw material', *Engineering of nature management*, (2(16)), pp. 45 - 52.

Подано до редакції / Received: 21.08.2020