

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису
УДК 631.371: 620.92

ФІЛІПОВ Юрій Євгенович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Розроблення установки для виробництва горючого газу із
солом'яних гранул

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю. Є. Філіпов

Керівник роботи
Ярош Я.Д.
Доктор технічних наук, доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Філіпов Юрій Євгенович. Розроблення установки для виробництва горючого газу із солом'яних гранул. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі встановлено, що існуючі газогенератори дозволяють ефективно газифікувати соломі, але мають дуже складний технологічний процес. Тому залишається невирішеною проблема ефективної газифікації соломи в газогенераторах за доступною технологією.

В процесі експериментальних досліджень встановлено, що раціональними значеннями для газогенератора соломи є висота робочої зони 100 мм та подача повітря в робочу зону на рівні 13 л/с, при цьому досягається вміст горючої компоненти в газі на рівні 25%.

Крім того, максимальна потужність електростанції на газогенераторів із висотою робочої зони 100 мм та шириною 200 мм, становить 2,18 кВт, при цьому споживається 0,215 м³ газу на хвилину та 0,198 м³ повітря на хвилину.

Ключові слова: газогенератор, електростанція, потужність, робоча область

ANNOTATION

Filipov Yuriy. The development of a plant for the production of combustible gas from straw pellets. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

It is established that the existing gas generators allow efficient gasification of straw, but have a very complex technological process. Therefore, the problem of efficient gasification of straw in gas generators using available technology remains unsolved.

In the course of experimental researches it is established that the rational values for the straw gas generator are the height of the working zone of 100 mm and air supply to the working zone at the level of 13 l/s, while the content of combustible component in the gas is 25%.

In addition, the maximum power of the power plant on gas generators with a working zone height of 100 mm and a width of 200 mm is 2.18 kW, while consuming 0.215 m³ of gas per minute and 0.198 m³ of air per minute.

Key words: gas generator, power plant, power, working area

Зміст

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ В РОБОТІ ГАЗОГЕНЕРАТОРІВ НА СОЛОМ'ЯНОМУ ПАЛИВІ.....	7
Висновки до розділу	11
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА СОЛОМІ.....	16
Висновки до розділу	20
ВИСНОВКИ.....	21
Список використаних джерел	22

ВСТУП

Виробництво електричної енергії із соломи є важливим заданням в сільському господарстві. Проте процеси виробництва електроенергії на основі генераторного газу, ще недостатньо досліджені, через відсутність промислових газогенераторів на соломі.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – забезпечити ефективне виробництво електричної енергії шляхом використання генераторного газу в двигуні мобільної електростанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі **наукові задачі**:

- 1 Проаналізувати особливості роботи газогенератора на солом'яному паливі
2. Розробити методику експериментальних досліджень
3. Виконати аналіз експериментальних досліджень, щодо роботи газогенератора на соломі та електростанції на генераторному газі із соломи

Об'єкт дослідження: процес роботи газогенератора на соломі та електростанції на генераторному газі.

Предмет дослідження: параметри процесу надходження повітря та висоти робочої зони газогенератора у взаємозв'язку із показниками якості газу та виробленою електричною потужністю

Методи дослідження: Експериментальні дослідження виконувались згідно положень теорії імовірності та математичної статистики. В процесі проведення досліджень використовувалися стандартні та розроблені нами методики.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати дають змогу обґрунтувати параметри роботи електростанції на генераторному газі. Зокрема, визначити споживання газу та повітря в залежності від виробленої потужності.

Данні про апробацію роботи.

Філіпов Ю.Є. Аналіз проблем в роботі газогенераторів на солом'яному паливі. *Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 113–116.

Голуб Г.А., Ярош Я.Д., Кухарець М.М., Філіпов Ю.Є. проект газифікатора для виробництва горючого газу із солом'яних гранул. *Біоенергетичні системи. Частина 2: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф.*, 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 109–110.

Структура та обсяг. Магістерська робота викладена на 23 сторінках, складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 14 найменувань, містить 9 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ В РОБОТІ ГАЗОГЕНЕРАТОРІВ НА СОЛОМ'ЯНОМУ ПАЛИВІ

Значна емісія парникових газів під час спалювання викопних видів палива спонукає переходити до відновлювальних джерел енергії. Очевидно, що сільське господарство може бути джерелом не тільки харчової продукції, а і джерелом біопалива [1]. Зокрема, в Україні є значні обсяги рослинних залишків сільськогосподарської сировини (солома пшениці та інших зернових культур, бадилля кукурудзи та соняшника, інші відходи). Валовий збір рослинних залишків сільськогосподарської сировини доступної для енергетичного використання в 20189 р. в Україні становив 50000 тис. тон. Проте в Україні, за нашими оцінками, використовується не більше 3% цього потенціалу. В першу чергу це пов'язано із відсутністю необхідного обладнання та технологій у сільськогосподарських виробників. Тому надзвичайний інтерес викликає великий досвід США у виробництві теплової та електричної енергії із біомаси та адаптація литовських технологій до умов України.

Крім того, використання біомаси для виробництва теплоти та електроенергії обмежують проблеми, пов'язані із неоднорідністю біомаси, відносно високою вологістю, малим питомим енерговмістом, низькою температурою плавлення золи [2, 3]. Суттєвим недоліком використання біомаси в процесі отримання енергії є підвищений, в порівнянні з іншими вуглеводнями та вугіллям, вміст азоту, кремнію, калію, натрію, хлору та інших легкоплавких речовин.

Одним із способів вирішення цієї проблеми є хіміко-термічна конверсія біомаси, використовуючи процес, який називається газифікацією. Газифікацією біомаси називається процес спалювання біомаси при температурі 800-1500 0C в присутності обмеженої кількості повітря, або кисню і води з отриманням горючого

газу, що складається з окису вуглецю, вуглекислого газу, водню, метану, води, азоту, а також забруднюючих речовин, таких як дрібні механічні частинки, зола і смоли.

Отриманий газ можна використовувати в турбінах, двигунах внутрішнього згорання, для виробництва електроенергії, спалювати в теплотехнічних установках та ін.

Таким чином, газифікація може мати значні позитивні наслідки для якості та вартості біомаси, що робить її більш придатною для використання в якості джерела енергії [4].

Роботи, присвячені виробництву теплоти з генераторного газу, отриманого шляхом газифікації біомаси активно ведуться на базі Поліського національного університету, в той час як роботи в напрямку виробництва електричної енергії з даного газу тільки розпочалися.

Значний прогрес у розробці газогенеруючого обладнання та ретельне теоретичне вивчення процесу видобутку газу із біомаси рослинного походження свідчать про те, що в даний час цьому питанню приділяється значна увага [5]. Однак існує ряд технічних питань, які перешкоджають отриманню очікуваних результатів від застосування технологій вироблення газу [2]. Проблеми виникають на шляху підвищення теплотворної здатності газу та газифікації низькосортних палив (наприклад, лушпиння соняшнику, серцевини качана кукурудзи, соломи зернових, стебел ріпаку, а також вироблених із них брикети та гранули) [6]. Зокрема, істотним недоліком використання соломи для газифікації, порівняно з вуглеводами та вугіллям, є більший вміст у ній азоту, кремнію, калію, натрію, хлору та інших легкоплавких речовин. Наявність легкоплавких речовин, особливо калійних та натрієвих солей, призводить до створення легкоплавкої золи та призводить до утворення зольно-шлакових агломератів на робочих поверхнях термотехнічного обладнання [7].

При спалюванні рослинної біомаси виникають труднощі, пов'язані з неоднорідністю біомаси, відносно високою вологістю, низькою питомою енергією, низькою температурою плавлення золи [8]. А використання газифікаторів для газифікації біомаси буде доцільним для споживача при отриманні стабільного енергопостачання [9]. Аналіз наукових досліджень дозволяє зробити висновок, що газифікація біомаси є складним процесом, заснованим на рівняннях термохімічної рівноваги, кінетики, теплопередачі та масообміну [7], які базуються на швидкості газифікації біомаси.

Отримання генераторного газу із соломи є складним процесом. Солома в своєму складі має кремнієві сполуки, які розплавляються під час роботи газифікатора, тому що температура зони горіння відповідає температурі плавлення кремнієвих сполук. В результаті на колосникових решітках утворюються скловидні тверді відкладення [9] (рис. 1.1).

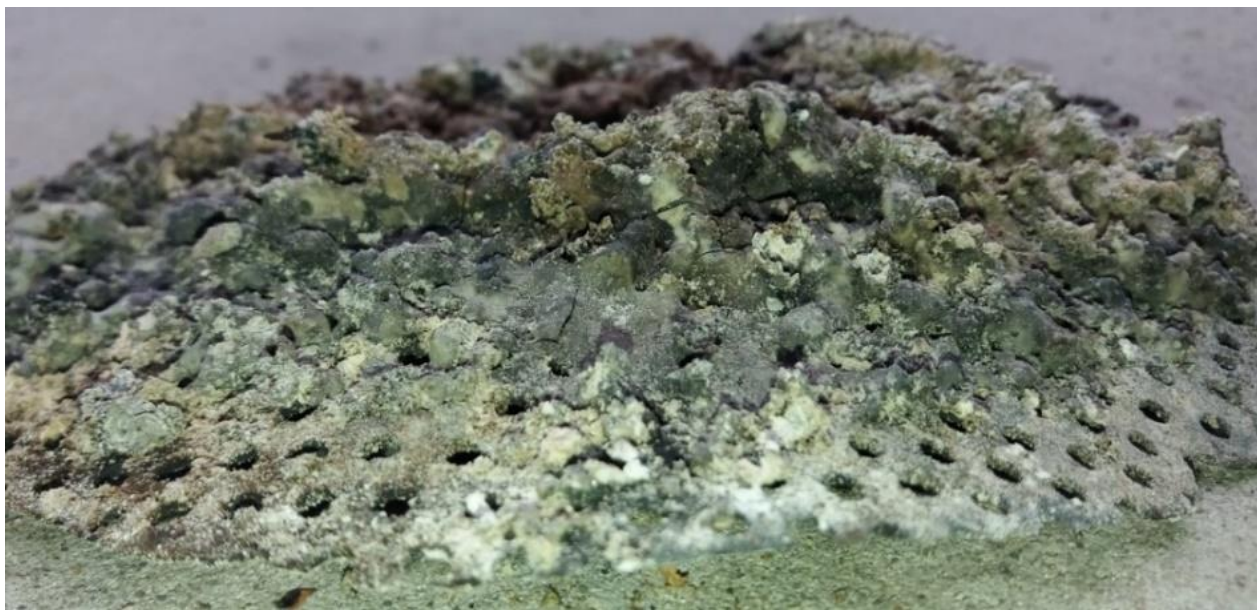


Рис. 1.1 Тверді скловидні відкладення розплавлених сполук кремнію на колосниковій решітці

Аналіз проведених досліджень щодо газифікації соломи стверджує, що дослідники пішли шляхом створення складних конструкцій газифікаторів [10, 11,

12]. Такі газифікатори дозволяють ефективно газифікувати солому, але мають дуже складний технологічний процесу. Тому залишається невирішеною проблемами ефективної газифікації соломи в газогенераторах за доступною технологією.

Тому для виробництва генераторного газу з гранул соломи ми пропонуємо оригінальну конструкцію газифікатора (рис. 2). Газифікатор складається з зони згоряння, зони відновлення, бункера для палива, бункера для золи, камери подачі окислювача, колектора подачі генераторних газів, подачі окислювача і трубопроводу відводу газу. У бічній поверхні у зоні відновлення газу-генератора виконані спеціальні прорізи. Сторона поперечного перерізу газифікатора в зоні окислення та відновлення становить 200 мм.

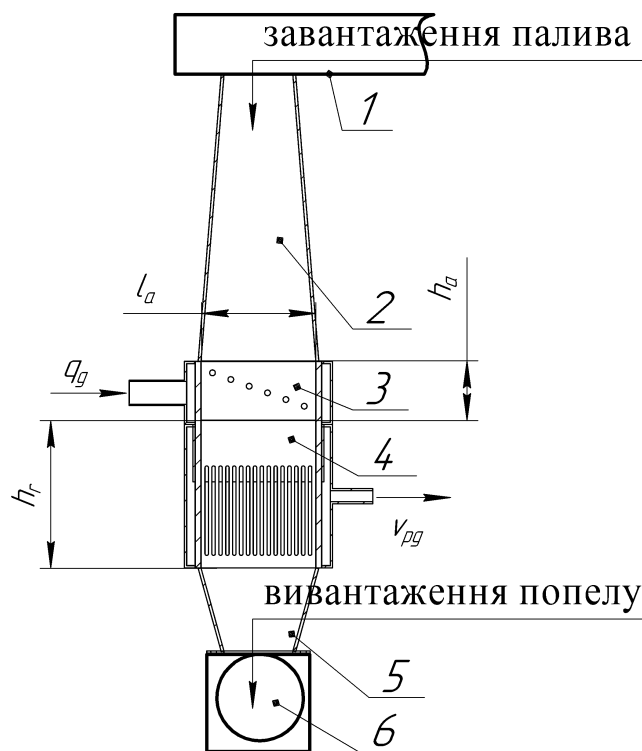


Рис. 2. Схема конструкції газифікатора: 1 – вузол завантаження палива; 2 – бункер для гранул соломи; 3 – зона згоряння; 4 – зона відновлення; 5 – бункер для золи; 6 – затвор.

Відбір генераторного газу із зони відновлення відбувається через вертикальні пази бічної поверхні відновлюваної зони 1. Тому впадає необхідність встановлювати горизонтальну решітку, на якій в основному і відбувається відкладення скловидних утворень.

Для ефективної роботи такого газифікатора необхідно узгодити швидкість подавання палива до зони згоряння та швидкість вивантаження золи із зони відновлення. Таке узгодження дозволить неперервну роботу газифікатора. Для цього необхідно виконати дослідження швидкості згорання палива та швидкості утворення золи в широкому діапазоні режимів роботи газогенератора.

Висновки до розділу

Аналіз проведених досліджень щодо газифікації соломи стверджує, що дослідники пішли шляхом створення складних конструкцій газогенераторів. Такі газогенератори дозволяють ефективно газифікувати соломі, але мають дуже складний технологічний процес. Тому залишається невирішеною проблема ефективної газифікації соломи в газогенераторах за доступною технологією.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження установки для виробництва генераторного газу із соломи проводилося із використанням газогенератора розробленого в Поліському національному університеті [13, 14]. Установка містила газогенератор для соломи, в якому за допомогою спеціальних пластин можна було регулювати співвідношення висот робочих зон (рис. 2.1 та 2.2).

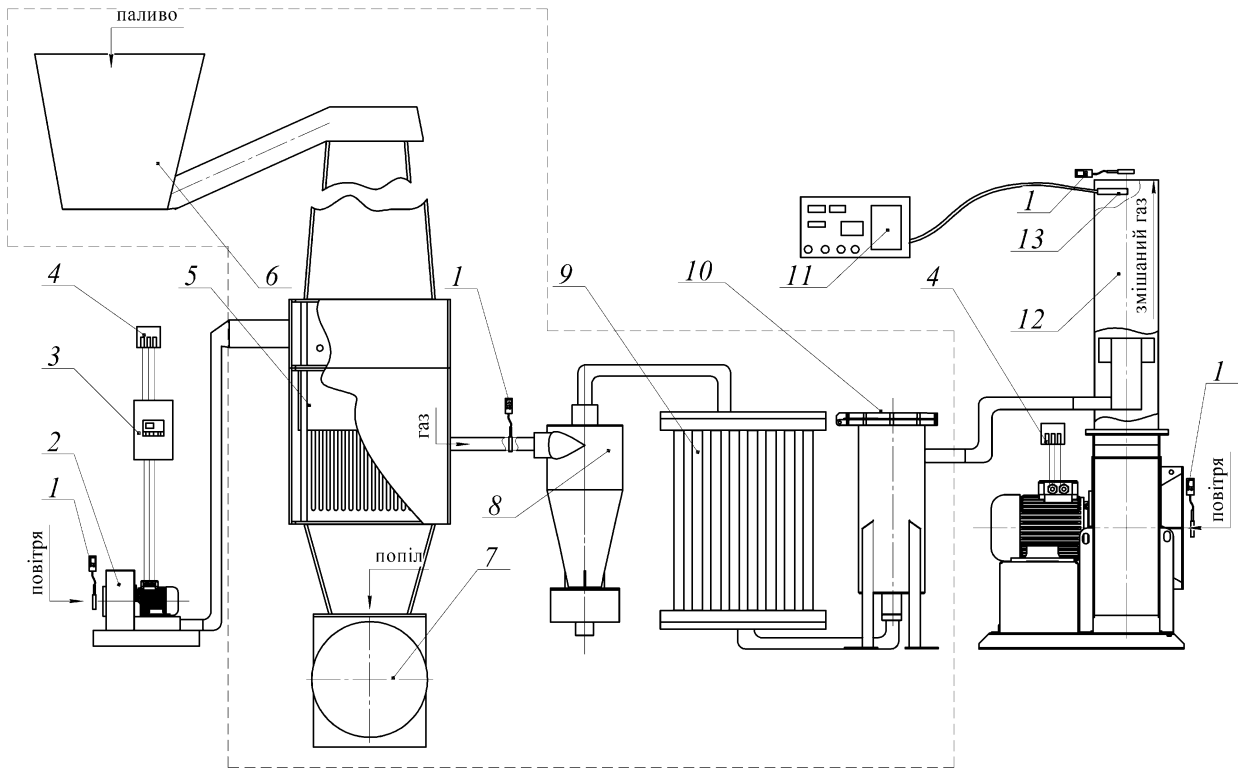


Рис. 2.1. Експериментальна установка: 1 – пристрій для контролю подачі обсягу повітря; 2 – пристрій для подавання повітря; 3 – регулятор частоти струму; 4 – електроживлення; 5 – газогенератор конструкції Поліського університету; 6 – ємкість палива; 7 – збирач попелу; 8 – фільтрувальний пристрій 1; 9 – холодильник газу; 10 – прилад для контролю якості отриманого газу; 11 – фільтрувальний пристрій 2; 12 – пристрій для зменшення концентрації газу; 13 – знімаючий блок даних

В експериментальних дослідженнях ми розглядали вплив висоти робочої зони газогенератора та обсягу подачі повітря в газогенератор на якість газу. Для палива використовували солом'яні паливні пелети.



Рис. 2.2. Газогенератор для соломи розроблений науковцями Поліського національного університету

Робоча зона могла регулюватися на висоти від 3 до 16 см (рис 2.3). Причому в перерізі вона мала форму квадрата із стороною 20 см



Рис. 2.3. Спосіб регулювання висоти зони відновлення

Дослідження можливості виробництва електричної енергії в залежності від якості отриманого газу проводилось на додатково розробленій установці (рис. 2. 4). До складу установки входив газогенератор, фільтрувальні пристрої, холодильник, ємкість для газу та інше обладнання.



а)

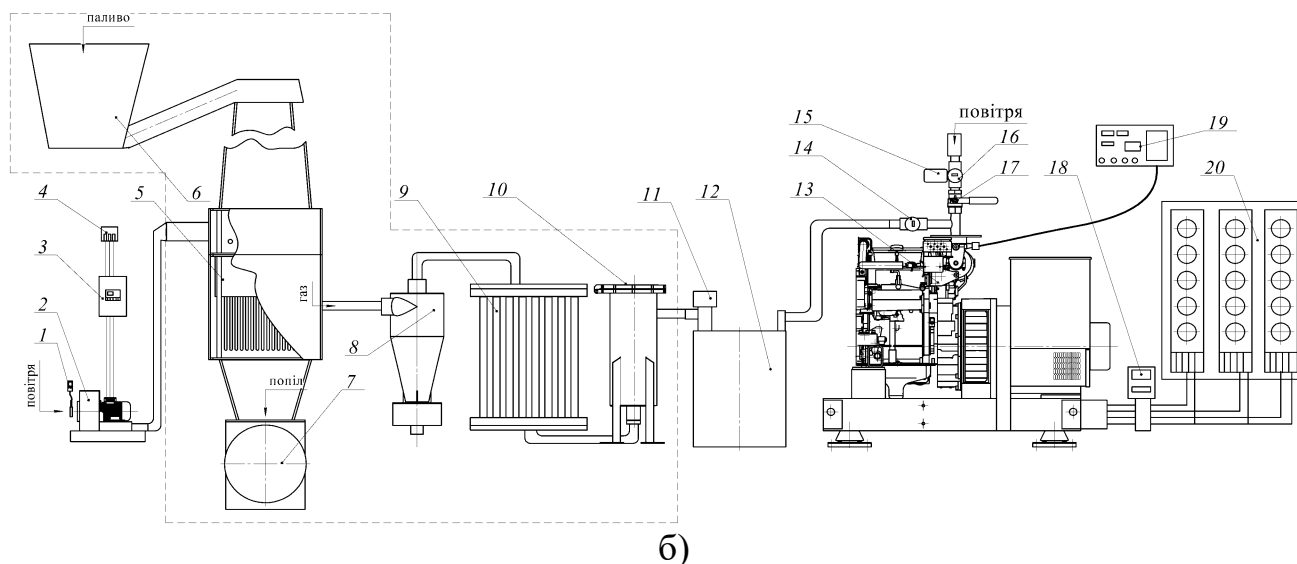


Рис. 2.4. Установка для дослідження можливості виробництва електричної енергії:

1 – пристрій для контролю обсягу повітря, що подається в газогенератор; 2 – пристрій для нагнітання повітря в газогенератор; 3 – регулятор частоти струму; 4 – електроживлення; 5 – газогенератор конструкції Поліського університету; 6 – ємкість для солом'яних гранул; 7 – ємкість для попелу; 8 – фільтрувач 1; 9 – холодильник; 10 – фільтрувач 2; 11 – запірний механізм; 12 – проміжна ємкість для газу; 13 – електростанція; 14 – лічильник 1; 15 – пристрій для нагнітання повітря; 16 – лічильник 2; 17 – пристрій для формування паливної суміші; 18 – контроль споживаної потужності; 19 – газоаналізатор вихлопу; 20 – пристрій для створення електричного навантаження.

Результати експериментальних досліджень наведені в наступному розділі.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА СОЛОМІ

Експериментальні дослідження впливу висоти робочої області газогенератора, тобто області в якій відбувається реакція утворення генераторного газу, та обсягу повітря, що надходить до газогенератора на вміст горючої компоненти в отриманому газі (вміст монооксиду карбону – CO) дозволили отримати результати, що наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1. Результати експериментальних досліджень впливу висоти робочої області газогенератора та обсягу повітря на вміст горючої компоненти (CO) в отриманому газі

Подача повітря, л/с	Висота робочої області, см	Концентрація горючої компоненти, % об.
12,82	15,00	15,0
3,85	5,00	2,4
3,85	15,00	4,8
12,82	5,00	25,0
8,33	15,00	4,7
8,33	5,00	17,7
8,33	15,00	8,4
8,33	5,00	14,0
12,82	10,00	20,6
3,85	10,00	7,1
12,82	10,00	21,9
3,85	10,00	11,9
8,33	10,00	19,6
8,33	10,00	17,7
8,33	10,00	16,8

Було проведено регресійний аналіз отриманих даних. За результатами аналізу побудовано графік (рис. 3.1) та отримано відповідне рівняння (3.1)

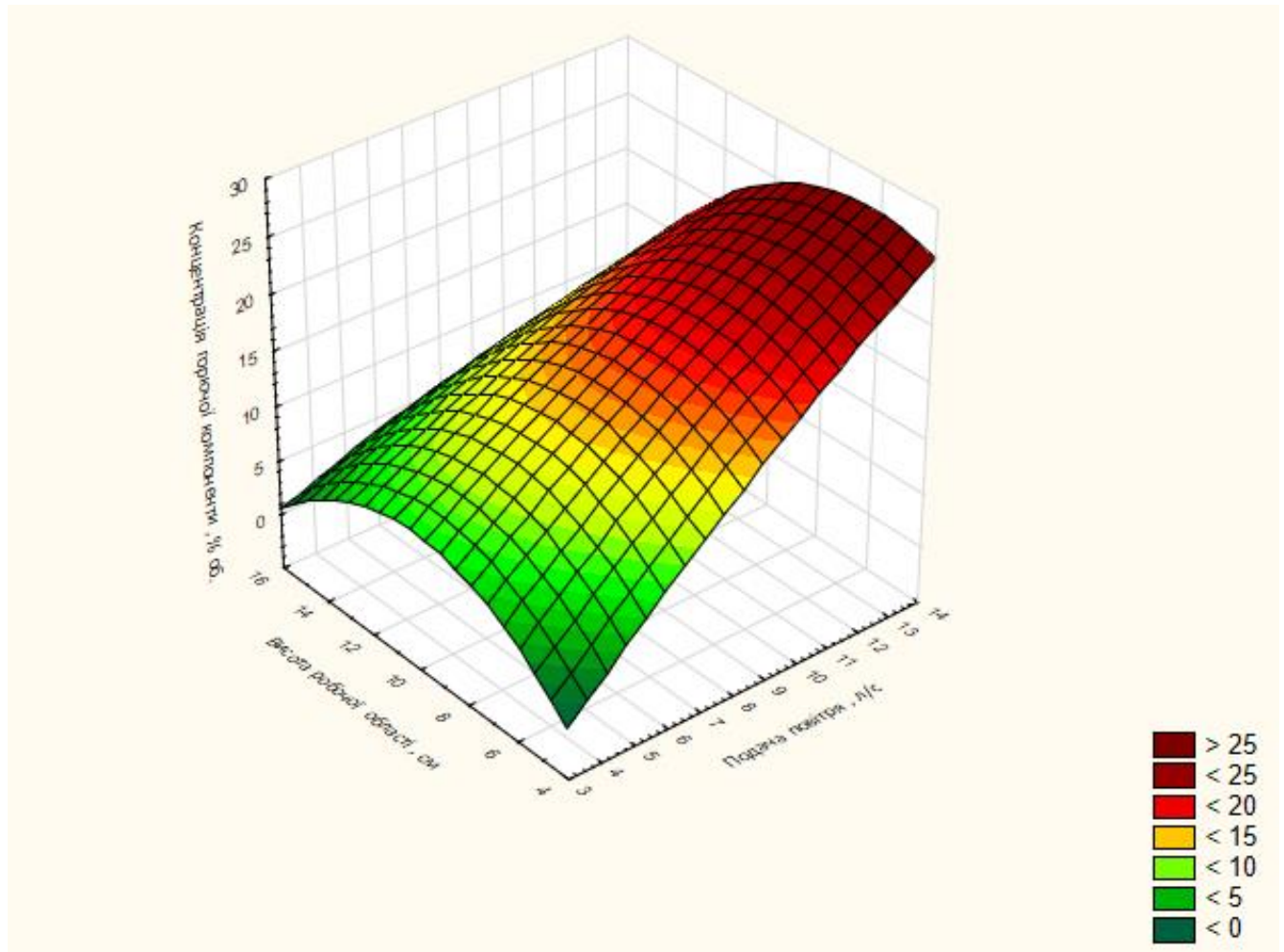


Рис. 3.1. Результати експериментальних досліджень впливу висоти робочої області газогенератора та обсягу повітря на вміст горючої компоненти (CO) в отриманому газі

$$W = -24,4339 + 3,689Q + 4,568H - 0,0445Q^2 - 0,1379QH - 0,2038H^2 \quad (3.1)$$

де W – концентрація горючої компоненти в отриманому газі, %;

Q – подача повітря до газогенератора, л/с;

H – висота робочої зони газогенератора, см.

Аналіз рівняння 3.1. на екстремуми свідчить, що раціональними значеннями для газогенератора соломи є висота робочої зони 100 мм та подача повітря в робочу зону на рівні 13 л/с, при цьому досягається вміст горючої компоненти в газі на рівні 25%.

Стосовно досліджень роботи електростанції на генераторному газі то газогенератор було налаштовано на оптимальні параметри, що вказано вище. В процесі дослідження вимірювалася потужність, що виробляється електростанцією та вимірювалися споживання газу(рис. 3.2) та повітря (рис. 3.3).

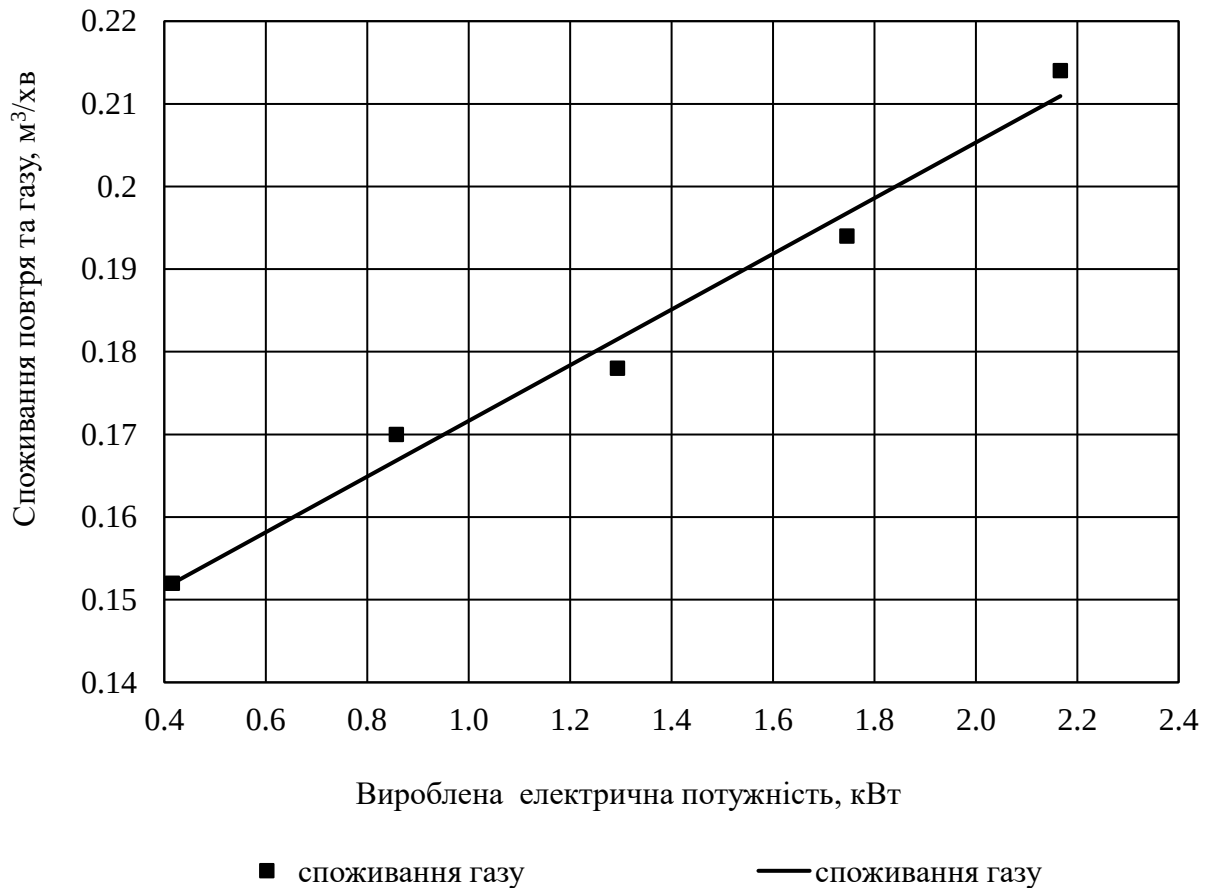


Рис. 3.2. Споживання генераторного газу в залежності від виробленої потужності

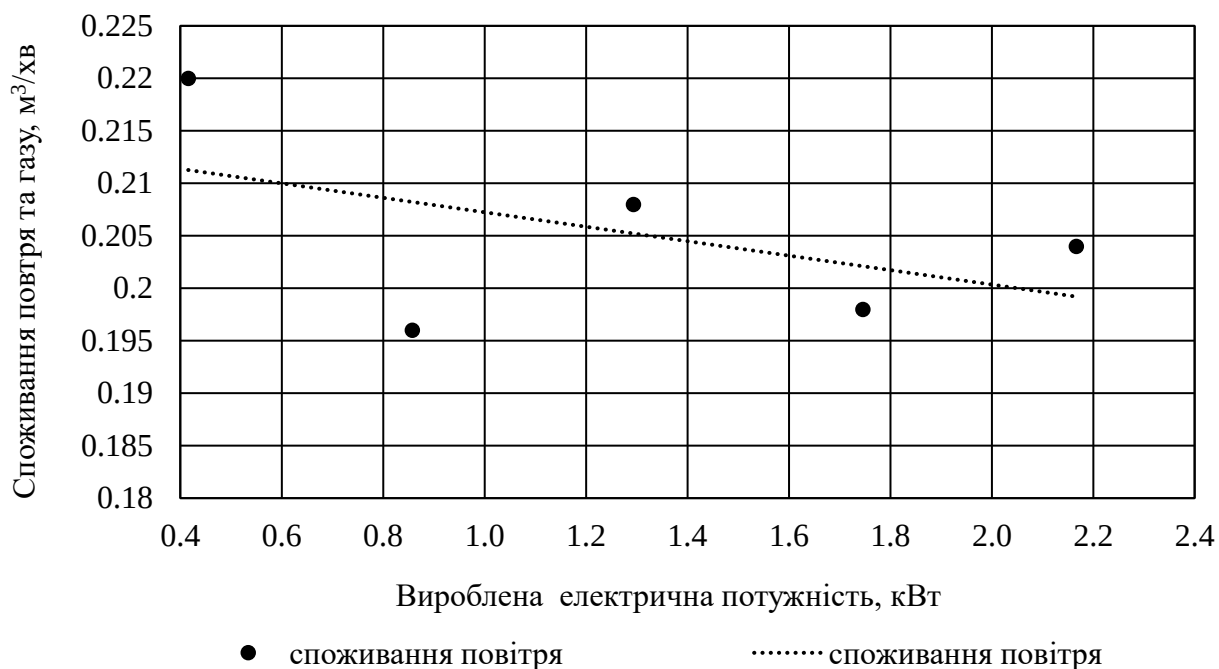


Рис. 3.3. Споживання повітря в залежності від виробленої потужності

Аналіз графіків дозволив отримати відповідні рівняння, для газу:

$$Q_{газ} = 0,0337P + 0,1379, \quad (3.2)$$

та для повітря:

$$Q_{нов} = -0,0069P + 0,2141 \quad (3.3)$$

де $Q_{газ}$ – споживання газу, м³/хв;

P – потужність електростанції, кВт;

$Q_{нов}$ – споживання повітря, м³/хв.

З аналізу результатів досліджень очевидним є те, що максимальна потужність електростанції на газогенераторів із висотою робочої зони 100 мм та шириною 200

мм, становить 2,18 кВт, при цьому споживається 0,215 м³ газу на хвилину та 0,198 м³ повітря на хвилину. Зміна споживання газу та повітря відбувається за лінійним законом в залежності від потужності електростанції.

Висновки до розділу

Рациональними значеннями для газогенератора соломи є висота робочої зони 100 мм та подача повітря в робочу зону на рівні 13 л/с, при цьому досягається вміст горючої компоненти в газі на рівні 25%.

Максимальна потужність електростанції на газогенераторів із висотою робочої зони 100 мм та шириною 200 мм, становить 2,18 кВт, при цьому споживається 0,215 м³ газу на хвилину та 0,198 м³ повітря на хвилину. Зміна споживання газу та повітря відбувається за лінійним законом в залежності від потужності електростанції.

ВИСНОВКИ

Аналіз проведених досліджень щодо газифікації соломи стверджує, що дослідники пішли шляхом створення складних конструкцій газогенераторів. Такі газогенератори дозволяють ефективно газифікувати солому, але мають дуже складний технологічний процес. Тому залишається невирішеною проблема ефективної газифікації соломи в газогенераторах за доступною технологією.

Рациональними значеннями для газогенератора соломи є висота робочої зони 100 мм та подача повітря в робочу зону на рівні 13 л/с, при цьому досягається вміст горючої компоненти в газі на рівні 25%.

Максимальна потужність електростанції на газогенераторів із висотою робочої зони 100 мм та шириною 200 мм, становить 2,18 кВт, при цьому споживається 0,215 м³ газу на хвилину та 0,198 м³ повітря на хвилину. Зміна споживання газу та повітря відбувається за лінійним законом в залежності від потужності електростанції.

Список використаних джерел

1. Голуб Г.А., Кухарець С.М. Марус О.А. та ін. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. Київ : НУБіП України, 2016. 229 с.
2. Виробництво і використання біопалив в агроєкосистемах. Механіко-технологічні основи : монографія / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус О.А. Київ : НУБіП України, 2018. 254 с.
3. De Mena B., Vera D., Jurado F., Ortega M. Updraft gasifier and ORC system for high ash content biomass: A modelling and simulation study. *Fuel Processing Technology*. 2016. Vol. 156. P. 394-406.
4. Особливості використання малогабаритних газогенераторних модулів / Кухарець С. М., Ярош Я. Д., Білецький В. Р., Голуб Г. А. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2016. Вип. 20 (34). С. 457–464.
5. Yarosh Y., Golub G., Kukharets S., Chuba V. Experimental study of wood gas-operated power plant operation. *Engineering for rural development*. 2019. Vol. 18.
6. Обґрунтування впливу висоти камери відновлення та подачі повітря на вихід та якість деревного газу / Ярош Я. Д., Голуб Г. А., Кухарець С. М., Цивенкова Н. М., Чуба. В. В., Швець Р. Л. Відновлювана енергетика. 2018. № 3 (54). С. 86–96.
7. Golub, G., Kukharets, S., Yarosh, Y., Chuba, V., Method for Optimization of the Gasifier Recovery Zone Height, *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2019. 7(3). P. 493-505.
8. Golub G., Kukharets S., Tsyvenkova N., Yarosh Ya., Chuba V.. Experimental study into the influence of straw content in fuel on parameters of generator gas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/8 (95). P. 76-86 (<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142159>).

9. Ярош Я.Д., Голуб Г.А., Цивенкова Н.М., Кухарець С.М., Медведський О.В., Чуба В.В. Виробництво і використання генераторного газу з сільськогосподарської рослинної сировини: монографія. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. 224 с.

10. Пат. 122297 Україна, B01J 7/00, F23C 7/00, C10J 3/20 (2006.01). Газогенератор / Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М., Ярош Я. Д., Голуб В.А., Чуба В.В., Сабадаш О.С., заявник та патентовласник Житомирський національний агроєкологічний університет. – № а201901087; заявл. 04.02.2019; опубл. 12.10.2020, бюл. № 19

11. *Філіпов Ю.Є.* Аналіз проблем в роботі газогенераторів на солом'яному паливі. *Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 113–116.

12. *Голуб Г.А., Ярош Я.Д., Кухарець М.М., Філіпов Ю.Є.* проект газифікатора для виробництва горючого газу із солом'яних гранул. *Біоенергетичні системи. Частина 2: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф.*, 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 109–110.

13. Ярош Я.Д. Енергетична автономність агроєкосистем: монографія. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. 316 с.

14. Golub G., Kukharets S., Skydan O., Yarosh Y., Chuba V., Golub V. The Optimization of the Gasifier Recovery Zone Height When Working on Straw Pellets. *International Journal of Renewable Energy Research*. Vol.10. No.2. 2020. P. 529-536.