

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису
УДК 631.371: 620.92

ЛУК'ЯНЧУК Святослав Володимирович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування параметрів технологічного процесу
отримання горючого газу із швидкоростучих деревних
рослин із розробкою конструкції газифікатора**

208 – Агроінженерія

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С.В.Лук'янчук

Керівник роботи

Білецький В.Р.

Кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

Анотація

ЛУК'ЯНЧУК Святослав Володимирович. Обґрунтування параметрів технологічного процесу отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин із розробкою конструкції газифікатора. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

Отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин – це важлива технологія для вирішення енергетичних проблем. Цей процес є складним, оскільки вимагає точного визначення параметрів, які впливають на ефективність технології. У цій роботі я розгляну, які параметри повинні бути враховані при розробці технологічного процесу отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин та обґрунтую конструкцію газогенератора.

Ключові слова: біомаси, газогенератор, газифікація, горючий газ, конструкція.

Summary

Svyatoslav LUKIANCHUK. Substantiation of the parameters of the technological process of obtaining combustible gas from fast-growing woody plants with the development of the gasifier design – Qualification work on the rights of a manuscript.

Qualification work for the bachelor's degree in speciality 208 - Agroengineering - Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The production of combustible gas from fast-growing woody plants is an important technology for solving energy problems. This process is complex, as it requires precise determination of parameters that affect the efficiency of the technology. In this paper, I will consider what parameters should be taken into account when developing a technological process for producing combustible gas from fast-growing woody plants and justify the design of a gas generator.

Keywords: biomass, gas generator, gasification, combustible gas, design.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ГОРЮЧОГО ГАЗУ.....	7
1.1. Аналіз параметрів технологічного процесу отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин	7
1.2. Аналіз конструкцій газогенераторів.....	9
Висновки до 1-го розділу.....	12
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ГОРЮЧОГО ГАЗУ.....	13
2.1. Основи газифікації біомаси.....	13
2.2. Обґрунтування методів газифікації.....	16
Висновки до 2-го розділу.....	19
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	20
3.1. Технологічні схеми газифікації рослинної біомаси.....	20
3.2. Розроблення конструкції газогенератора оберненого процесу.....	22
3.3. Розроблення конструкції фільтра для очищення газу	25
Висновки до 3-го розділу.....	29
ВИСНОВКИ	30
ЛІТЕРАТУРА	31
ДОДАТКИ	34
.....	35

ВСТУП

Отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин – це важлива технологія для вирішення енергетичних проблем. Цей процес є складним, оскільки вимагає точного визначення параметрів, які впливають на ефективність технології. У цій роботі я розгляну, які параметри повинні бути враховані при розробці технологічного процесу отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин.

Для отримання горючого газу в основному використовують газогенератори. Газогенератор – це пристрій для виробництва горючого газу з різних видів палива, таких як дерево, вугілля, біомаса та інші відходи. Останнім часом виробництво газу з деревних матеріалів зросло в популярності, оскільки воно є екологічно чистим та високоефективним методом виробництва енергії. Ефективність газогенератора може бути підвищена за допомогою технологічних інновацій. Наприклад, використання каталізаторів для зниження температури газифікації та підвищення якості газу, використання систем відновлення тепла для підвищення ефективності газифікації та зменшення енерговитратності процесу, використання систем очищення газу для зменшення вмісту домішок та забруднювачів у газі

Окрім цього, для покращення ефективності газогенератора можуть використовуватися різні види палива. Наприклад, додавання високовуглецевих матеріалів, таких як вугілля, може забезпечити більшу кількість газу, який може бути отриманий, але може зменшити якість газу та підвищити рівень викидів в атмосферу. З іншого боку, використання відновлювальних джерел енергії, таких як біомаса, може забезпечити меншу кількість газу, який може бути отриманий, але може забезпечити менші викиди та більш природний екологічний підхід.

Мета і задачі роботи. Мета роботи – підвищити рівень енергетичної ефективності переробки біомаси на енергію шляхом удосконалення технічних засобів для газифікації біомаси.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

проаналізувати основні способи газифікації біомаси;
обґрунтувати основні параметри газогенераторів;
провести оцінку технологій та засобів для газифікації біомаси,
обґрунтувати конструкції газогенератора

Об'єкт дослідження: технологічні процеси та параметри газифікації біомаси.

Предмет дослідження: взаємозв'язок параметрів елементів обладнання для газифікації біомаси з фізико-технологічними властивостями відповідної сировини.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ГОРЮЧОГО ГАЗУ

1.1. Аналіз параметрів технологічного процесу отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин

Отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин – це важлива технологія для вирішення енергетичних проблем. Цей процес є складним, оскільки вимагає точного визначення параметрів, які впливають на ефективність технології. У цій роботі я розгляну, які параметри повинні бути враховані при розробці технологічного процесу отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин.

Першим параметром є тип деревини, який використовується для отримання горючого газу. Швидкоростучі деревні рослини, такі як верба, тополя, в'яз і інші, мають високу енергетичну цінність і здатні забезпечувати значну кількість горючого газу. Однак, різні типи деревини можуть відрізнятися відсутністю деяких хімічних складових, які необхідні для ефективного отримання газу. Тому необхідно визначити оптимальний тип деревини для використання в процесі [1].

Другим параметром є вміст вологи в деревині. Волога може знижувати ефективність процесу, оскільки займає місце в реакторі і зменшує кількість газу, який може бути вироблений. Тому необхідно контролювати вміст вологи в деревині, щоб забезпечити оптимальні умови для отримання газу [2].

Третім параметром є тиск і температура в реакторі. Ці параметри мають великий вплив на кількість газу, який може бути вироблений, і енергетичну ефективність процесу. Високий тиск і висока температура забезпечують більш ефективно перетворення деревини в газ, а також збільшують швидкість реакції і підвищують виходи продуктів. Однак, необхідно враховувати, що занадто високий тиск і температура можуть впливати на якість отриманого газу та зменшувати термін експлуатації обладнання. Тому, необхідно встановлювати

оптимальні значення тиску і температури для максимальної ефективності процесу та забезпечення довговічності обладнання [1, 2, 3].

Четвертим параметром є швидкість подачі деревини в реактор. Швидкість подачі повинна бути регульована відповідно до параметрів реактора, щоб забезпечити оптимальний процес перетворення деревини в газ. Якщо швидкість подачі занадто велика, це може призвести до затримок в процесі реакції і зменшення виходу газу. З іншого боку, занадто повільна швидкість подачі може привести до перегріву деревини, що може вплинути на якість отриманого газу. Тому, важливо контролювати швидкість подачі для забезпечення оптимального процесу реакції [3, 4].

Останнім параметром є якість палива, яке отримується в результаті процесу. Якість палива залежить від складу деревини, умов реакції та інших факторів. Якість палива може бути визначена за допомогою таких характеристик, як вміст діоксиду вуглецю, енергетична цінність та інші. З метою забезпечення якісного палива необхідно визначити оптимальні параметри реакції та контролювати якість палива на кожному етапі процесу [1, 3, 5, 6].

У підсумку, отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин є складним технологічним процесом, який потребує встановлення оптимальних параметрів для досягнення максимальної ефективності та якості палива. Параметри, які необхідно враховувати, включають вміст вологи в деревині, тип реактора, тиск і температуру в реакторі, швидкість подачі деревини та якість палива.

Важливо також зазначити, що технологічний процес отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин має потенціал бути екологічно стійким та відновлюваним джерелом енергії. Цей процес може бути використаний для вирішення енергетичних проблем у віддалених або важкодоступних районах, де доступність традиційних джерел енергії обмежена. Крім того, він може допомогти зменшити залежність від імпортованих джерел енергії та зменшити викиди парникових газів.

1.2. Аналіз конструкцій газогенераторів

Для отримання горючого газу в основному використовують газогенератори. Газогенератор – це пристрій для виробництва горючого газу з різних видів палива, таких як дерево, вугілля, біомаса та інші відходи. Останнім часом виробництво газу з деревних матеріалів зросло в популярності, оскільки воно є екологічно чистим та високоефективним методом виробництва енергії.

Типова конструкція газогенератора складається з двох основних частин: реактора та системи подачі палива (рис. 1.1). Реактор є головною частиною газогенератора, де відбувається газифікаційний процес. У реакторі паливо нагрівається без доступу повітря, що сприяє виділенню газу з нього. Система подачі палива, зазвичай, включає в себе рухома кришку, що контролює кількість палива, що підводиться до реактора, та вентиляційну систему, що контролює рівень кисню в реакторі [7, 8].



Рис. 1.1 Загальний вигляд газифікатора (<https://www.linkedin.com/pulse/building-downdraft-wood-gasifier-steven-honkus>)

Одним з найпоширеніших типів газогенераторів є коксовий газогенератор. У цьому типі газогенератора паливо нагрівається до високої температури без доступу повітря, що приводить до виділення газу. Коксовий газогенератор має високу ефективність та може працювати з багатьма видами палива. Ще одним типом газогенератора є відкритий газогенератор. У цьому типі газогенератора паливо підводиться до реактора знизу, а газ виділяється зверху. Відкритий газогенератор має просту конструкцію та може працювати з різними видами палива. Інший тип газогенератора – зворотного потоку газу. У цьому типі газогенератора паливо підводиться до реактора знизу, а газ виходить знизу. Завдяки цьому процесу забезпечується більш повне згоряння палива та високий рівень ефективності [8, 9].

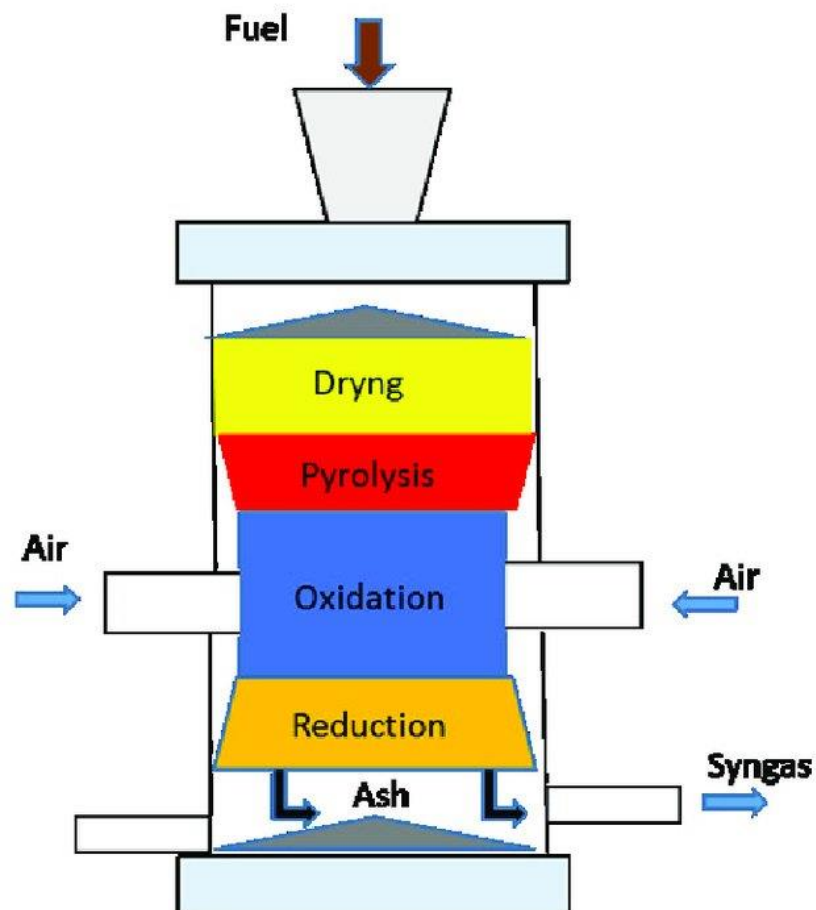


Рис. 1.2. Газифікатор (газогенератора) зворотного потоку газу

Одним з головних параметрів конструкції газогенератора є розмір реактора. Великий розмір реактора забезпечує більшу кількість палива, яке може бути оброблене, але це може призвести до збільшення вартості газогенератора та складнощів у його транспортуванні та експлуатації. З іншого боку, невеликий розмір реактора зменшує кількість палива, яке може бути оброблене, але забезпечує меншу вартість та більш просту транспортування та експлуатацію [10, 11].

Іншим важливим параметром конструкції газогенератора є рівень потоку палива. Великий потік палива забезпечує більшу кількість газу, який може бути отриманий, але це може привести до погіршення якості газу та зменшення ефективності газогенератора. З іншого боку, невеликий потік палива забезпечує високу якість газу та ефективність газогенератора, але може призвести до зменшення кількості газу, який може бути отриманий [10, 11].

Крім того, ефективність газогенератора може бути підвищена за допомогою технологічних інновацій. Наприклад, використання каталізаторів для зниження температури газифікації та підвищення якості газу, використання систем відновлення тепла для підвищення ефективності газифікації та зменшення енерговитратності процесу, використання систем очищення газу для зменшення вмісту домішок та забруднювачів у газі [8].

Окрім цього, для покращення ефективності газогенератора можуть використовуватися різні види палива. Наприклад, додавання високовуглецевих матеріалів, таких як вугілля, може забезпечити більшу кількість газу, який може бути отриманий, але може зменшити якість газу та підвищити рівень викидів в атмосферу. З іншого боку, використання відновлювальних джерел енергії, таких як біомаса, може забезпечити меншу кількість газу, який може бути отриманий, але може забезпечити менші викиди та більш природний екологічний підхід.

Висновки до 1-го розділу

1. Дослідження технології отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин та встановлення оптимальних параметрів технологічного процесу має великий потенціал для подальшого розвитку та впровадження в промисловість. Такі дослідження можуть бути важливим кроком у напрямку створення більш стійкої та екологічної енергетичної системи, яка буде сприяти збереженню природних ресурсів та зменшенню негативного впливу на довкілля.

2. Узагальнюючи, аналіз конструкцій газогенераторів для отримання горючого газу є важливим етапом у виборі оптимального рішення для певної ситуації. Розуміння параметрів та технологічних особливостей газогенератора може забезпечити високий рівень ефективності, надійності та екологічності процесу. Також варто зазначити, що наявність технологічних інновацій та використання різних видів палива можуть вплинути на ефективність та екологічність газогенератора та повинні бути ретельно розглянуті при виборі конструкції газогенератора для певної ситуації.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ГОРЮЧОГО ГАЗУ

2.1. Основи газифікації біомаси

Загальною властивістю твердих палив є їхня термічна нестійкість. Під час нагрівання всі палива розкладаються, утворюючи леткі продукти і твердий залишок. Газифікація є термохімічним процесом переробки твердого палива шляхом приєднання до нього кисню для перетворення палива на горючий газ (суміш CO, H₂ та ін.), призначений для подальшого спалювання (енергетичний або побутовий газ) або для технологічних цілей (технологічний газ). Метою газифікації є найбільш повне перетворення твердого палива на газоподібне.

В основі газифікації лежить або неповне горіння палива (за нестачі кисню), або повне горіння з подальшим реагуванням вуглецю з вуглекислою і водяною парою з метою одержання горючих газів (CO, H₂ та ін.). Останні реакції мають ендотермічний характер. За деякої надлишкової кількості кисню процес газифікації переходить у процес спалювання, що характеризується повним з'єднанням палива з киснем і супроводжується максимальним виділенням теплоти та отриманням повних (негорючих) продуктів окиснення – димових газів (CO₂, H₂O та ін.) – та твердого негорючого залишку – золи і шлаку. Горіння відрізняється від так званого повільного окислення значно більшою інтенсивністю реагування та виділення теплоти [2].

На рис. 2.1 схематично представлено механізм процесу газифікації. Вивчення механізмів процесу газифікації ускладнене їх складною взаємодією, різноманітням і недоступністю (через швидкоплинність) для експериментального дослідження низки процесів. Умовно, весь процес газифікації розбивають на етапи:

- 1 - нагрівання і сушіння палива;
- 2 - піролітичне розкладання палива на газоподібні продукти і твердий залишок;

3 - газифікація вугільного залишку.

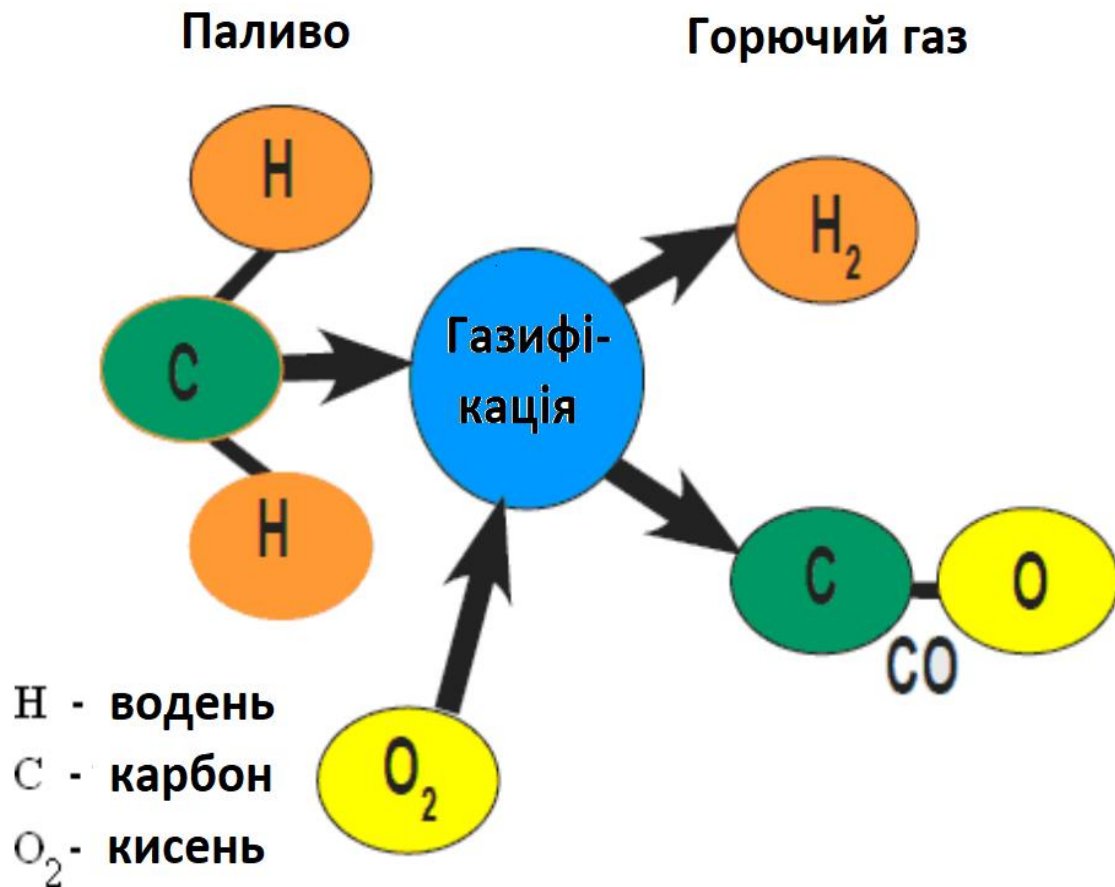


Рис. 2.1. Схематичне представлення процесу газифікації

Склад і маса газів, одержуваних у результаті піролізу, залежать, в основному, від температури процесу, виду палива і швидкості нагріву частинок. Приміром, до складу летких продуктів піролізу твердих палив, отриманих за температури піролізу 550 °С, входять пари води, смол і кислот, а також гази, що не конденсуються (CO₂, CO, H₂, CH₄, CH_{nm}), а при температурі понад 800 °С до складу газів, що не конденсуються, входять, в основному, CO і H₂. У табл. 2.1 наведено усереднені характеристики продуктів піролізу деяких твердих палив, узяті з роботи [3].

Таблиця 2.1. Основні усереднені характеристики продуктів піролізу деяких твердих палив при температурі 550 °С

Вид палива	Вихід летких	Вуглистый залишок	Склад летких (суха маса)			
			Смоли	Вода	Кислота	Горючий газ
	% на суху масу	%	% (об.)			
Кам'яне вугілля	13	87	2-5	0-1	-	8-12
Кам'яне вугілля	32-40	60-68	12-15	3-5	-	17-20
Буре вугілля	30-40	60-70	5-11	7-8	-	12-19
Торф (сухий)	70	30	8-20	20-30	0,8-1,0	18-24
Деревина (суха)	85	15	15	23	3-6	28

Як випливає з цієї таблиці, в результаті процесу піролізу твердих палив утворюється вуглистый залишок, до складу якого входить, в основному, вуглець, а маса залишку залежить від виду палива і становить величину від 15 до 87 % горючої маси вихідного палива. Чим молодше тверде паливо, тим менша маса вуглистого залишку.

Під час газифікації вуглистого залишку виділяється горючий газ. Генераторним називається газ, що утворюється під час взаємодії вуглецю з будь-

яким газоподібним реагентом за умови отримання в його складі горючих складових.

2.2. Обґрунтування методів газифікації

В якості газів, що реагують, застосовують зазвичай кисень повітря, водяну пару, чистий кисень, а також суміш пари і повітря або пари і кисню [2].

Найпростіший - це метод, за якого процес газифікації відбувається тільки за рахунок кисню повітря. Вуглистий залишок, отриманий у процесі піролізу в газогенераторі, спалюється з обмеженим доступом повітря (зазвичай коефіцієнт надлишку повітря дорівнює 0,25). Продуктом газифікації є повітряний генераторний газ із низькою теплою згоряння, що складається переважно з водню та окису вуглецю, розбавлений азотом повітря і деякою кількістю вуглекислоти.

У повітрі, як відомо, міститься 21 % кисню, який відповідає за інтенсивність процесу газифікації, тому температура в реакторі визначається швидкістю подачі цього повітря і швидкістю подачі палива. Невелике підведення повітря призводить до дуже низької температури шару, внаслідок чого виробляється менше газу і підвищується вміст у ньому смол.

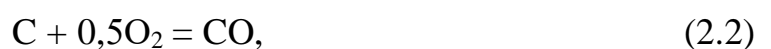
Найнижча теплота згоряння повітряного генераторного газу 3,5...4,8 МДж/м³, що робить можливим його використання в котлах і двигунах внутрішнього згоряння.

У табл. 2.2 наведено три типові моделі термічної газифікації твердого палива та відповідні їм продукти газифікації. Необхідною умовою отримання генераторного газу є запобігання згорянню горючих газів, що утворюються. На рис. 2.2 представлено графічне представлення процесів, що відбуваються в газогенераторі.

Таблиця 2.2. Моделі термічної газифікації твердого палива

Модель	Отримувані продукти
Газифікація повітрям	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , N ₂ , смоли. Нижча теплота згоряння газу – 3,5...4,8 МДж/м ³ .
Газифікація киснем	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , смоли. Нижча теплота згоряння газу – 10...15 МДж/м ³ . Вартість виробництва і використання кисню компенсується кращою якістю генераторного газу.
Газифікація водяною парою	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , смоли. Нижча теплота згоряння газу – 12...20 МДж/м ³ . Досить висока теплота згоряння пов'язана із введенням в процес додаткових горючих компонентів в вигляді водню и кисню, що містяться в водяній парі, але при цьому необхідно витратити додаткову енергію на підтримання необхідної температур в зоні газифікації.

Залежно від того, чи процес газифікації йде разом із піролізом, чи після нього, вуглець палива реагує з різними газоподібними реагентами (O₂, пара, CO₂, H₂) і утворюються газ, пари смол і вугільний залишок, зокрема кокс і зола. Реакції, що відбуваються в газогенераторі, можуть бути такого виду:



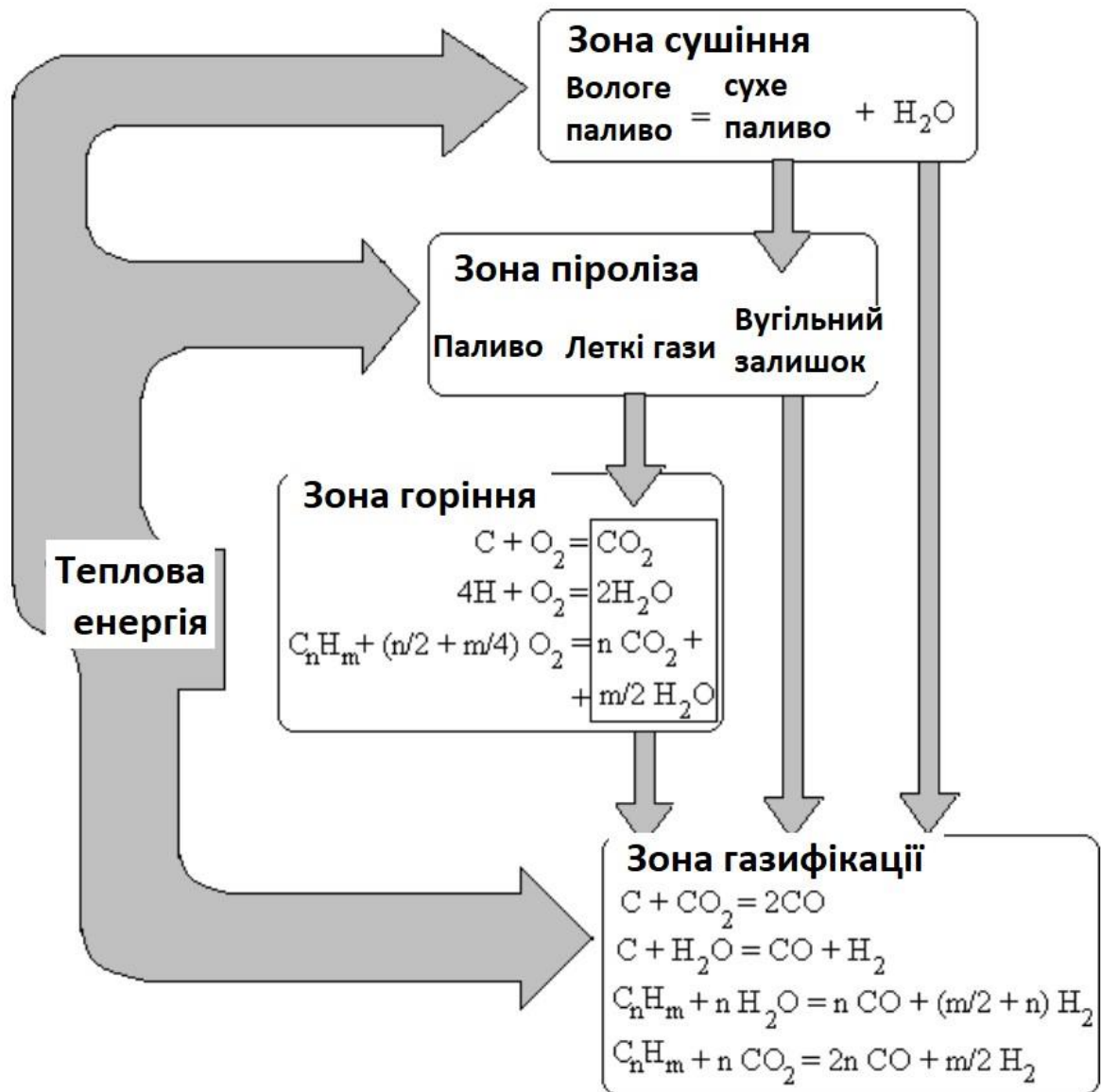
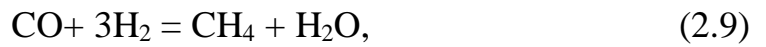


Рис. 2.2. Графічне представлення процесів у газогенераторі

Більша частина кисню, підведеного в газогенератор, чи то чистий кисень або кисень повітря, витрачається на реакції (1) - (3), внаслідок чого виділяється

теплова енергія, необхідна для сушіння твердого палива, руйнування хімічних зв'язків і підвищення температури в зоні газифікації, а також для здійснення реакцій (4) - (9). Реакції (4) і (5) – основні реакції газифікації, мають ендотермічний характер, відбуваються в зоні високих температур і низьких тисків. Реакція (6) – первинна реакція під час горіння вуглецю -ендотермічна; протікає набагато повільніше, ніж реакція горіння (1) при тій самій температурі. Реакція (7) – взаємодія вуглецю з воднем з утворенням метану; йде дуже повільно, за винятком умов високого тиску. Реакція (8) – важлива з точки зору отримання водню. Тиск не впливає на збільшення виходу H_2 . Реакція (9) – реакція отримання метану, відбувається дуже повільно за низьких температур. Реакція (10) відбувається відносно нейтрально з точки зору тепловиділення.

Висновки до 2-го розділу

Вивчення механізмів процесу газифікації ускладнене їх складною взаємодією, різноманіттям і недоступністю (через швидкоплинність) для експериментального дослідження низки процесів. Умовно, весь процес газифікації розбивають на етапи: нагрівання і сушіння палива; піролітичне розкладання палива на газоподібні продукти і твердий залишок; газифікація вугільного залишку.

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Технологічні схеми газифікації рослинної біомаси

Теорія і конструктивне оформлення алотермічного способу одержання газоподібних палив із вихідних твердих палив розроблені значно меншою мірою, ніж автотермічного способу газифікації. Залежно від організації подачі окислювача та гранулометричного складу вихідного палива можна виділити такі схеми автотермічного способу газифікації біомаси:

- а) схема газифікації в щільному шарі;
- б) схема газифікації в киплячому шарі;
- в) схеми газифікації в пиловому потоці.

Під час газифікації палив у щільному шарі вихідне паливо у вигляді порівняно великих шматків подають згори в шахту газогенератора, де послідовно проходять стадії підсушування, піролізу і, власне, газифікації. Реактори такого типу оснований на опусканні палива в шахті під дією сили тяжіння. Час сушіння, піролізу та газифікації, що визначають розмір (висоту) відповідних зон і загальну висоту шахти газогенератора, залежать від виду палива, його складу та вологості [4]. Час перебування палива в шахті газогенератора великий, а швидкість входу газу низька, тому використання шарових газогенераторів доцільне в установках невеликої потужності (до 5 МВт).

Залежно від розташування місця подачі повітряного або кисневого дуття в шахту і місця входу газу з шахти газогенератора з щільним шаром розрізняють три типи газогенераторів:

- газогенератори прямого процесу газифікації;
- газогенератори оберненого процесу газифікації;

- газогенератори поперечного процесу газифікації.

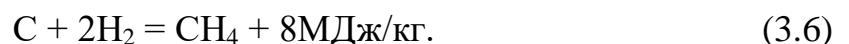
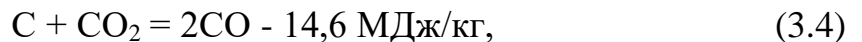
Усі шарові газогенератори мають чотири зони:

- зона горіння;
- зона газифікації;
- зона піролізу;
- зона сушіння.

Теплота виділяється в зоні горіння, в усіх інших зонах теплова енергія поглинається. Дві основні екзотермічні реакції зони горіння:



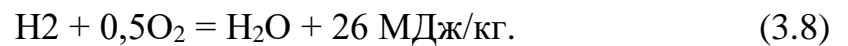
У зону газифікації надходять газі із зони горіння, які вступають у реакцію з вуглецем палива і водяними парами. В результаті цієї взаємодії утворюються горючі компоненти: CO, H₂ і CH₄. Реакції, що протікають у зоні газифікації, є зворотними і, за винятком реакції отримання метану (3.6), ендотермічними. Найважливіші реакції зони газифікації:



У зоні піролізу не відбувається реакції окислення, тому що в цій зоні немає вільного кисню повітря і немає достатньої кількості теплоти для термічного розпаду палива. У цій зоні виділяються летючі газы та смоли.

Біомаса завжди містить деяку кількість вологи, тому під час завантаження в реактор вона спочатку проходить зону сушіння. Для початку термічного розкладання біомаси необхідно, щоб уся волога, що міститься в ній, була випарована.

Незважаючи на нестачу кисню в газогенераторі, частина оксиду вуглецю (CO) і водню (H₂), що утворюються, окислюються. У результаті цього виділяється теплота, необхідна для процесу газифікації. Кількість витраченої на газифікацію теплоти менша, ніж нижча теплота згоряння генераторного газу. Реакції окислення відбуваються таким чином:



Для отриманні енергії до 5 МВт пропонується використання газогенератора оберненого процесу із щільним шаром на основі повітряного дуття. Усі шарові газогенератори мають чотири зони: зона горіння; зона газифікації; зона піролізу; зона сушіння.

3.2. Розроблення конструкції газогенератора оберненого процесу

У разі оберненого процесу газифікації подавання повітряного дуття здійснюється в середній частині шахти газогенератора, де й утворюється осередок горіння, а генераторний газ відводиться з шахти в нижній її частині.

Таким чином, процеси піролізу і підсушування палива здійснюються в результаті вільної конвекції горючих газоутворювальних продуктів і ефективної теплопровідності шару палива. Утворена в результаті піролізу і підсушування парогазова суміш під дією штучно створюваного перепаду тиску в шахті газогенератора проходить згори вниз через високотемпературний осередок горіння палива. Унаслідок термічного розкладання газ очищається тут від парів

смол і активних піролізних кислот, потім, обтікаючи частинки вуглистого залишку палива, газифікує їх, збагачується продуктами газифікації й далі виходить із нижньої частини шахти газогенератора.

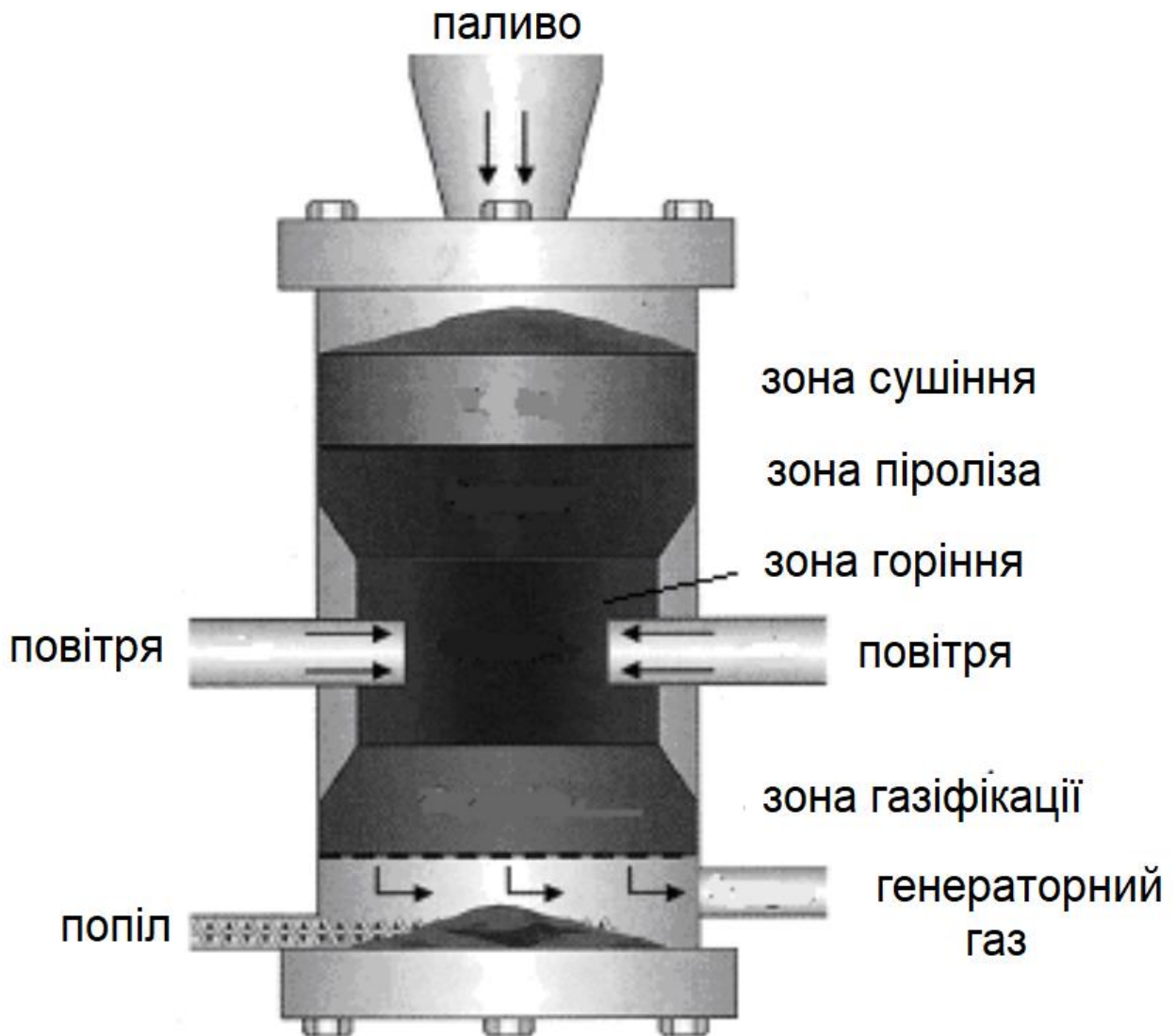


Рис. 3.1. Газогенератора оберненого процесу

Головна перевага газогенераторів оберненого процесу – низький вміст смол у генераторному газі, тому такий газ після об'ємної фільтрації та охолодження може бути використаний у двигунах внутрішнього згорання.

Особливістю конструкції газогенератора є у формі камери газифікації палива і відведенні газу, що утворюється, з нижньої частини камери. Камера газифікації складається з двох усічених конусів, що обернені вершинами на зустріч одна одній. Верхня частина камери служить областю часткового згоряння палива (окислювальна зона), у ній температура досягає 1000-1200 °С.

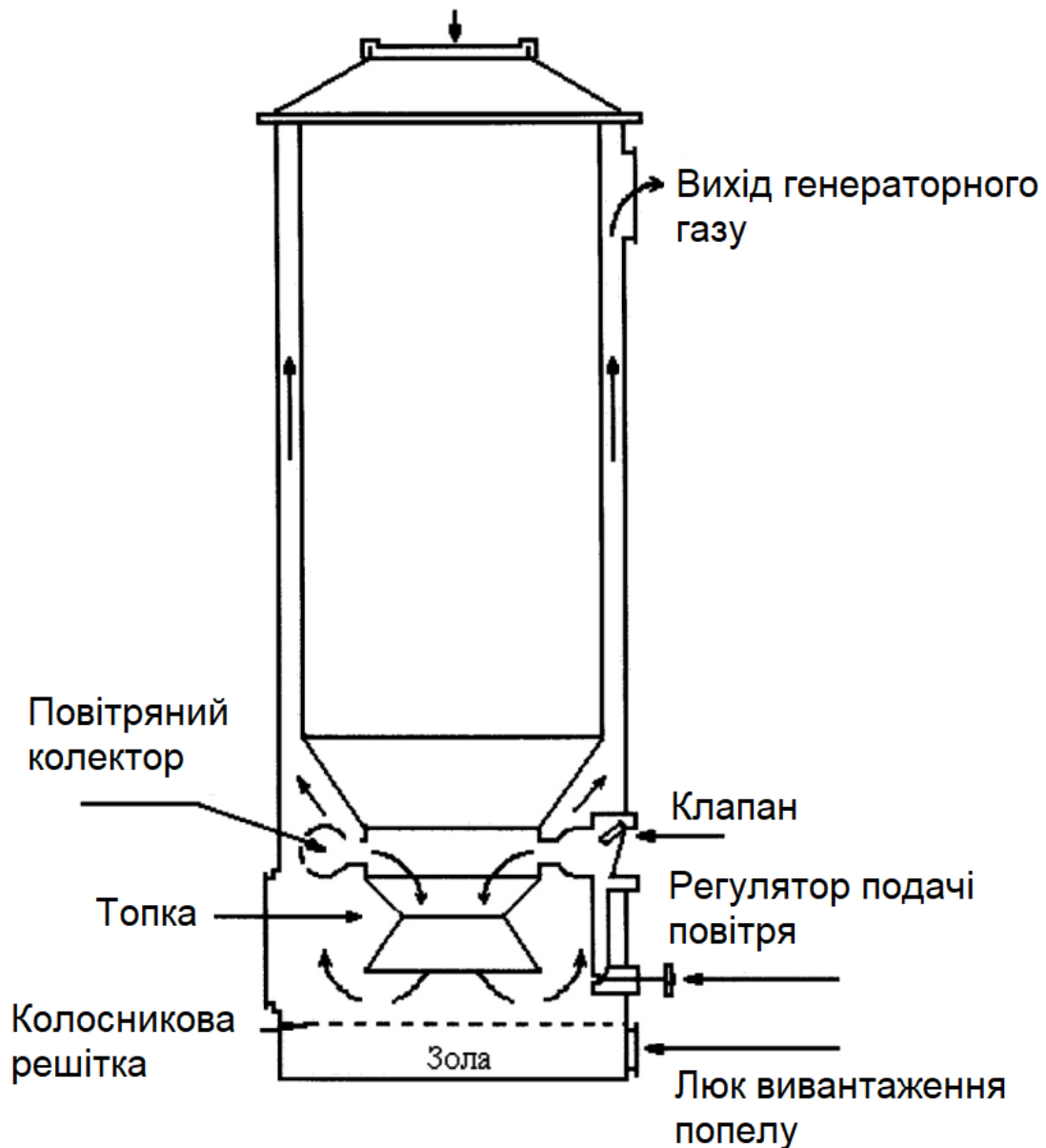


Рис. 3.2. Конструкційна схема газогенератора

Повітря для горіння подається в цю частину камери через фурми зі швидкістю близько 40 м/с, що забезпечує продувність шару палива в поперечному перерізі. Друга частина камери газифікації являє собою горловину,

в якій температурний режим досягає найвищої межі, і піролізні смоли остаточно розкладаються. Третьою частиною камери є нижній конус. У ньому протікають відновлювальні реакції, під час яких утворюється додаткова кількість горючих компонентів (CO з CO₂ і H₂ з H₂O). Для утилізації тепла генераторного газу, а він на виході камери газифікації має температуру 500-700°C, газогенератор виготовляють із подвійними стінками. Газ, рухаючись каналом між внутрішньою і зовнішньою стінками газогенератора, нагріває паливо, яке перебуває у внутрішньому корпусі, і охолоджується. У нижній частині газогенератора об'ємно розташовують рухому колосникову решітку, з-під якої періодично вивантажується зола і недопал у вигляді дрібних вугільних частинок.

3.3. Розроблення конструкції фільтра для очищення газу

Для очищення газу використаємо очисник-циклон (рис.3.9). Очисник містить циклон та адсорбер.

Проведемо необхідні розрахунки очисника [15].

Механічний розрахунок зробимо з огляду на механічну міцність стінок, обідків, фланців та дна.

Розрахунок міцності обідків виконаємо за формулою:

$$s = s' + C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.7)$$

де s' – конструкторська товщина стінки, мм;

C_1 – компенсація на корозію матеріалу, мм;

C_2 – компенсація на допуск, мм;

C_3 – технологічна компенсація, мм.

Приймемо $\frac{\sigma}{P} \varphi = \frac{183}{0,101} \cdot 1 = 1806 > 25$, це більше за констркціну товщину

стінки.

Тому її розрахуємо формулою.:

$$s' = \frac{p \cdot D}{2[\sigma] \cdot \varphi} \quad (3.8)$$

де p – максимальний тиск, МПа;

D – робочий діаметр, мм;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, МПа;

φ – міцнісний коефіцієнт.

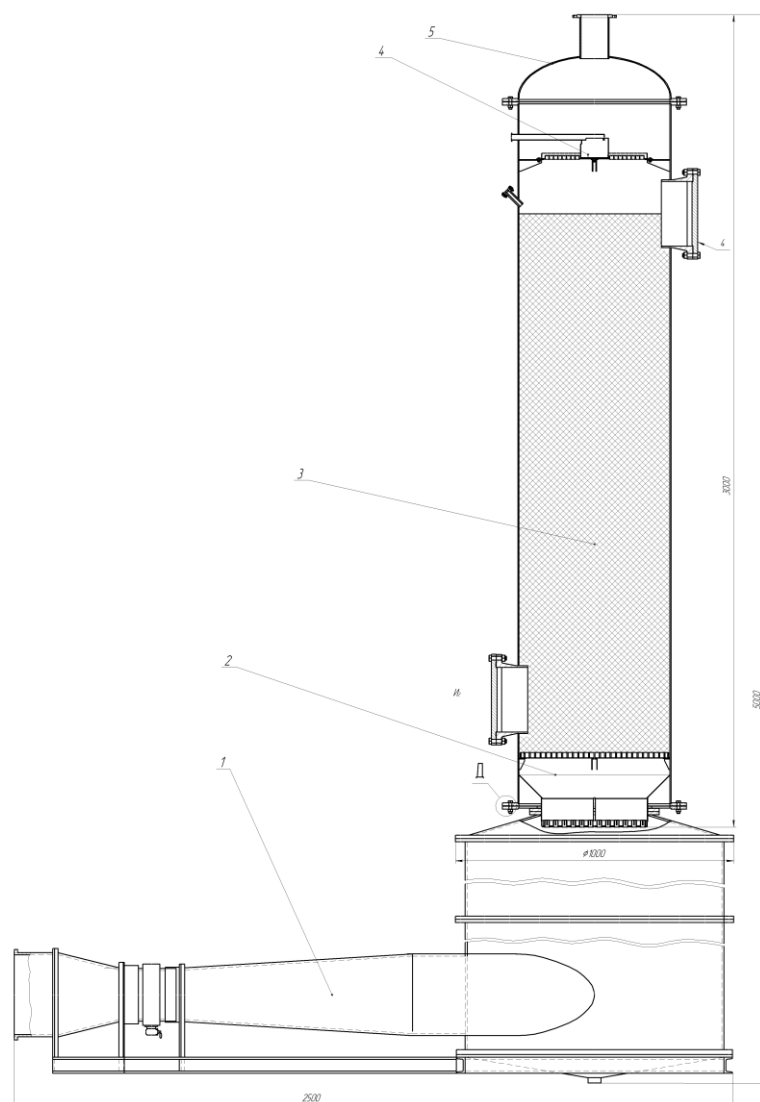


Рис. 3.3. Складальне креслення очисника

1 – циклон, 2 – абсорбер, 3 – поглинач, 4 – заглушка, 5 - кришка

Міцнісний коефіцієнт обираємо на рівні $\varphi = 1,0$ для контролю шва по довжині 100% і $\varphi = 0,9$ при 50% контролі шва по довжині.

Робочу товщину стінки вибираємо із стандартного ряду товщин труб. Мінімальна товщина обідка залежить від діаметра очисника.

$$p = 0,1 [\text{МПа}]$$

$$D = 600 [\text{мм}]$$

$$[\sigma] = 183 [\text{МПа}] \text{ (для матеріалу сталі 09Г21С при } 60^{\circ}\text{C)}$$

$$C_1 = 2 [\text{мм}] \quad C_2 = 0,2 [\text{мм}] \quad C_3 = 0,5 [\text{мм}]$$

$$s' = \frac{0,101 \cdot 600}{2 \cdot 183 \cdot 1} = 0,4 [\text{мм}]$$

Робочу товщину приймаємо 4 мм, з урахуванням компенсацій приймаємо рівною 8 мм.

Допустимий тиск в обідку визначимо за формулою:

$$p_{\partial} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - C_1)}{D + (s - C_1)}, \quad (3.9)$$

де $[\sigma]$ - допустима напруження, МПа;

s – товщина обідка, мм;

D – робочий діаметр очисника, мм;

C_1 – прибавка для компенсації корозії, мм;

$$[\sigma] = 183 \text{ МПа (для сталі 09Г2С при } 20^{\circ}\text{C)}$$

$$s = 8 [\text{мм}] \quad D = 600 [\text{мм}] \quad C_1 = 2 [\text{мм}]$$

$$p_{\partial} = \frac{2 \cdot 183 \cdot (8 - 2)}{1400 + (8 - 2)} = 1,56 [\text{МПа}]$$

Необхідну товщину дна розрахуємо за рівнянням:

$$s = \frac{p \cdot R}{2[\sigma] \cdot \varphi} + C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.10)$$

де p – максимальний тиск, МПа;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, МПа;

φ – міцнісний коефіцієнт;

R – радіус кривизни дна, мм.

C_1 – компенсація на корозію, мм;

C_2 – компенсація на допуск, мм;

C_3 – технологічна компенсація, мм.

Визначимо робочий радіус кривизни дна:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot h_g}, \quad (3.11)$$

де D – робочий діаметр очисника, мм;

H – висота дна, мм.

$$D = 600[\text{мм}]$$

$$h_g = 350[\text{мм}]$$

$$R = \frac{1400^2}{4 \cdot 350} = 1400[\text{мм}]$$

$$s = \frac{0,1 \cdot 1400}{2 \cdot 183 \cdot 1} + 2 + 0,2 + 0,5 = 3[\text{мм}]$$

Товщину дна приймаємо рівною 8мм, виходячи із конструкційних міркувань.

Висновки до 3-го розділу

Для отримання енергії до 5 МВт пропонується використання газогенератора оберненого процесу із щільним шаром на основі повітряного дугтя. Усі шарові газогенератори мають чотири зони: зона горіння; зона газифікації; зона піролізу; зона сушіння.

ВИСНОВКИ

1. Дослідження технології отримання горючого газу із швидкоростучих деревних рослин та встановлення оптимальних параметрів технологічного процесу має великий потенціал для подальшого розвитку та впровадження в промисловість. Такі дослідження можуть бути важливим кроком у напрямку створення більш стійкої та екологічної енергетичної системи, яка буде сприяти збереженню природних ресурсів та зменшенню негативного впливу на довкілля.

2. Узагальнюючи, аналіз конструкцій газогенераторів для отримання горючого газу є важливим етапом у виборі оптимального рішення для певної ситуації. Розуміння параметрів та технологічних особливостей газогенератора може забезпечити високий рівень ефективності, надійності та екологічності процесу. Також варто зазначити, що наявність технологічних інновацій та використання різних видів палива можуть вплинути на ефективність та екологічність газогенератора та повинні бути ретельно розглянуті при виборі конструкції газогенератора для певної ситуації.

3. Вивчення механізмів процесу газифікації ускладнене їх складною взаємодією, різноманіттям і недоступністю (через швидкоплинність) для експериментального дослідження низки процесів. Умовно, весь процес газифікації розбивають на етапи: нагрівання і сушіння палива; піролітичне розкладання палива на газоподібні продукти і твердий залишок; газифікація вугільного залишку.

4. Для отримання енергії до 5 МВт пропонується використання газогенератора оберненого процесу із щільним шаром на основі повітряного дуття. Усі шарові газогенератори мають чотири зони: зона горіння; зона газифікації; зона піролізу; зона сушіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Golub, G.A.; Kukharets, S.M.; Yarosh, Y.D.; Kukharets, V.V. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems. *INMATEH Agric. Eng.* 2017, 51, 93–100.
2. Golub, G.; Chuba, V.; Lutak, V.; Yarosh, Y.; Kukharets, S. Researching of indicators of agroecosystem without external energy supply. *J. Cent. Eur. Agric.* 2021, 22, 397–407. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.2.3076>.
3. Jin, Y., Guo, X., Zhang, B., & Zhang, J. (2020). Study on the fast pyrolysis of bamboo for bio-oil production: Effect of pyrolysis conditions on bio-oil yield and quality. *Renewable Energy*, 145, 2211-2218.
4. Rousset, P., Vidalie, J. F., & Commandre, J. M. (2015). Gasification of forest biomass: optimization of reactor and operation parameters. *Biomass and Bioenergy*, 75, 326-334.
5. Sultana, M., Rashid, M. M., Uddin, M. A., Rahman, M. A., & Islam, M. R. (2018). Effect of temperature on pyrolysis and gasification of biomass using a downdraft gasifier. *Renewable Energy*, 126, 1226-1231.
6. Demirbas, A. (2010). Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy*, 87(1), 14-28.
7. Zhang, Q., Chang, J., & Wang, T. (2007). Production of syngas from biomass in a downdraft gasifier: Thermal efficiency and syngas analysis. *Energy Conversion and Management*, 48(1), 268-274.
8. Li, H., Yan, J., Li, Y., & Ma, L. (2019). Effect of temperature and heating rate on pyrolysis characteristics and products of bamboo in a fixed-bed reactor. *Fuel Processing Technology*, 194, 106183.
9. Channiwala, S.A.; Ratnadhariya, J.K. Three zone equilibrium and kinetic free modeling of biomass gasifier – a novel approach. *Renew. Energy* 2009, 34, 1050–1058. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.08.001>
10. Zha, Z.; Wang, K.; Ge, Z.; Zhou, J.; Zhang, H. Morphological and heat transfer characteristics of biomass briquette during steam gasification process.

Bioresour. Technol. 2022, 356, 127334.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127334>.

11. Chen, Y., Chen, Y., Wang, C. (2016). Construction and performance test of an updraft fixed bed gasifier. *Energy Conversion and Management*, 119, 155-163.

12. Zhang, H., Huang, X., Yang, H., Wang, Y., Zhang, B., He, M. (2015). Design and experimental research of a downdraft fixed bed gasifier. *Energy Procedia*, 75, 1845-1850.

13. Rokni, E., Gómez-Barea, A., Caballero, J.A. (2014). Gasification of biomass in a downdraft gasifier: Overall process and hydrodynamics. *Fuel Processing Technology*, 123, 9-16.

14. Jasinskas, A.; Streikus, D.; Šarauskis, E.; Palšauskas, M.; Venslauskas, K. Energy Evaluation and Greenhouse Gas Emissions of Reed Plant Pelletizing and Utilization as Solid Biofuel. *Energies* 2020, 13, 1516.
<https://doi.org/10.3390/en13061516>

15. Handbook of Biofuels. Editors Sanjay Sahay; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2021, 676p. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04999-0>.

16. Kukharets, S.; Hutsol, T.; Glowacki, S.; Sukmaniuk, O.; Rozkosz, A.; Tkach, O. Concept of biohydrogen production by agricultural enterprises. *Agric. Eng.* 2021, 25, 63–72. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0005>.

17. Golub, G.; Kukharets, S.; Yarosh, Y.; Chuba, V. Method for Optimization of the Gasifier Recovery Zone Height. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.* 2019, 7, 493–505. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0245>.

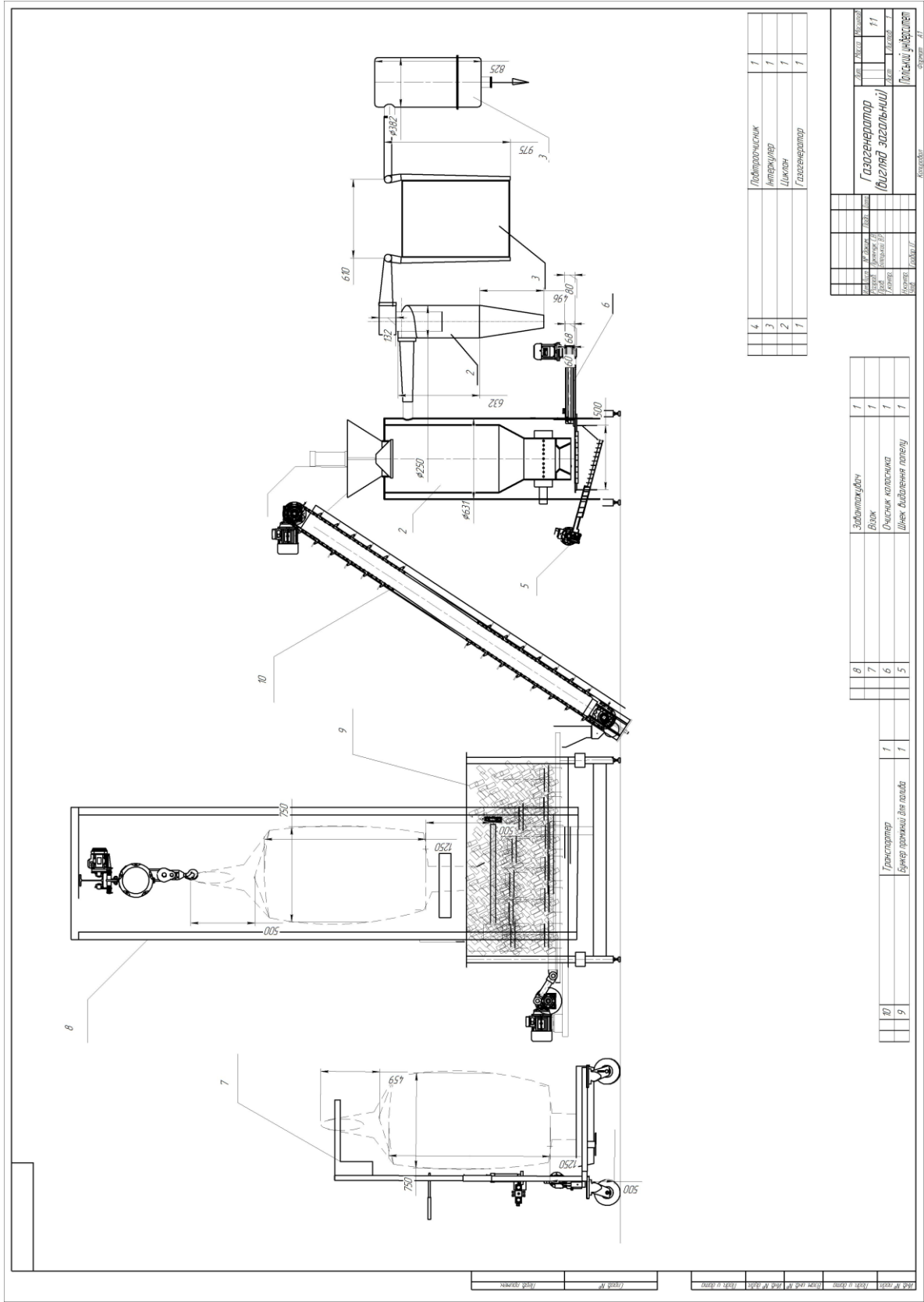
18. Golub, G.; Kukharets, S.; Čėsna, J.; Skydan, O.; Yarosh, Y.; Kukharets, M. Research on changes in biomass during gasification. *INMATEH Agric. Eng.* 2020, 61, 17–24. <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-02>.

19. Kazimierski, P.; Hercel, P.; Kardaś, D. Determining the bed settling rate in down-draft biomass gasifier using the radioisotope X-ray fluorescence—Measurement methodology. *Biomass Bioenergy* 2019, 127, 105285. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105285>.

20. Paulauskas, R.; Zakarauskas, K.; Striūgas, N. An Intensification of Biomass and Waste Char Gasification in a Gasifier. *Energies* 2021, 14, 1983. <https://doi.org/10.3390/en14071983>.
21. 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. *East. -Eur. J. Enterp. Technol.* 2018, 5/8, 76–86. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142159>.
22. Wu, Z.; Meng, H.; Luo, Z.; Chen, L.; Zhao, J.; Wang, S. Performance evaluation on co-gasification of bituminous coal and wheat straw in entrained flow gasification system. *International J. Hydrog. Energy* 2017, 42, 18884–18893. doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.144.
23. Mac an Bhaird, S.; Walsh, E.; Hemmingway, P.; Maglinao, A.L.; Capareda, S.C.; McDonnell, K.P. Analysis of bed agglomeration during gasification of wheat straw in a bubbling fluidised bed gasifier using mullite as bed material. *Powder Technol.* 2014, 254, 448–459. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.01.049>
24. Kuo, J., Chien, K., Yu, C., Hu, H. (2017). Experimental study on an improved downdraft gasifier with staged air supply. *Energy Conversion and Management*, 138, 374-384.
25. Wang, Y., Chen, Y., Chen, Y., Zhang, H., He, M. (2015). Design and experimental research of an updraft gasifier for biomass. *Energy Procedia*, 75, 2095-2100.
26. Głowacki, S.; Salamon, A.; Sojak, M.; Tulej, W.; Bryś, A.; Hutsol, T.; Salamon, M.; Kukharets, S.; Janaszek-Mańkowska, M. The Use of Brewer's Spent Grain after Beer Production for Energy Purposes. *Materials* 2022, 15, 3703. <https://doi.org/10.3390/ma15103703>.

ДОДАТКИ

Додаток А. Загальний вигляд газогенератора



4	Підприємство	1
3	Інженер	1
2	Доклад	1
1	Газогенератор	1

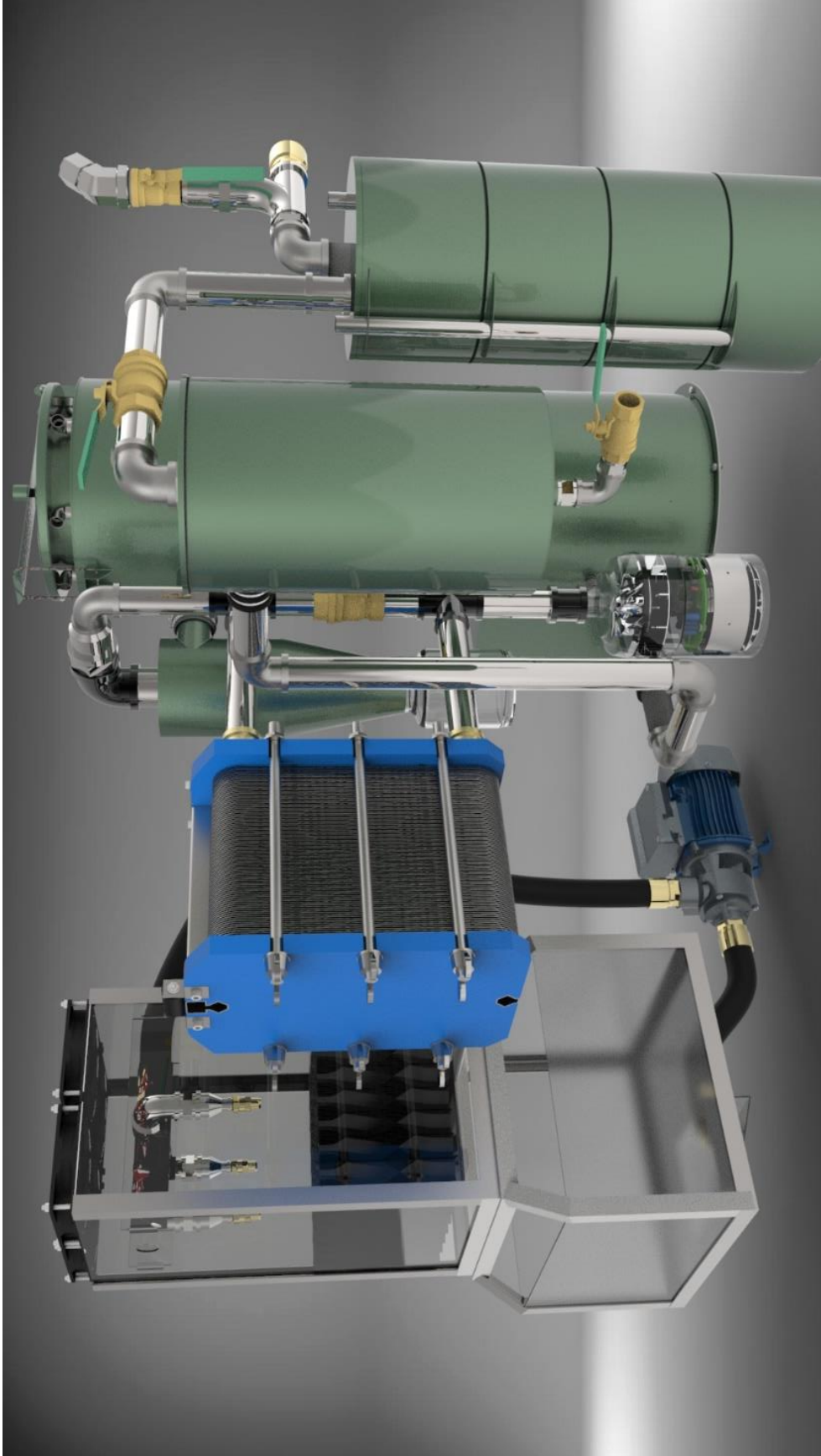
Газогенератор (вигляд загальний)		Лист	№	Кількість	Матеріал
1		1		1	11
Політехнічний університет					

8	Забивальний	1
7	Візок	1
6	Ручний колісний	1
5	Шнек відвідний пагучий	1

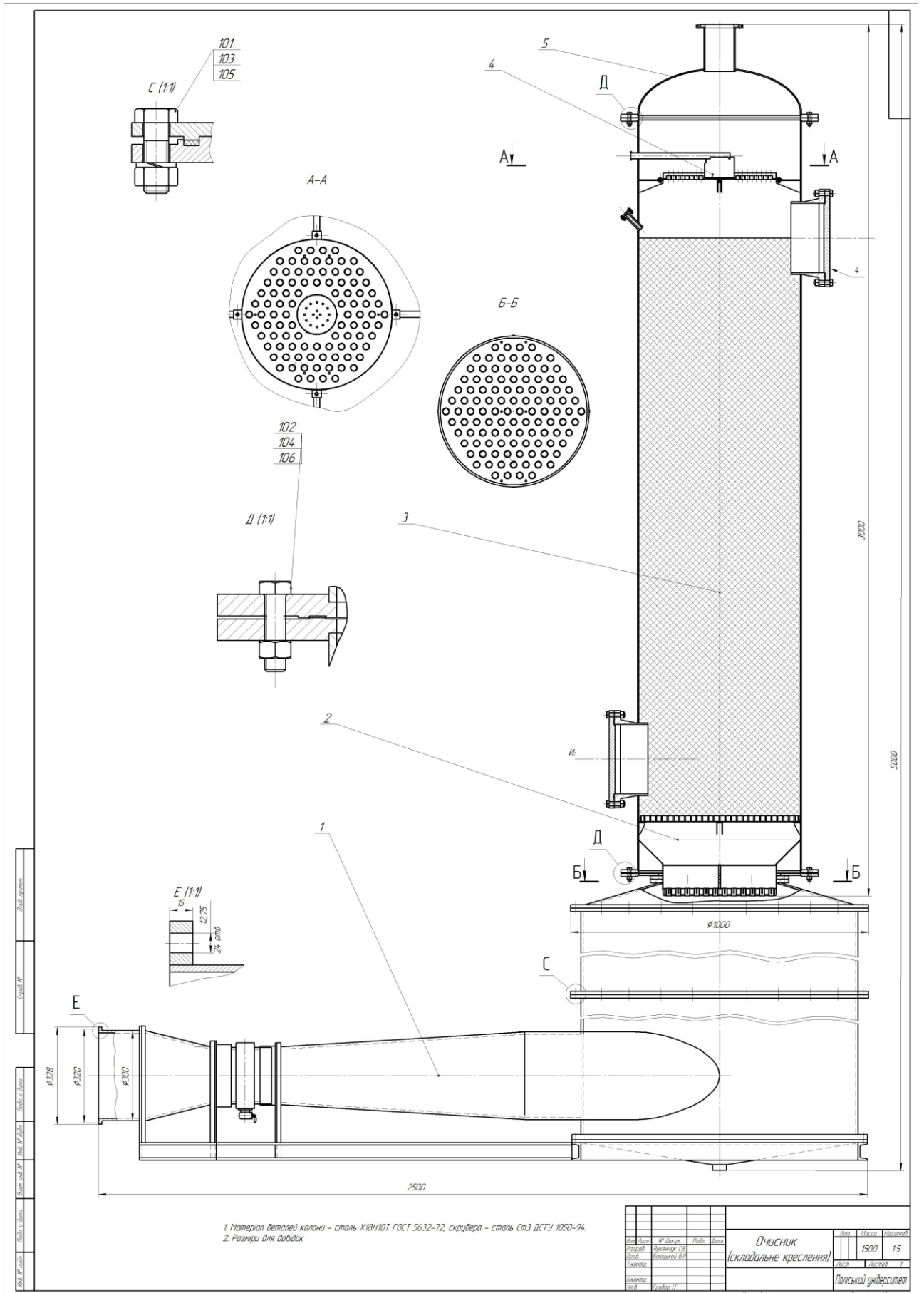
10	Транспортер	1
9	Бункер промисловий для палива	1

Лист № 11
 Кресло № 11
 Назва № 11
 Матеріал № 11
 Кількість № 11
 Дата № 11

Додаток Б. 3-Д модель газогенератора



Додаток В. Очисник (складальне креслення)



Додаток Г. Специфікація складального креслення

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №						<i>Документація</i>			
						<i>Пояснювальна записка Складальне креслення</i>			
						<i>Складальні одиниці</i>			
				1		<i>Скрубер</i>	1		
				2		<i>Колона</i>	1		
			3		<i>Наповнювач</i>	1			
			4		<i>Тарілка</i>	1			
			5		<i>Кришка</i>	1			
Взам. инв. №						<i>Стандартні вироби</i>			
				101		<i>Болт М12х50 ГОСТ 7798-70</i>	32		
				102		<i>Гайка М12 ГОСТ 5915-70</i>	32		
				103		<i>Шайба 12 ГОСТ 6402-70</i>	32		
				104		<i>Болт М16х50 ГОСТ 7798-70</i>	30		
				105		<i>Гайка М16 ГОСТ 5915-70</i>	30		
			106		<i>Шайба 16 ГОСТ 6402-70</i>	30			
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ОЧИСНИК	Лит.	Лист	Листов
	Разраб.		Лукьянчук С.В.						1
	Пробв.		Білецький В.Р.				<i>Поліський університет</i>		
	Н.контр.								
	Утв.		Грабар І.Г.						

Копировал

Формат А4

Додаток Д. Робоче креслення циклона

