

УДК 631.2:658.264

Н. М. Цивенкова

к. т. н.

А. А. Голубенко

Житомирський національний агроєкологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОДУКТИВНОСТІ ПРЯМОПОТОКОВОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА СОЛОМІ

*Наведено результати лабораторних досліджень із визначення теплопродуктивності прямопотокового газогенератора на соломі за компонентним складом генераторного газу. Представлено методику визначення компонентного складу даного газу. Експериментальними дослідженнями обґрунтовані основні конструктивні параметри і режими роботи камери газоутворення прямопотокового газогенератора. Визначено умови, при яких теплопродуктивність газогенератора найвища. Досліджено вплив на теплопродуктивність газогенератора вологості соломи зернових, обсягу повітря, необхідного для процесу газоутворення, і діаметру кола встановлення фурм, зміна якого забезпечується переміщенням рухомих фурм в осьовому напрямку. За результатами дослідження, на основі системного аналізу, представлено рекомендації щодо розробки конструкції камери газоутворення і прямопотокового газогенератора, адаптованого до рослинної сировини, які дозволяють підвищити його теплопродуктивність.*

**Ключові слова:** теплопродуктивність, газогенератор, компонентний склад газу, діаметр кола встановлення фурм, режим газоповітряного дуття.

### Постановка проблеми

Газогенераторний процес і його стійкість значно залежать від техніко-експлуатаційних характеристик газогенераторного обладнання та фізико-механічних властивостей соломи, таких, як: зольність, насипна щільність, уявна щільність, кут природного ухилу, коефіцієнт тертя по металевих поверхнях конструкцій газогенератора, порозність, вологість та ін. [2–7]. Тому актуальними є питання попереднього підготування сировини до газифікації [2, 5, 10] та узгодження конструктивних параметрів газогенератора з режимом газоповітряного дуття [3, 4, 8, 9], що дозволить без значних конструктивних змін у спроектованому під соломі газогенераторі газифікувати інші види біомаси: кукурудзяні стержні і початки, полову соняшника, міскантус, деревину та ін., забезпечуючи при цьому максимальну теплопродуктивність обладнання з вихідної сировини.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел, присвячених питанням покращення фізико-механічних властивостей соломи шляхом виробництва на її основі брикет, пелет та паливних гранул показує, що вони є достатньо вивчені [1]. Однак ці

технологічні процеси є енергоємними і вартісними [1]. Авторами статті запропоновано новий спосіб попереднього підготування соломи до газифікації – виготовлення на її основі поліфракційних сумішей, що зробить її подальше використання у теплотехнічному обладнанні економічно вигіднішим.

У світовій літературі представлено безліч різних типів конструкцій газогенераторів, залежно від способу отримання і призначення генераторного газу, а також за типом газогенераторних установок, ступенем механізації і автоматизації робіт, видом сировини, що використовується [5]. У працях таких видатних учених М. П. Вознесенського, Л. К. Коллерова, І. С. Мезіна, В. В. Нікіфорова, Г. Імберта, Н. Э. Рамбуша, Г. Р. Тренклера та ін. [2–5, 7] основний акцент ставився на створення досконалих конструкцій газогенераторів під конкретний вид сировини і основних методах зниження початкової вологості даної сировини до меж, в яких експлуатація представленого газогенератора буде економічно обґрунтованою.

Авторами статті розроблено конструкцію камери газоутворення, де, залежно від вихідної вологості сировини, шляхом зміни діаметра кола встановлення фурм і встановленням відповідного режиму газоповітряного дуття, можна знизити енерговитрати на процес газоутворення і підвищити теплопродуктивність газогенератора [9]. Також у газогенераторі з такою камерою можна виробляти енергію з будь-якого виду біомаси, теплою згорання, близькою до соломи, без додаткових конструктивних змін, лише змінюючи осьове положення рухомих фурм. Пересвідчитися в ефективності конструкції такої камери газоутворення можна шляхом постановки лабораторного досліду з визначення складу отриманого генераторного газу та продуктивності газогенератора за теплом.

## **Мета, завдання і методика досліджень**

Метою і завданням дослідження є проведення спостережень за зміною теплопродуктивності газогенератора, залежно від зміни таких параметрів, як: діаметра кола встановлення фурм, вологості соломи, об'єму газоповітряного дуття, на основі чого отримати достовірні результати, що доводять або спростовують ефективність використання розробленої камери.

Дослідження проводилися з використанням газогенераторної установки ЖНАЕУ із застосуванням вимірювального обладнання лабораторій ЖНАЕУ та Інституту газу НАН України відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів. Обробка результатів досліджень виконана із застосуванням положень теорії ймовірності та математичної статистики, при цьому використано прикладні програми Statistica 6.1 та Wolfram Mathematica 9.0.

## **Результати досліджень**

Лабораторні досліди проводилися на експериментальній установці, принципова схема та загальний вигляд якої представлено у праці авторів [8]. В якості палива для газогенератора використовувалася подрібнена солома пшениці,

на основі якої складалася наступна поліфракційна композиція: циліндричні стебла довжиною близько 35 мм із потовщеннями із товщиною стінок 0,5 – 1,1 мм; циліндричні гладкі стебла довжиною 25 – 35 мм, із товщиною стінок 0,2 – 0,3 мм і зовнішнім діаметром близько 2 – 4 мм; сплющені стебла довжиною 25 – 40 мм, із товщиною стінок 0,3 – 0,5 мм; більш крупні розщеплені стебла довжиною 10 – 30 мм, із товщиною стінок 0,15 – 0,25 мм; дрібні розщеплені стебла довжиною близько 8 мм і товщиною стінок 0,15 мм; вміст інших фракцій в суміші менше 3 %. Склад соломи з вмістом до сухої маси основних її компонентів такий: N=0,52 %, C=44,43 %, H=5,86 %, O=44,43 %, S=0,11%, зольність складає 6,5%.

На початку досліду солома-січка з вологістю  $W^p=10\%$  завантажувалася у бункер газогенератора і вироблявся газ. У процесі роботи, встановленій планом досліду послідовності, змінювали діаметр кола встановлення фурм, а потім об'єм повітря, що подається у камеру газоутворення, і визначали хімічний склад даного газу. Після закінчення цього досліду завантажувалася солома-січка з іншою вологістю і дослід повторювався. Досліди проводили для соломи-січки з різною вологістю в діапазоні 10 % – 30 % [8]. Витрати повітря  $V_{нов}$  і діаметр кола встановлення фурм  $D_{эф}$  змінювалися в діапазоні 34 – 46 м<sup>3</sup>/год і 272 – 340 мм [8], відповідно.

Для відбирання проб газу використовувалася піпетка неградуйована з двома одноходовими кранами на 500 мл за ТУ 14307481.004-93 (рис. 1, поз. 3), а визначення його складу здійснювалося за допомогою лабораторної установки (рис. 1) на базі двоканального хроматографа мод. Agilent 6890 N (номер Держреєстру засобів вимірювальної техніки України – У-889-97).



**Рис. 1. Схема експериментальної установки для визначення складу генераторного газу:** 1 – двоканальний хроматограф мод. Agilent 6890 N; 2 – балон з газом-носієм (аргоном); 3 – скляна піпетка на 500 мл з досліджуванним газом; 4 – ємність з насиченим водним розчином повареної солі; 5 – гумовий рукав для підведення водного розчину; 6 – гумовий рукав для введення проби газу у випарувувач хроматографа; 7 – затискач; 8 – манометр.

На початку дослідження калібрування детектора хроматографа здійснювалося еталонними паспортизованими газовими сумішами УКРЦСМ. Додаткове його калібрування, після виведення хроматографа 1 на робочий режим, здійснювалося сумішшю стиснутого повітря і газу-носія з балону 2.

Показання детектора виводилися на дисплей ПК у вигляді хроматографічних кривих, які ілюстрували залежність величини сигналу детектора від об'єму газу-носія (рис. 2).

Розрахунки за хроматографічними кривими здійснювалися за стандартизованою методикою. Площа кожного піка хроматограми пропорційна концентрації відповідного компонента. Оскільки швидкість газу-носія постійна, компоненти досліджуваного газу охарактеризовані об'ємом газу-носія, який пройшов від початку аналізу до моменту виходу піка. Температура колонки підтримувалася достатньо високою для того, щоб скоротити час проведення аналізу, і, одночасно, достатньо низькою для забезпечення необхідного розділення. Детектор реєстрував наявність кожного компонента і вимірював його кількість у потоці, що виходив з хроматографічної колонки.

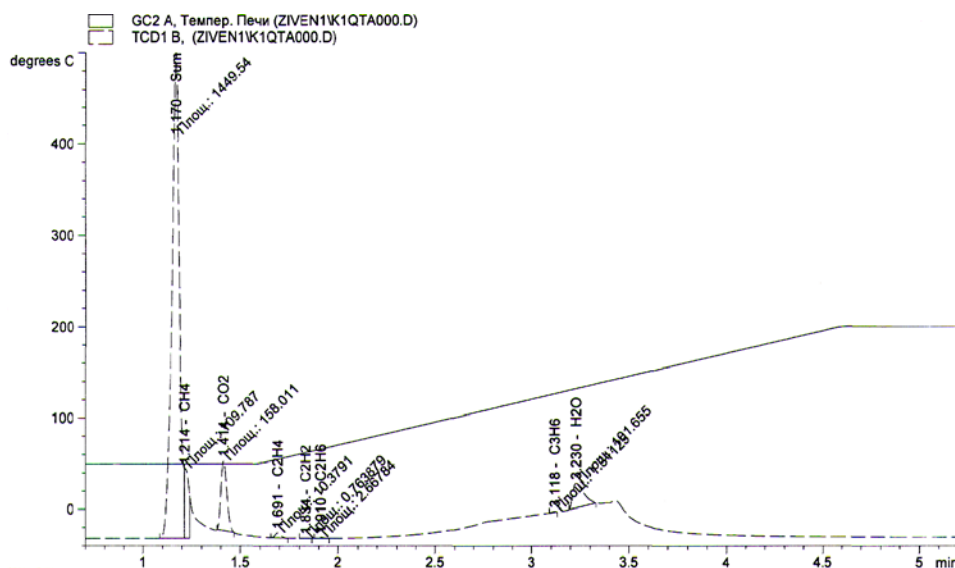


Рис. 2. Результати хроматографічного аналізу генераторного газу

При детектуванні за теплопровідністю в якості елемента з високою чутливістю використовувалася вольфрамова нитка з рутенієм, яка нагрівалася за допомогою постійного струму. Газ-носії, що безперервно протікав над нею, відводив теплоту з постійною швидкістю. Якщо у суміші з газом-носієм над нагрітою ниткою були присутні молекули досліджуваного генераторного газу, швидкість відведення теплоти змінювалася, змінюючи опір нитки. Дана зміна

реєструвалася самописцем хроматографа і виводилася на екран дисплея ПК у вигляді піку. Теплопередача від нагрітої нитки залежить від молекулярної ваги газу. Сигнал диференціального детектора пропорційний концентрації чи масовій швидкості компонента. Перед кожним наступним дослідом повторювалося калібрування детектора хроматографа еталонними паспортизованими газовими сумішами УКРЦСМ.

Нижча теплота згорання сухого генераторного газу  $Q_n^{22}$  [Дж/м<sup>3</sup>] при 0 °С і 760 мм. ст. вод. визначалася відповідно до вимог ДСТУ ISO 15971:2014 за залежністю

$$Q_n^{22} = 127,05 \cdot CO + 107,58 \cdot H_2 + 358,65 \cdot CH_4, \quad (1)$$

де  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  – об'ємний вміст зазначених компонентів у газі, %.

Нижча теплота згорання генераторного газу є необхідною на етапі визначення теплопродуктивності газогенератора як однієї з найважливіших експлуатаційних характеристик і пов'язана формулою

$$P_{Q_{2,2}} = Q_n^{22} \cdot P_{V_{2,2}} \quad (2)$$

де  $P_{Q_{2,2}}$  – теплова продуктивність газогенератора, МДж/год;  $Q_n^{22}$  – нижча теплота згорання сухого генераторного газу, Дж/м<sup>3</sup>;  $P_{V_{2,2}}$  – продуктивність газогенератора за газом, м<sup>3</sup>/год.

Продуктивність газогенератора становила 60–68 м<sup>3</sup>/год.

Встановлення зв'язку між незалежними факторами ( $D_{вф}$ ,  $V_{нов}$ ,  $W^p$ ) і залежним ( $P_{Q_{2,2}}$ ), визначення характеру даного зв'язку і вибір математичного рівняння для вираження існуючого зв'язку можливе лише шляхом проведення багатофакторного експерименту. Інтервали варіювання факторів такі: витрати повітря  $V_{нов}$  на процес газоутворення складають 34, 40 і 46 м<sup>3</sup>/год; рівні варіювання вологості  $W^p$  соломи – 10, 20 і 30 %; рівні варіювання параметра  $D_{вф}$  – 272, 306 і 340 мм. Кодування факторів:  $D_{вф}=X_1$ ,  $W^p=X_2$ ,  $V_{нов}=X_3$ .

У результаті проведення лабораторних досліджень та їх математично-статистичної обробки отримано обсяг даних з теплопродуктивності газогенератора (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця плану багатофакторного експерименту для визначення продуктивності  $P_{Q_{2,2}}$  газогенератора

№	Методика планування експерименту				Результати експериментів				Перевірка адекватності моделі		
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$P_{Q_{2,2}1}$	$P_{Q_{2,2}2}$	$P_{Q_{2,2}3}$	$P_{Q_{2,2} ср.}$	$P_{Q_{2,2} ср.р.}$	$(P_{Q_{2,2} ср.} - P_{Q_{2,2} ср.р.})$	$(P_{Q_{2,2} ср.} - P_{Q_{2,2} ср.р.})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+	+	+	0	377,73	376,58	377,21	377,17	374,96	2,21	4,87

2	+	+	-	0	421,60	422,89	421,09	421,86	416,75	5,11	26,10
---	---	---	---	---	--------	--------	--------	--------	--------	------	-------

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	+	-	+	0	303,02	302,09	301,97	302,36	307,47	-5,11	26,10
4	+	-	-	0	337,88	338,00	337,97	337,95	340,16	-2,21	4,87
5	+	0	0	0	384,44	385,56	382,62	384,21	385,38	-1,17	1,37
6	+	+	0	+	345,26	344,93	343,10	344,43	345,93	-1,50	2,26
7	+	+	0	-	301,22	301,14	299,88	300,75	306,68	-5,93	35,12
8	+	-	0	+	275,42	275,10	275,01	275,18	273,89	1,29	1,67
9	+	-	0	-	241,31	240,82	240,18	240,77	234,63	6,14	37,68
10	+	0	0	0	385,18	386,65	384,94	385,59	385,38	0,21	0,04
11	+	0	+	+	298,73	297,69	297,56	297,99	296,85	1,15	1,31
12	+	0	+	-	260,45	260,52	260,25	260,41	257,59	2,82	7,97
13	+	0	-	+	333,34	332,93	333,17	333,15	334,08	-0,93	0,87
14	+	0	-	-	291,53	292,01	291,83	291,79	294,83	-3,04	9,21
15	+	0	0	0	387,94	384,79	386,30	386,34	385,38	0,96	0,92

Коефіцієнти регресії:  $b_0=384,16$ ;  $b_1=35,99$ ;  $b_2=-18,35$ ;  $b_3=19,63$ ;  $b_{12}=-2,28$ ;  $b_{13}=2,32$ ;  $b_{23}=-0,95$ ;  $b_{11}=-14,94$ ;  $b_{22}=-9,39$ ;  $b_{33}=-78,94$ .

Рівняння регресії:

$$P_{Q_{2.2}} = 384,16 + 35,99 \cdot D_{вф} - 18,35 \cdot W^P + 19,63 \cdot V_{нов} - 9,386 \cdot (W^P)^2 - 78,94 \cdot V_{нов}^2 \quad (3)$$

Графічне зображення вищезазначених залежностей представлено на рис. 3–5.

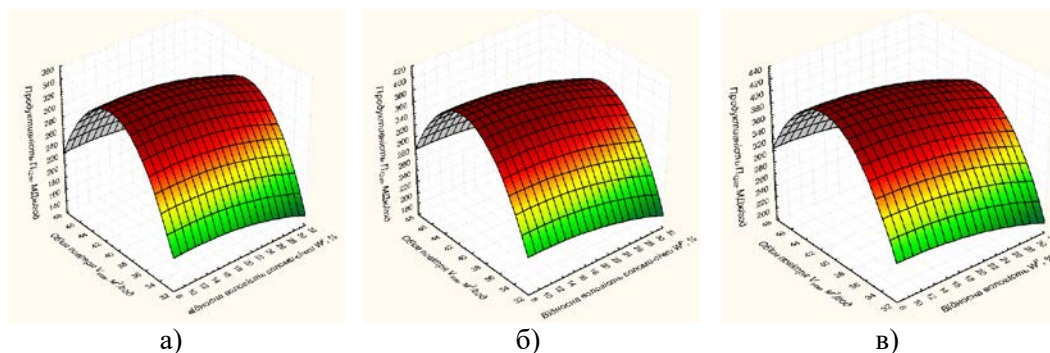


Рис. 3. Залежність продуктивності газогенератора  $P_{Q_{2.2}}$  від вологості соломи  $W^P$  і об'єму повітря  $V_{нов}$ , що подається у камеру газотворення, при  $D_{вф}=272$  мм (а),  $D_{вф}=306$  мм (б),  $D_{вф}=340$  мм (в).

Як показують результати дослідів (рис. 3), при збільшенні об'єму повітря  $V_{нов}$ , що надходить у камеру газотворення, з  $34$  м<sup>3</sup>/год до  $41$  м<sup>3</sup>/год

продуктивність газогенератора  $P_{Q_{22}}$  зростає. Тенденція до збільшення параметра  $P_{Q_{22}}$  спостерігається на усіх трьох графічних залежностях (рис. 3а, 3б, 3в). Однак найвищі значення продуктивності відповідають діапазону, в якому об'єм повітря, що нагнітається у камеру, становить 39 – 42 м<sup>3</sup>/год, саме його було прийнято за раціональний дуттьовий режим для газогенератора на соломі-січці з вологістю 10 – 30 %.

Явище підвищення продуктивності пояснюється тим, що, збільшуючи подачу повітря у робочу зону камери, зростає об'єм кисню, який сприяє інтенсифікації протікання реакцій окислення вуглецю палива. Оскільки реакція окислення є ендотермічною, в активній зоні виділяється значна кількість теплоти, необхідної для створення СО – одного з основних горючих компонентів газу. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню теплотворності генераторного газу і, як наслідок, теплопродуктивності газогенератора.

Але, при подальшому збільшенні об'ємів дуття понад  $V_{нов} > 42$  м<sup>3</sup>/год, теплова продуктивність  $P_{Q_{22}}$  газогенератора знижується, оскільки надлишкове повітря, проходячи через шар палива реакційної зони, охолоджує його, сприяючи створенню більшої кількості СО<sub>2</sub> замість СО, за рахунок винесення вуглецю палива з газом, який відбирається з газогенератора.

З рис. 4 видно, що, при збільшенні діаметра кола встановлення фурм  $D_{в.ф.}$ , з 272 до 340 мм продуктивність  $P_{Q_{22}}$  газогенератора зростає, що обумовлено створенням кращих умов для протікання аеродинамічних процесів у камері газоутворення. Однак, надмірне збільшення цього параметра зумовлює порушення стабільності газогенераторного процесу. Спостерігається явище локалізації зон, де протікає процес газоутворення, і утворення зон непрогорання палива у центрі камери газоутворення. Як наслідок – підвищується вміст смол у газі. Для соломи-січки вологістю  $W^p = 30$  % за нормальних умов вміст смол склав близько 3 г/м<sup>3</sup>, води – 0,2 кг/м<sup>3</sup>.

Іншою вимогою, яка накладає обмеження на збільшення чи зменшення параметра  $D_{в.ф.}$ , є забезпечення пропорційності відношення  $D_{в.ф.}$  до  $d_z$ , як необхідне для створення умов протікання процесу крекінгу смол.

Зменшення діаметра кола встановлення фурм  $D_{в.ф.}$  при сталих значеннях об'єму газів дуття  $V_{нов}$  і відносної вологості сировини  $W^p$  призведе до локалізації зони горіння у центрі камери газоутворення й утворення зон непрогорання сировини поблизу стінок камери газоутворення з подальшим зниженням температури в активній зоні, і, як наслідок, до зниження продуктивності газогенератора  $P_{Q_{22}}$ .

Отже, змінюючи такий регульований параметр, як діаметр кола встановлення фурм  $D_{в.ф.}$ , можна змінювати продуктивність  $P_{Q_{22}}$  газогенератора залежно від вихідної вологості  $W^p$  соломи-січки при сталому значенні об'єму  $V_{нов}$  повітря.

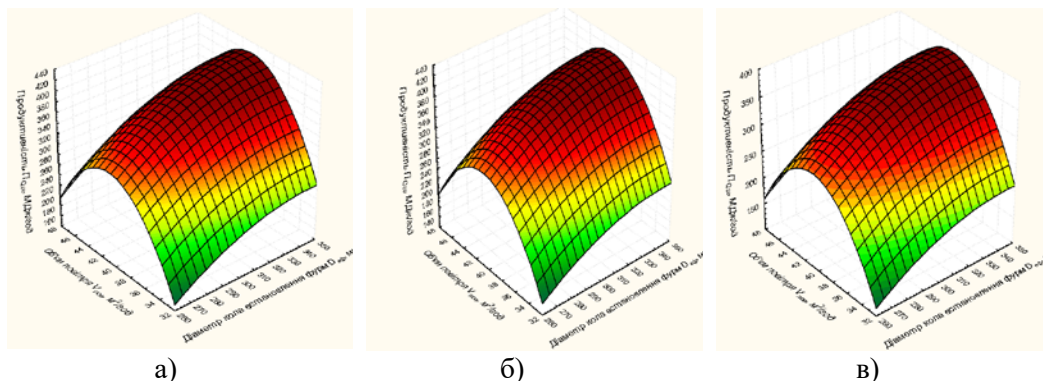


Рис. 4. Залежність продуктивності газогенератора  $P_{Qg}$  від діаметра кола встановлення фурм  $D_{в.ф}$  і об'єму повітря  $V_{пов}$ , що подається у камеру газотворення при  $W^p=10\%$  (а),  $W^p=20\%$  (б),  $W^p=30\%$  (в).

Більшість робіт із попереднього підготування сировини до її використання в будь-якому теплотехнічному обладнанні зводиться до зниження її вологості до меж, де технологічний процес і обладнання, яке при цьому задіяне, є економічно обґрунтованими.

Так, наприклад, у нашому випадку нижнє значення вологості для соломи-січки складає 8%. Цієї кількості вологи достатньо для утворення такого горючого компонента газу як  $H_2$ , і витрати на її підсушування відносно невисокі.

Для визначення верхнього значення вологості було проведено наступне дослідження. В якості палива для газогенератора використовувалася солома-січка вологістю 40%. Бункер газогенератора додатково було оснащено конденсаційним пристроєм, а конструкція колосникової решітки передбачала коливальну решітку з ножами, розташовану в центрі іншої кільцевої решітки. Однак, задовільні технологічні характеристики роботи газогенератора не були забезпечені. Протягом вже першої години роботи газогенератора на соломи-січці вологістю 40% і зольністю 6,5% отримано вихід сухого газу  $v_c=1,4$  м<sup>3</sup>/кг з теплою згорання  $Q_{н}^{zz}=3,6$  МДж/м<sup>3</sup> замість  $v_c=2,14$  м<sup>3</sup>/кг і  $Q_{н}^{zz}=6,14$  МДж/м<sup>3</sup> при роботі на соломи-січці вологістю 8%. Опір шару зріс з 8 Па до 25 Па через інтенсивне шлакоутворення, а теплопродуктивність газогенератора до кінця п'ятої години роботи з 394 МДж/год зменшилася до 151 МДж/год. Стійкість теплопродуктивності порушилася. Починаючи з 3-ї години роботи, потрібно було забезпечити періодичний рух коливальної решітки з ножами. Якщо порівнювати отримані дослідні дані з даними з виробництва генераторного газу з солом'яних брикетів і торфу зольністю 12% вологістю 15% з температурою плавлення золи понад 1300 °С, отриманими І. С. Мезіним [4], результати показують, що шлакоутворення при роботі на соломи-січці вологістю 40% дещо вище (1,24 кг/год), ніж на солом'яних брикетах (1,13 кг/год) і менше, ніж на



торфі (3,14 кг/год) [4]. Однак, шлак соломи, порівняно з торфобрикетками, через низьку температуру розм'якшення і плавлення, має в'язку структуру і покриває поверхню палива, знижуючи його газопроникність. Шлак, змішуючись із паливом, зменшує можливість його проштовхування у нижню частину камери, тим самим поступово припиняючи роботу установки. У даному випадку, використання поліфракційної композиції з соломи-січки є набагато кращим, ніж брикетів на її основі, оскільки при шлакуванні солома-січка має більшу реакційну поверхню і вищий ступінь газопроникності. Отже, використання соломи-січки з вологістю більше 30 % недоцільно через високі втрати теплопродуктивності.

Якщо розглядати вплив вологості палива на експлуатаційні характеристики газогенератора, то при вологості 8 % тривалість розпалювання газогенератора складає біля 20 хв і 45 хв при вологості 30 % через витрати енергії на процес підсушування соломи безпосередньо в бункері газогенератора. Відповідно, нижча теплота згорання сухого генераторного газу при використанні соломи-січки з вологістю 30 % склала  $Q_{н.з.з.} = 5,43$  МДж/м<sup>3</sup>, що майже в 1,2 раза менше за теплоту згорання газу з соломи-січки вологістю 8 % – 6,14 МДж/м<sup>3</sup>, а кількість сухого генераторного газу, отримана з кілограма соломи-січки, зменшилася при цьому в 1,3 раза і склала 1,65 м<sup>3</sup>/кг.

Графічні залежності (рис. 5) досить точно відображають характер зміни теплового режиму газогенератора при зростанні вологості  $W^p$  палива. Зростання вологості з 8 до 30 % призводить до зростання витрат теплоти на випаровування води з палива майже на 15 %, а подальше зростання її значення веде до різкого зниження температури у реакційній зоні і, як наслідок, до порушення стабільності газогенераторного процесу. Отже, межі вологості  $W^p = 8 - 30$  % є раціональними, а весь технологічний процес підготовки соломи-січки до використання в газогенераторі має забезпечувати доведення її вологості до зазначених меж.

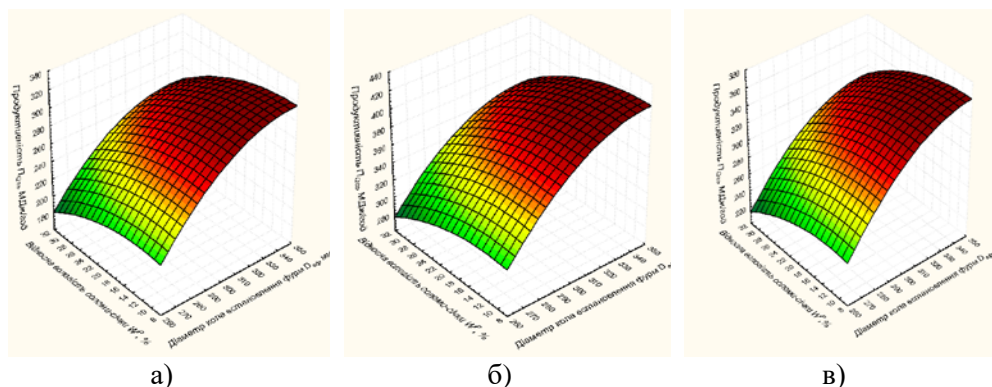


Рис. 5. Залежність продуктивності газогенератора  $P_{Qg}$  від діаметра кола встановлення фурм  $D_{в.ф}$  і вологості соломи  $W^p$  при  $V_{нов} = 34$  м<sup>3</sup>/год (а),  $V_{нов} = 40$  м<sup>3</sup>/год (б),  $V_{нов} = 46$  м<sup>3</sup>/год (в).

Однак, аналіз залежності (рис. 5) при фіксованих значеннях  $V_{нов}$  свідчить про менший вплив вологості  $W^p$  соломи-січки в діапазоні 8–30 % на продуктивність газогенератора  $П_{Q_{гг}}$ , ніж вплив  $D_{вф}$ . Максимальна продуктивність  $П_{Q_{гг}}$  газогенератора здебільшого, як вже зазначалося, залежить від поточного розташування рухомих фурм в активній зоні газогенератора, тобто від значення  $D_{вф}$ .

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Узагальнивши вищезазначене, можна стверджувати, що:

– при збільшенні об'єму газоповітряного дуття  $V_{нов}$  з 34 до 41 м<sup>3</sup>/год показник теплопродуктивності газогенератора  $П_{Q_{гг}}$  зростає на 30–35 % і, навпаки, зменшується при подальшому збільшенні його значень до 46 м<sup>3</sup>/год. Отже, в діапазоні  $V_{нов}=39–42$  м<sup>3</sup>/год теплопродуктивність газогенератора  $П_{Q_{гг}}$  набуває максимального значення при відносній вологості соломи-січки пшениці  $W^p=8$  % і складає 340–425 МДж/год;

– при збільшенні  $D_{вф}$  з 272 до 340 мм  $П_{Q_{гг}}$  зростає на 22–24 % для зазначеної вологості соломи в межах дуттьового режиму  $V_{нов}=34–46$  м<sup>3</sup>/год;

– при збільшенні  $W^p$  з 10 до 30 % продуктивність  $П_{Q_{гг}}$  газогенератора зменшується на 12–15 % при дуттьовому режимі  $V_{нов}=34–46$  м<sup>3</sup>/год.

Зазначимо, що при вологості соломи-січки в межах 8–30 %, об'ємі газів дуття 39–42 м<sup>3</sup>/год і зміні діаметра кола встановлення фурм в діапазоні 272–340 мм отримано високі показники теплоти згоряння сухого генераторного газу 5,0–6,6 МДж/м<sup>3</sup>, а максимальної продуктивності газогенератора 425 МДж/год досягнуто при об'ємі дуття 40 м<sup>3</sup>/год, діаметрі кола встановлення фурм 340 мм і вологості соломи-січки 8 %.

На основі аналізу результатів досліджень можна зробити висновок, що виготовлення камери газоутворення зі змінним діаметром кола встановлення фурм (з рухомими фурмами, осьове положення яких можна змінювати у процесі роботи газогенератора та його налаштування) є цілком реальним і ефективним конструкторсько-технологічним прийомом, а забезпечення відповідного до вологості сировини режиму газоповітряного дуття дозволить отримувати високі за теплопродуктивністю показники газогенератора.

Метою подальших досліджень є вивчення впливу нерівномірності розподілу дрібнозернистих рослинних відходів по поверхні горіння на повноту вигорання палива і, як наслідок, на продуктивність газогенератора.

### Література

1. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, І. П. Масло [та ін]. – К. : ЦТІ “Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.

2. Коллеров Л. К. Газификация твердых топлив. Теория подобия и ее применение при исследовании газогенераторной установки / Л. К. Коллеров ; под ред. В. В. Никифорова. – М. ; Л. : Машгиз, 1952. – 72 с.

---

3. Коллеров Л. К. К вопросу расчета камеры газификации для мелкозернистого растительного топлива / Л. К. Коллеров // Тр. ЦНИДИ. – М. : Машгиз, 1950. – 24 с.

4. Мезин И. С. Влияние диаметра и высоты камеры газификации на химический состав газа / И. С. Мезин // Тр. науч.-эксперимент. и проект. ин-та автотранс. пром-ти. – 1941. – Вып. 40. – С. 156.

5. Мезин И. С. Транспортные газогенераторы / И. С. Мезин. – М. : **Огиз** Сельхозгиз, 1948. – 311 с.

6. Михеев А. П. Шлакообразующая способность топлива и его газификационные свойства / А. П. Михеев, Р. В. Пухликова, Т. Е. Ярослав. – М. : ВНИГИ, 1952. – 289 с.

7. Никифоров В. В. Газификация соломы / В. В. Никифоров. – М. : Машгиз, 1949. – 55 с.

8. Обґрунтування параметрів газогенератора, адаптованого до рослинної сировини / Л. В. Лось, О. Д. Муляр, С. М. Кухарець [та ін] // Вісн. ЖНАЕУ. – 2014. – № 2 (45), т. 4, ч. II. – С. 206–216.

9. Пат. 107219 Україна, МПК С10J 3/20, С10J 3/32, В01J 7/00, F23C 7/00. Спосіб формування зони горіння і газифікації та газогенератор для його здійснення / Цивенкова Н. М., Голубенко А. А. ; заявники і патентовласники Цивенкова Н. М., Голубенко А. А. – № а 2012 11797 ; заявл. 12.10.2012 ; дата публікації 10.12.2014, Бюл. № 23.

10. Особливості виробництва біопалива та отримання енергії в умовах агропромислового виробництва / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець, В. О. Шубенко, Н. М. Бовсунівська // Техніка і технології АПК. – 2015. – № 2 (65). – С. 21–34.

---