

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

ТКАЧУК Микола Іванович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Обґрунтування режимів подачі повітря в зону горіння
газогенератора в процесі газифікації соломи

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

М. І. Ткачук

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

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Ткачук Микола Іванович. Обґрунтування режимів подачі повітря в зону горіння газогенератора в процесі газифікації соломи. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

В магістерській роботі встановлено, що представлені в проаналізованих наукових дослідженнях математичні моделі руху повітря в робочих зонах газогенератора мають невизначені граничні умови. Тому необхідне накопичення експериментальних даних в реальному діапазоні параметрів роботи газогенераторів та створення простих математичних моделей, що адекватно описують швидкість руху потоку повітря в зоні окислення газогенератора.

В процесі експериментальних досліджень втрат потоку повітря встановлено, що втрати напору потоку повітря в газогенераторі для солом'яних гранул становлять від 0,05 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм. Для шкарлупи горіхів становлять від 0,04 до 0,23 та для шматочків деревини становлять від 0,02 до 0,2 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм.

За результатами досліджень встановлено, що найменші втрати напору потоку повітря в газогенераторі спостерігаються при використанні в якості палива шматочків деревини.

Ключові слова: потік повітря, шлях, гранули із соломи, шкарлупа горіхів, шматочки деревини

ANNOTATION

Tkachuk Mykola. Substantiation of air supply modes in the combustion zone of the gas generator in the process of straw gasification. – 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.

In the master's thesis it is established that the mathematical models of air movement in the working zones of the gas generator presented in the analysed scientific researches have indefinite boundary conditions. Therefore, it is necessary to accumulate experimental data in the real range of parameters of gas generators and create simple mathematical models that adequately describe the speed of air flow in the oxidation zone of the gas generator.

In the course of experimental studies of air flow losses, it was found that the air flow pressure losses in the gas generator for straw granules range from 0.05 to 0.23, respectively, for the air flow length from 50 mm to 250 mm. For the shell of nuts is from 0.04 to 0.23 and for pieces of wood is from 0.02 to 0.2, respectively, for the length of the air flow from 50 mm to 250 mm.

According to the results of research it is established that the smallest losses of air flow pressure in the gas generator are observed when using pieces of wood as fuel.

Keywords: air flow, path, straw pellets, nut shell, pieces of wood

Зміст

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА В ПРОЦЕСІ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ.....	7
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ НА ВТРАТИ НАПОРУ	13
Висновки	26
Список використаних джерел	27

ВСТУП

Ефективне виробництво генераторного газу вимагає узгодження параметрів його роботи із властивостями сировини. Особливо велике значення має режим проходження повітря всередині робочих зон газогенератора. Саме тому дослідження режимів надходження повітря, як окиснювача до робочих зон – окислення та горіння дозволить наблизитися до раціонального узгодження вищеназваних параметрів.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – забезпечити ефективне виробництво генераторного газу шляхом оптимізації параметрів надходження повітря до його робочих зон.

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

- 1 Проаналізувати особливості роботи газогенератора в процесі газифікації біомаси
2. Розробити методику експериментальних досліджень
3. Проаналізувати результати експериментальних досліджень впливу режимів подачі повітря на втрати напору

Об'єкт дослідження: процес надходження повітря до робочих зон газогенератора.

Предмет дослідження: параметри процесу надходження повітря до робочих зон газогенератора у взаємозв'язку із властивостями палива, що використовується

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 витрат напору повітря в залежності від шляху його проходження в робочих зонах газогенераторів.

Данні про апробацію роботи.

Ткачук М. І. Особливості роботи газогенератора В процесі газифікації соломи. *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. 208–210.

Ярош Я.Д., Кухарець М.М., Ткачук М. І. Методика дослідження втрат при проходженні потоку повітря в зоні горіння газогенератора. *Біоенергетичні системи. Частина 2: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф.*, 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 95–96.

Структура та обсяг. Магістерська робота викладена на 29 сторінках, складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 19 найменувань, містить 11 рисунків, 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА В ПРОЦЕСІ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

Одним із перспективних напрямів зниження викидів парникових газів є використання біологічних видів палива [1]. Широкого розповсюдження отримало обладнання в якому для отримання теплової та електричної енергії використовується аграрна біомаса [2]. Проте, при спалюванні аграрної біомаси виникають труднощі, пов'язані із неоднорідністю, високою вологістю, малим питомим енерговмістом та низькою температурою плавлення золи [3]. Тому, для отримання стабільного надходження енергії споживачеві при спалюванні біомаси доречним буде використання газогенераторів [4]. Досвід експлуатації газогенераторних установок на різних видах біопалива свідчить, що для виробництва газу із біомаси та соломовмісних палив слід застосовувати прямопотокові газогенератори оберненого процесу газифікації [5]. Вони забезпечують стабільність процесу газоутворення, високий ступінь розкладання смол, спрощення технологічних схем з очищення генераторного газу від вологи і домішок [6].

У наукових дослідженнях значна увага приділяється теоретичному дослідженню впливу конструкційних [7] чи технологічних [8] параметрів газогенераторів на якість отриманого газу. Обґрунтовується вплив на якісний склад отриманого газу таких параметрів як: робоча температура в зонах окислення та відновлення [9], а також вологість біомаси [10]. Аналіз наукових досліджень дозволяє зробити висновок, що газифікація біомаси складний процес, який оснований на рівняннях термохімічної рівноваги, кінетики, теплопередачі та масопередачі в основі яких лежить швидкість газифікації біомаси. Проте швидкість газифікації та ефективність процесу газифікації залежать від режимів

подачі повітря в зону окислення газогенератора [11]. Досвід газифікації палив з різним вмістом соломи свідчить, що недостатня швидкість потоку повітря може призвести до утворення областей із нестачею повітря в області окислення палива, що може суттєво зменшити ефективність протікання процесу газифікації і спричинити явище золошлакової агломерації [12].

Проте, встановлення реальних швидкостей потоків повітря в робочих зонах газогенератора є ускладненим для теоретичного дослідження через складність взаємодії, різноманітність та швидкоплинність процесів, що проходять під час газифікації соломи та іншої біомаси [13]. Ця складність заважає теоретичним моделям досягти необхідної точності для адекватного визначення швидкості руху потоку повітря та геометричної форми потоку повітря [14].

Висновки до розділу

Представлені в проаналізованих наукових дослідженнях математичні моделі руху повітря в робочих зонах газогенератора мають невизначені граничні умови. Тому необхідне накопичення експериментальних даних в реальному діапазоні параметрів роботи газогенераторів та створення простих математичних моделей, що адекватно описують швидкість руху потоку повітря в робочих зонах газогенератора.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для знаходження динаміки руху повітря в необхідно знати як втрачається напір повітря в результаті проходження прошарку матеріалу чи палива, що міститься всередині зони горіння газогенератора [13]. Якщо вдасться встановити динаміку втрат напору окислювача чи повітря, то це буде важливим кроком до встановлення рівнянь руху повітря в робочих зонах газогенератора [14]. Тому що такі рівняння, що наведені в науковій літературі не є чіткими та обґрунтованими. А проведення експериментальних досліджень, дозволить накопичити експериментальний досвід та встановити рівні чіткості рівнянь динаміки руху повітря всередині газогенератора.

Тому метою наших експериментальних досліджень є визначення втрат напору швидкості потоку повітря при проходженні областей горіння та відновлення всередині газогенератора.

Для проведення експериментів, щодо втрат швидкісного напору потоку окислювача ми використовували спеціально розроблену дослідну установку (рис. 2.1) [18, 19].

Дослідна установка містила нагнітач повітря та компонент, що дозволяв моделювати довжину шляху проходження потоку повітря в газогенераторі. Нагнітач забезпечував швидкість повітря на вихідному патрубку в діапазоні від 2,0 м/с до 25,0 м/с. Швидкість потоку повітря залежить від частоти обертання крильчатки нагнітача, яка може змінюватися за допомогою зміни частоти обертів приводного електродвигуна. Частота обертів приводного двигуна змінюється за рахунок регулювання частоти змінного струму за допомогою частотного перетворювача. Габаритні розміри компонента така: довжина 250 мм, ширина 100 мм, висота 80 мм, крім того компонент розділений на п'ять секцій по 50 мм [19].



Рис. 2.1. Загальний вигляд дослідної установки [19]

Патрубки на вході та виході компонента мають однаковий діаметр 40,0 мм, що відповідає діаметру вихідного повітропроводу нагнітача.

Під час проведення досліджень основний компонент дослідної установки почергово, за секціями завантажувався паливо. Таки чином змінювався шлях проходження повітря через прошарок палива в межах 50...250 мм (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Схема етапів завантаження компонента паливними гранулами

Швидкість повітря вимірювалася за допомогою крильчастого анемометра. Методика розрахунку втрат напору повітря в результаті зміни швидкості потоку детально описана в роботах [15, 16, 17], тобто знаючи зміну швидкості можна визначити втрати напору повітря і знайти показник втрат повітря в залежності від геометричних розмірів газогенератора та виду палива.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ НА ВТРАТИ НАПОРУ

Результати експериментальних досліджень впливу довжини шляху який проходить потік повітря через шар солом'яних гранул (рис. 3.1) на падіння тиску в потоці повітря наведено в таблиці 3.1.



Рис. 3.1. Солом'яні паливні гранули (пелети)

Таблиця 3.1. Результати експериментальних досліджень впливу довжини шляху який проходить потік повітря через шар солом'яних гранул на падіння тиску в потоці повітря

Довжина шляху потоку повітря, м	Швидкість потоку на вході в установку, м/с	Швидкість потоку на виході із установки, м/с	Різниця швидкостей (втрати швидкісного напору), м/с	Падіння тиску потоку повітря, Па	Усереднена швидкість потоку, м/с	Показник втрат
0,05	22	18	4	2,82	16,89	0,05
0,05	19	14	5	2,78	22,77	0,06
0,05	17	13	4	1,68	20,57	0,05
0,05	11	10	1	0,18	8,50	0,01
0,1	22	16	6	5,40	18,50	0,11
0,1	19	14	5	3,75	16,00	0,10
0,1	13	11	2	0,95	7,38	0,05
0,1	9	8	1	0,27	4,67	0,03
0,15	21	15	6	6,12	15,53	0,13
0,15	16	11	5	3,60	13,65	0,14
0,15	12	9	3	1,62	8,83	0,10
0,15	8	7	1	0,30	3,55	0,04
0,2	20	12	8	9,00	17,87	0,21
0,2	17	11	6	5,54	13,68	0,19
0,2	14	9	5	3,68	11,89	0,18
0,2	7	6	1	0,33	2,77	0,06
0,25	20	13	7	8,40	14,00	0,22
0,25	17	11	6	5,90	12,21	0,22
0,25	14	9	5	3,92	10,50	0,22
0,25	7	5	2	0,72	4,58	0,16

Аналіз даних таблиці 3.1 дозволив побудувати рівняння показника втрат p від шляху проходження потоку повітря h та його початкової швидкості v для солом'яних гранул:

$$p = -0,2895 + 0,9138h + 0,0309v + 0,0006h^2 - 0,0131hv - 0,0008v^2 \quad (3.1)$$

Згідно рівняння можна побудувати відповідну поверхню відгуку (рис. 3.2)

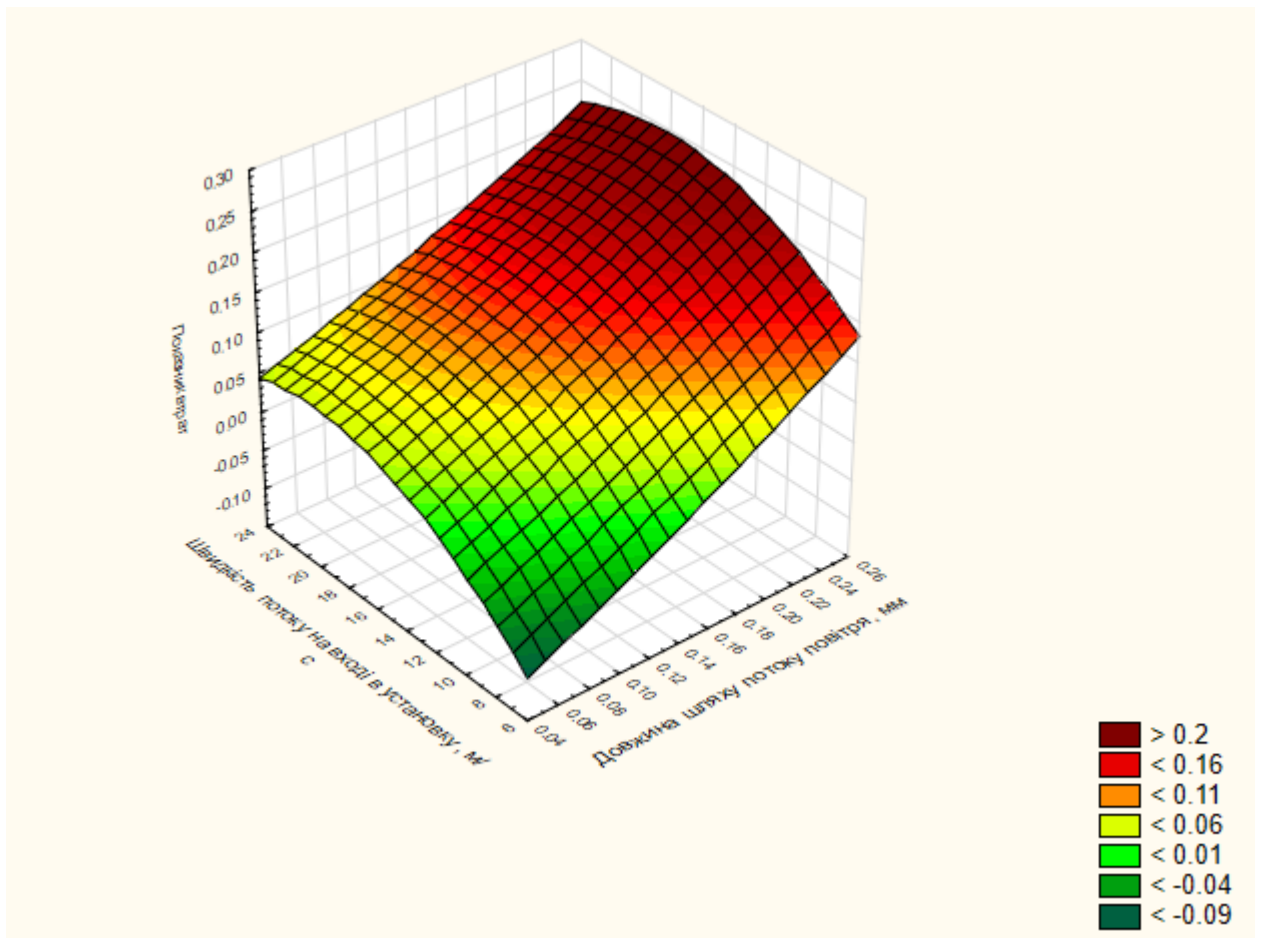


Рис. 3.2. Поверхня відгуку показника втрат p від шляху проходження потоку повітря h та його початкової швидкості v для солом'яних гранул

З графіка на рис 3.2 та із аналізу на екстремальні значення рівняння 3.1 можна зробити висновок, що максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для солom'яних гранул відповідають швидкості потоку повітря в межах 20..22 м/с та становлять від 0,05 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм (рис. 3.3)

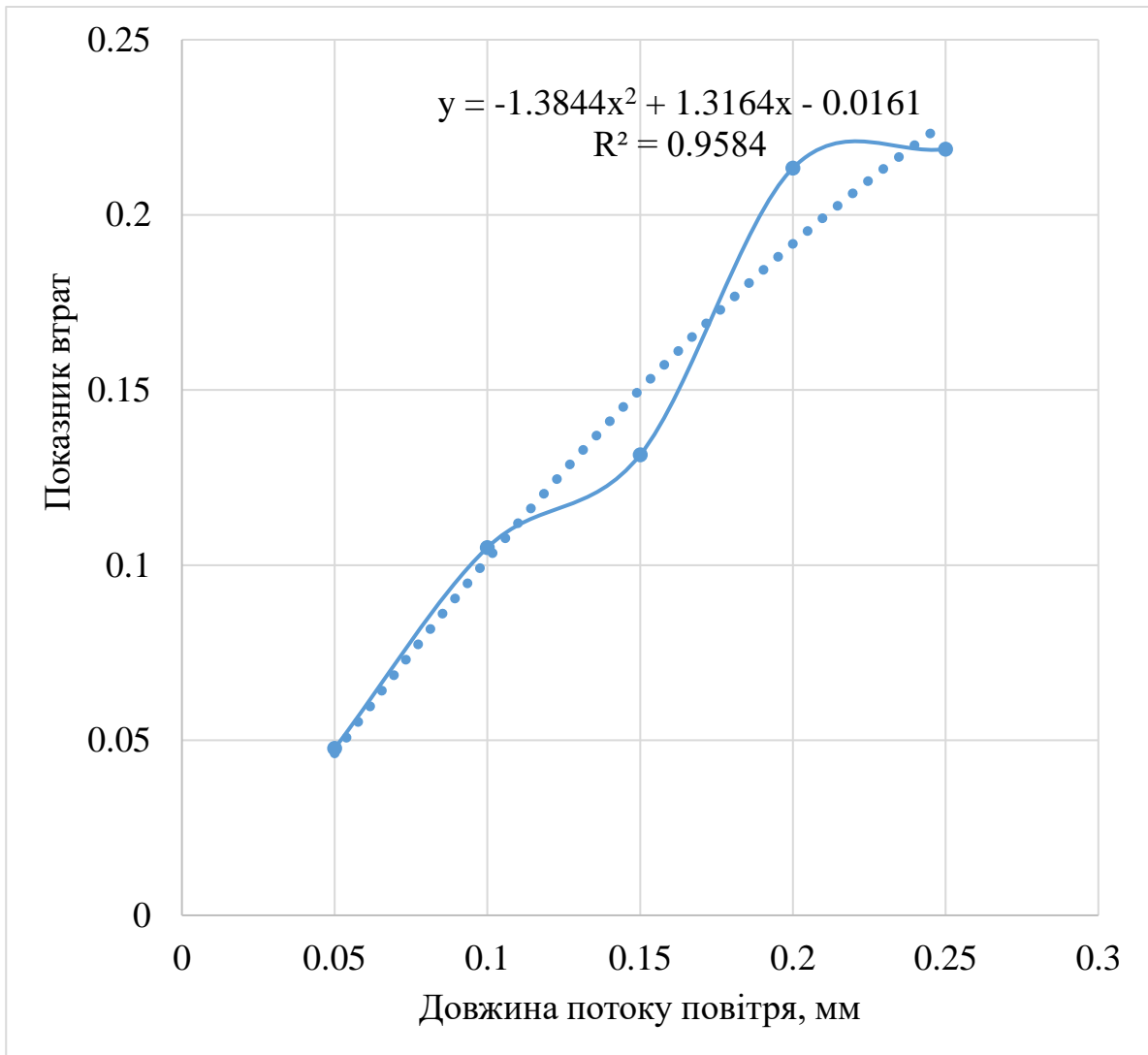


Рис. 3.3. Графічне відображення показника втрат повітря від шляху що проходить потік повітря для солom'яних гранул

Результати експериментальних досліджень впливу довжини шляху який проходить потік повітря через шар шкарлупи горіхів (рис. 3.4) на падіння тиску в потоці повітря наведено в таблиці 3.2.



Рис. 3.4. Шкарлупа горіхів

Таблиця 3.2. Результати експериментальних досліджень впливу довжини шляху який проходить потік повітря через шар шкарлупи горіхів на падіння тиску в потоці повітря

Довжина шляху потоку повітря, м	Швидкість потоку на вході в установку, м/с	Швидкість потоку на виході із установки, м/с	Різниця швидкостей (втрати швидкісного напору), м/с	Падіння тиску потоку повітря, Па	Усереднена швидкість потоку, м/с	Показник втрат
0,05	22	19	3	2,12	12,67	0,04
0,05	19	15	4	2,22	18,22	0,05
0,05	17	14	3	1,26	15,43	0,04
0,05	11	10	1	0,18	8,50	0,01
0,1	22	16	6	5,40	18,50	0,11
0,1	19	14	5	3,75	16,00	0,10
0,1	13	10	3	1,42	11,07	0,07
0,1	9	8	1	0,27	4,67	0,03
0,15	21	14	7	7,14	18,12	0,15
0,15	16	11	5	3,60	13,65	0,14
0,15	12	9	3	1,62	8,83	0,10
0,15	8	7	1	0,30	3,55	0,04
0,2	20	11	9	10,13	20,10	0,24
0,2	17	10	7	6,46	15,96	0,22
0,2	14	8	6	4,41	14,27	0,22
0,2	7	6	1	0,33	2,77	0,06
0,25	20	13	7	8,40	14,00	0,22
0,25	17	10	7	6,88	14,24	0,26
0,25	14	8	6	4,71	12,60	0,26
0,25	7	5	2	0,72	4,58	0,16

Аналіз даних таблиці 3.2 дозволив побудувати рівняння показника втрат p від шляху проходження потоку повітря h та його початкової швидкості v для шкарлупи горіхів:

$$p = -0,3861 + 1,25h + 0,0413v + 0,0002h^2 - 0,0116hv - 0,0011v^2 \quad (3.2)$$

Згідно рівняння можна побудувати відповідну поверхню відгуку (рис. 3.5)

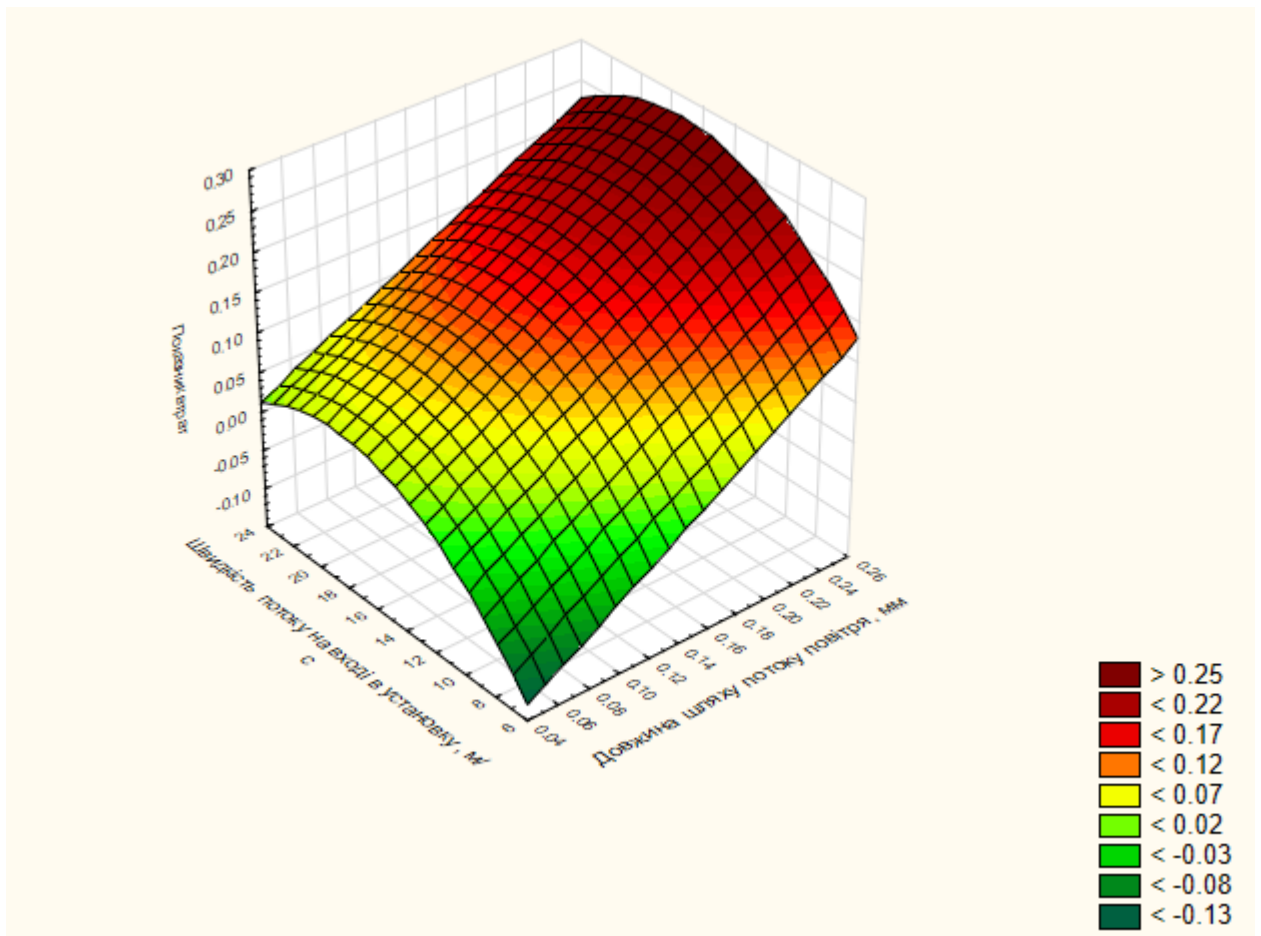


Рис. 3.5. Поверхня відгуку показника втрат p від шляху проходження потоку повітря h та його початкової швидкості v для шкарлупи горіхів

З графіка на рис 3.5 та із аналізу на екстремальні значення рівняння 3.1 можна зробити висновок, що максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для шкарлупи горіхів відповідають швидкості потоку повітря в межах 20...22 м/с та становлять від 0,04 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм (рис. 3.6)

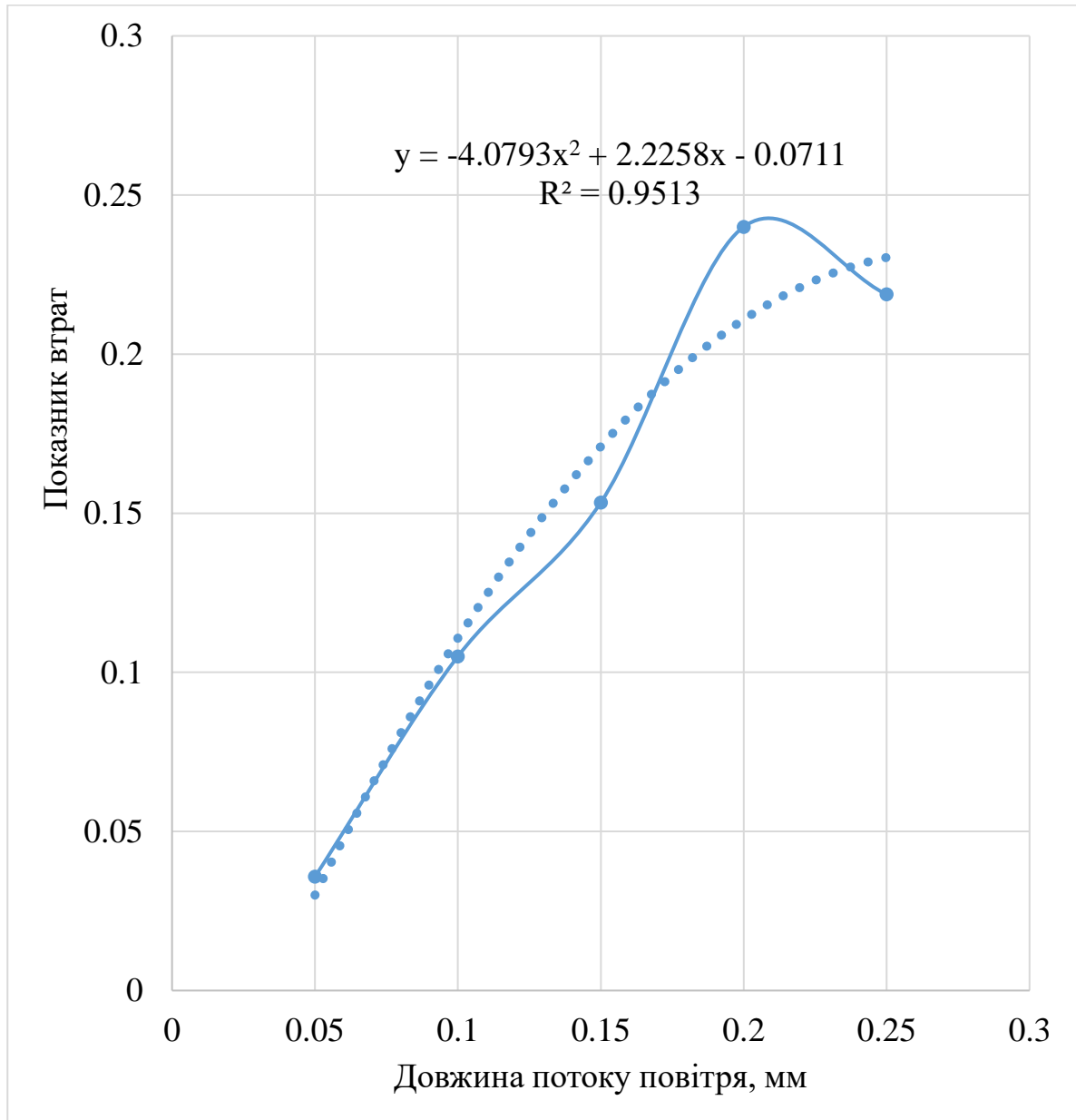


Рис. 3.6. Графічне відображення показника втрат повітря від шляху що проходить потік повітря для шкарлупи горіхів

Результати експериментальних досліджень впливу довжини шляху який проходить потік повітря через шар шматочків деревини із стороною від 2 до 5 см (рис. 3.7) на падіння тиску в потоці повітря наведено в таблиці 3.3.



Рис. 3.7. Шматочки деревини

Таблиця 3.3. Результати експериментальних досліджень впливу довжини шляху який проходить потік повітря через шар шматочків деревини на падіння тиску в потоці повітря

Довжина шляху потоку повітря, м	Швидкість потоку на вході в установку, м/с	Швидкість потоку на виході із установки, м/с	Різниця швидкостей (втрати швидкісного напору), м/с	Падіння тиску потоку повітря, Па	Усереднена швидкість потоку, м/с	Показник втрат
0,05	22	20	2	1,41	8,45	0,02
0,05	19	16	3	1,67	13,66	0,04
0,05	17	15	2	0,84	10,29	0,03
0,05	11	10	1	0,18	8,50	0,01
0,1	22	17	5	4,50	15,42	0,09
0,1	19	15	4	3,00	12,80	0,08
0,1	13	11	2	0,95	7,38	0,05
0,1	9	8	1	0,27	4,67	0,03
0,15	21	15	6	6,12	15,53	0,13
0,15	16	12	4	2,88	10,92	0,11
0,15	12	10	2	1,08	5,89	0,06
0,15	8	7	1	0,30	3,55	0,04
0,2	20	12	8	9,00	17,87	0,21
0,2	17	11	6	5,54	13,68	0,19
0,2	14	9	5	3,68	11,89	0,18
0,2	7	6	1	0,33	2,77	0,06
0,25	20	14	6	7,20	12,00	0,19
0,25	17	11	6	5,90	12,21	0,22
0,25	14	10	4	3,14	8,40	0,17
0,25	7	5	2	0,72	4,58	0,16

Аналіз даних таблиці 3.3 дозволив побудувати рівняння показника втрат p від шляху проходження потоку повітря h та його початкової швидкості v для шматочків деревини:

$$p = -0,2061 + 0,8889h + 0,0191v + 0,0191h^2 - 0,0379hv - 0,0022v^2 \quad (3.3)$$

Згідно рівняння можна побудувати відповідну поверхню відгуку (рис. 3.8)

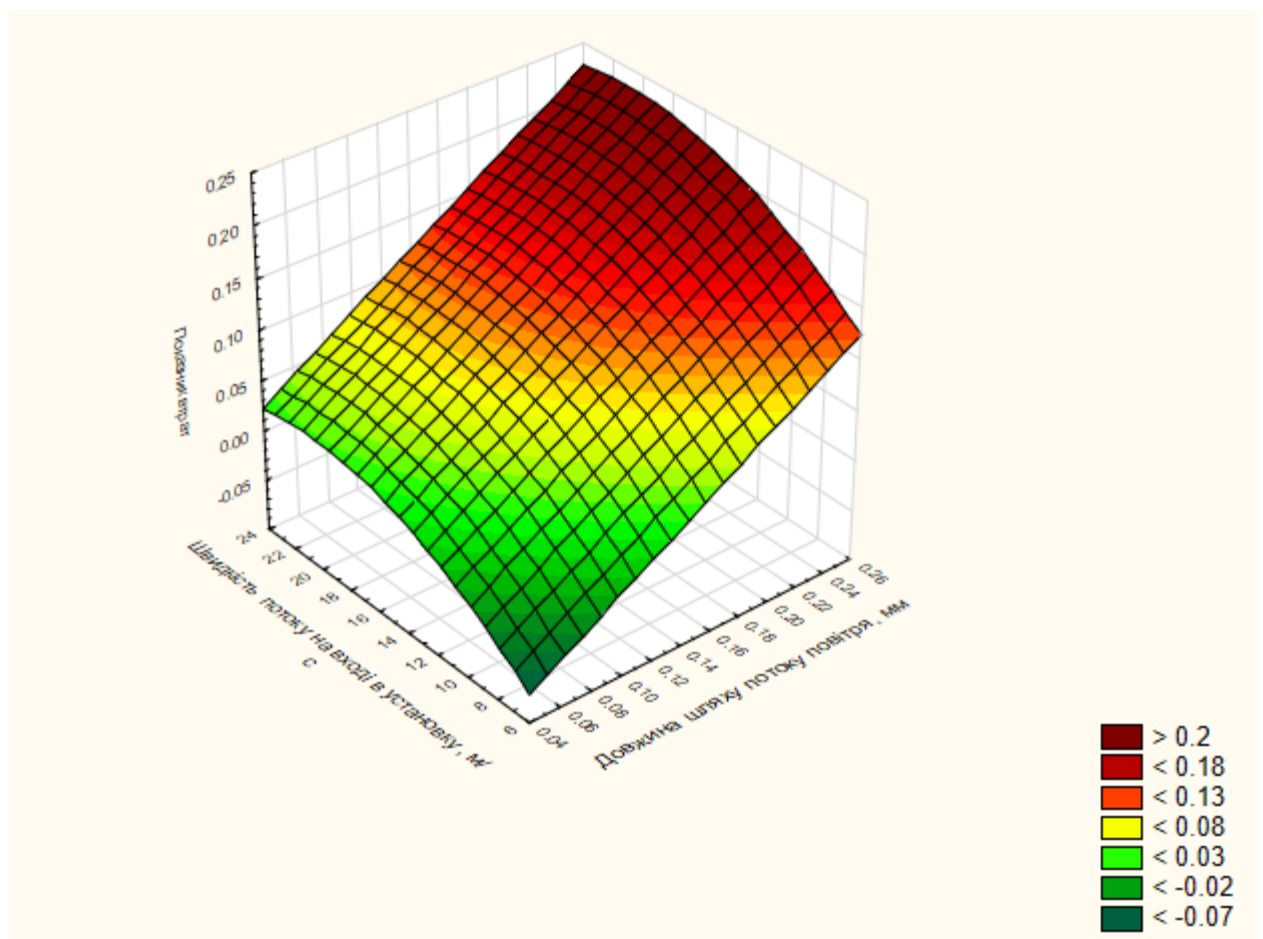


Рис. 3.8. Поверхня відгуку показника втрат p від шляху проходження потоку повітря h та його початкової швидкості v для шматочків деревини

З графіка на рис 3.8 та із аналізу на екстремальні значення рівняння 3.1 можна зробити висновок, що максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для шматочків деревини відповідають швидкості потоку повітря в межах 20...22 м/с та становлять від 0,02 до 0,2 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм (рис. 3.9)

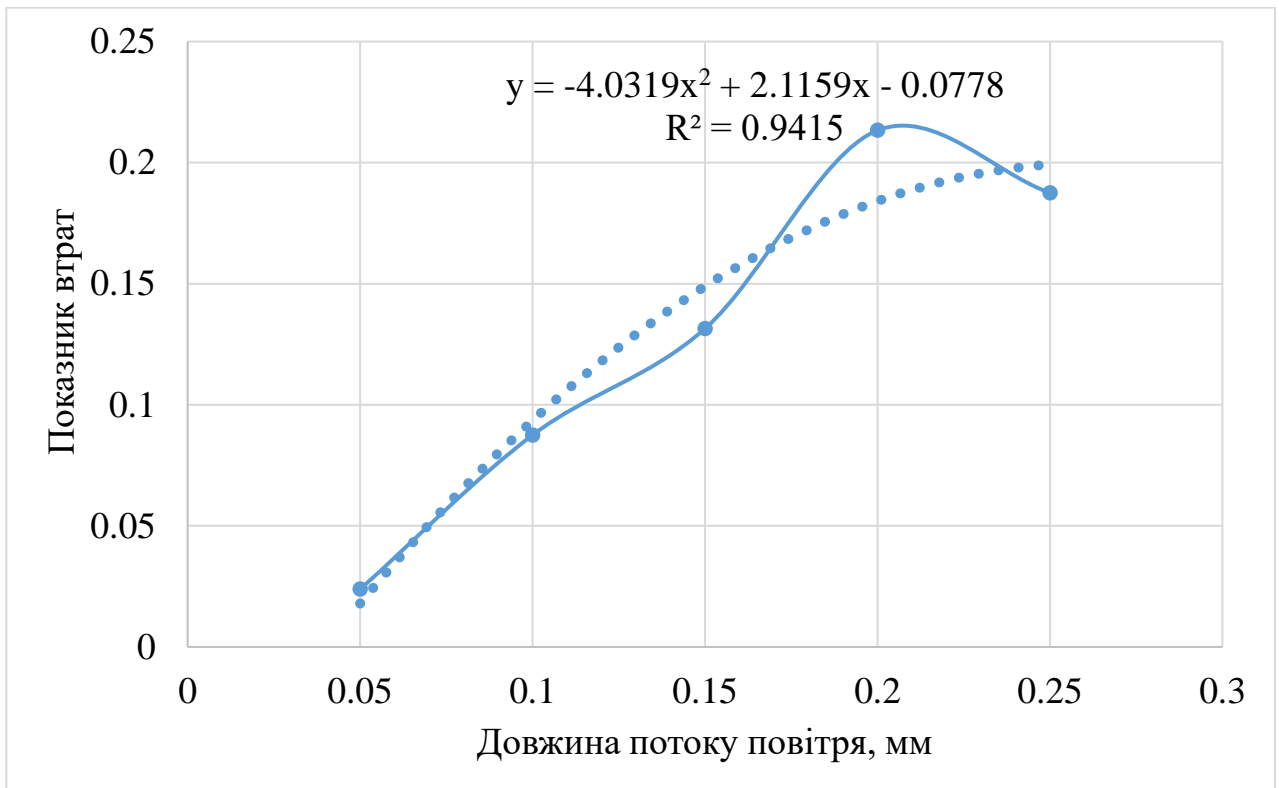


Рис. 3.6. Графічне відображення показника втрат повітря від шляху що проходить потік повітря для шкарлупи горіхів

За результатами досліджень встановлено, що найменші втрати напору потоку повітря в газогенераторі спостерігаються при використанні в якості палива шматочків деревини.

Висновки до розділу

Максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для солом'яних гранул відповідають швидкості потоку повітря в межах 20..22 м/с та становлять від 0,05 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм.

Максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для шкарлупи горіхів відповідають швидкості потоку повітря в межах 20...22 м/с та становлять від 0,04 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм.

Максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для шматочків деревини відповідають швидкості потоку повітря в межах 20...22 м/с та становлять від 0,02 до 0,2 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм.

За результатами досліджень встановлено, що найменші втрати напору потоку повітря в газогенераторі спостерігаються при використанні в якості палива шматочків деревини.

Висновки

Представлені в проаналізованих наукових дослідженнях математичні моделі руху повітря в робочих зонах газогенератора мають невизначені граничні умови. Тому необхідне накопичення експериментальних даних в реальному діапазоні параметрів роботи газогенераторів та створення простих математичних моделей, що адекватно описують швидкість руху потоку повітря в робочих зонах газогенераторів.

Максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для солом'яних гранул відповідають швидкості потоку повітря в межах 20..22 м/с та становлять від 0,05 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм. Максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для шкарлупи горіхів відповідають швидкості потоку повітря в межах 20...22 м/с та становлять від 0,04 до 0,23 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм. Максимальні втрати напору потоку повітря в газогенераторі для шматочків деревини відповідають швидкості потоку повітря в межах 20...22 м/с та становлять від 0,02 до 0,2 відповідно для довжини потоку повітря від 50 мм до 250 мм.

За результатами досліджень встановлено, що найменші втрати напору потоку повітря в газогенераторі спостерігаються при використанні в якості палива шматочків деревини.

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. Golub G., Tsyvenkova N., Chuba V., Kukharets S., Yarosh Ya., Tereshchuk M. Esearch of the operation efficiency of vegetable biomass-operated solid fuel boiler. Technology audit and production reserves. 2019. № 5/1(49). С. 22-28.
4. Katsaros G., Nguyen T.-V. Rokni M. Tri-generation System based on Municipal Waste Gasification, Fuel Cell and an Absorption Chiller. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 2018. Vol. 6(1). P. 13-32.
5. 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..
6. Susastriawan A. A. P., Saptoad H., Purnomo. Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 76(C). P. 989–1003. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.112
7. Дослідження двостадійного процесу газифікації соломи / Цивенкова Н. М., Ярош Я. Д., Голубенко А. А., Терещук М. Б. Вісник Харків. національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. 2018. Вип. 196. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 15–17.

8. Dejtrakulwong C., Patumsawa S. Four zones modeling of the downdraft biomass gasification process: effects of moisture content and air to fuel ratio. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 52. P. 142–149. doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.064
9. 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.
10. 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.
11. 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>).
12. Обґрунтування каналу електропостачання на основі газогенераторної установки / Соколовський О. Ф., Ярош Я. Д., Цивенкова Н. М., Кухарець С. М. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 1 (56). С. 72–82.
13. 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 агроекологічний університет. – № а201901087; заявл. 04.02.2019; опубл. 12.10.2020, бюл. № 19
14. 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.

15. Бараннік В.О., Дмитренко Т.В. Прикладна механіка рідин і газів: конспект лекцій. Харків : ХНАМГ, 2011. – 44 с.
16. Kukharets S., Golub G., Skydan O., Yarosh Y., Kukharets M. Justification of air flow speed in the oxidation area of a gasifier in case of straw pellets using. INMATEH – Agricultural Engineering. 2020. Vol. 60, No. 1. P. 37–44.
17. Лаврівський З.В., Мандрус В.І. Технічна механіка рідин та газів: навчальний посібник. Львів: СПОЛОМ, 2004. – 191 с.
18. Ткачук М. І. Особливості роботи газогенератора В процесі газифікації соломи. 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. 208–210.
19. Ярош Я.Д., Кухарець М.М., Ткачук М. І. Методика дослідження втрат при проходженні потоку повітря в зоні горіння газогенератора. Біоенергетичні системи. Частина 2: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 95–96.