

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання машин**

«На правах рукопису»  
УДК 621.9:697.326

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО  
«\_\_» грудня 2020 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи**  
**інженерного дизайну»**  
**зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**  
**на тему: «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення**  
**твердопаливного котла з модулем-генератором»**

Виконав:  
студент VI курсу, групи МІ-92мп  
Сергієнко Владислав Володимирович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:  
доцент, к.т.н.  
Вовк Вячеслав Володимирович \_\_\_\_\_

Консультант з \_\_\_\_\_:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.  
Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Механіко-машинобудівний інститут  
Кафедра конструювання машин**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи інженерного дизайну»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ **Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО**  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Сергієнко Владиславу Володимировичу**

1. Тема дисертації «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення твердопаливного котла з модулем-генератором», науковий керівник дисертації Вовк Вячеслав Володимирович, доц., к.т.н, затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3205-С.
2. Термін подання студентом дисертації: 15 грудня 2020р.
3. Об'єкт дослідження: Інженерний дизайн твердопаливного котла
4. Вихідні дані: Котел твердопаливний, потужність до 25 кВт, необхідність забезпечення оптимальної роботи в різних режимах та генерації електричної енергії.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз існуючих конструкцій твердопаливних котлів; розробка загальної конструкції та дизайну котла; розрахунок основних параметрів; розробка конструкторської документації; розробка укрупненої технології виготовлення елементів котла; виготовлення прототипів системи регулювання роботи котла; розробка стартап-проекту.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: аналіз існуючих конструкцій котлів; загальна конструкція котла; конструкція

модуля-генератора; креслення та моделі елементів котла; укрупнена технологія виготовлення елементів котла; адитивне виробництво прототипу елементів котла; економічна привабливість проекту.

7. Орієнтовний перелік публікацій: тези доповіді на конференції та стаття за темою дисертації

8. Консультанти розділів дисертації.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 2.09.2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих рішень	01.11.2019	
2	Розробка загальної конструкції	14.02.2020	
3	Розрахунок головних елементів	06.04.2020	
4	Проектування нових елементів конструкції та системи керування роботою котла	01.06.2020	
5	Розробка укрупненої технології виготовлення складових котла	02.11.2020	
6	Виготовлення функціонального прототипу блоку керування роботою котла	23.11.2020	
7	Оформлення дисертації та підготовка презентації доповіді	07.12.2020	

Студент

Владислав СЕРГІЄНКО

Науковий керівник

Вячеслав БОБК

## АНОТАЦІЯ

### **Сергієнко В.В. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення твердопаливного котла з модулем-генератором**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2020.

В результаті виконаної роботи було розроблено конструкцію котла з оригінальним дизайном, який дозволяє якісно виділятися серед інших на ринку.

Була розроблена унікальна система керування подачею повітря, що дозволяє збільшити ефективний робочий діапазон котла, його час роботи та ККД, підвищити екологічність роботи котла внаслідок більш повного згоряння палива.

Для цього котла було розраховано і спроектовано генератор на основі термоакустичного двигуна, який вироблятиме електричну енергію і забезпечуватиме певну «автономність» такої установки.

Також розроблений узагальнений технологічний процес виготовлення елементів котла. Розроблено технологічний процес виготовлення теплообмінників, що вирізняється своєю дешевизною при забезпеченні необхідної якості.

Роботоздатність і ефективність роботи турбіни генератора протестована в модулі Inventor CFD. Також за допомогою цієї програми було проаналізовано та удосконалено дросельний вузол подачі повітря.

Для керування дросельним вузлом розроблено та виготовлено блок керування з відповідним програмним забезпеченням (функціональний прототип спрощеної системи керування).

Турбіну та корпус блоку керування було виготовлено методом адитивних технологій.

**Ключові слова:** твердопаливний котел, проектування, дизайн, генератор, технологія виготовлення, адитивні технології.



## **ABSTRACT**

**Serhiienko V.V. Design and technological support for manufacturing of solid fuel boiler with a generator module.**

The dissertation on competition of a scientific degree of the master on a specialty 131 - Applied mechanics. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. – Kyiv, 2020.

As a result of the performed work, I developed a boiler with original design that allows it to stand out from others on the market.

A unique air supply control system was developed, which allows to increase effective operating range of the boiler, its operating time and energy conversion efficiency; to increase environmental friendliness of the boiler due to more complete fuel combustion.

For this boiler, a generator based on a thermoacoustic engine was computed and designed. It will generate electricity and provide a certain degree of autonomy for such an installation.

A generalized technological process of manufacturing boiler elements has also been developed. We elaborated the technological process of manufacturing heat exchangers, which is distinguished by its cheapness, while ensuring the required quality.

Operability and efficiency of the generator turbine were tested in the Inventor CFD module. Moreover, with the help of this program the throttle unit of air supply was analyzed and improved.

A control unit with appropriate software (functional prototype of a simplified control system) was developed and manufactured to control the throttle. The turbine and the housing of the control unit were made by the method of additive technologies.

**Key words:** solid fuel boiler, design, generator, manufacturing technology, additive technologies.

## РЕФЕРАТ

**Актуальність досліджень.** У наші дні дуже актуальним є питання збереження вичерпних енергоресурсів, оскільки їх запаси можуть вичерпатися впродовж 55-60 років за умови збереження поточних темпів їх видобування. Через це ціни на енергоносії зростають і активно розвивається “зелена” енергетика. В нашому регіоні, на жаль, альтернативна енергетика не здатна забезпечити достатню кількість енергії для опалення будинків. Ці два фактори призводять до того, що люди все частіше звертають увагу на твердопаливні котли.

Аналіз ринку котлів показує, що існує досить велика кількість компаній, які їх виготовляють. Це і не дивно, оскільки ринок зростає, а конструкції котлів постійно покращуються. На ринку також є ряд українських компаній, але їх конструктивні та дизайнерські рішення поступаються європейським конкурентам, тому актуальним є створення високотехнологічного продукту, якого потребує ринок.

Значною проблемою є потреба традиційних газогенераторних котлів у зовнішньому електрозабезпеченні, необхідному для турбін примусової продувки, автоматики та циркуляційних насосів.

Сама система автоматики більшості таких котлів теж вимагає значного доопрацювання, оскільки вона не може забезпечити ефективної роботи котла впродовж усього циклу згоряння, через це частина палива згорає не повністю, а ще частина може згорати за умови надлишку повітря. Тому заявлений максимальний ККД переважної більшості котлів є можливим лише за ідеальних умов і на окремих проміжках циклу горіння.

Отже, ця робота має на меті вирішення проблеми створення пристрою, що мав би просунуту систему керування для підвищення ККД і підвищення зручності користування, а також власний модуль

електрогенерації, що, як мінімум, зробить котел повністю автономним, а як максимум – забезпечить домогосподарство не тільки теплом, а й електроенергією.

Крім того, поставлена задача – розробити конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення цього котла, а саме: розробка укрупненої технології виготовлення елементів котла та виготовлення функціонального прототипу системи керування дросельним вузлом.

**Мета і задачі дослідження.** Метою є розробка конструкції та укрупненої технології виготовлення котла з покращеними функціональними характеристиками та конкурентоспроможними можливостями.

Для досягнення мети було поставлено **наступні задачі:**

1. Провести аналіз існуючих конструкцій котлів.
2. Проаналізувати шляхи покращення характеристик і дизайну котлів, синтезувати нову конструкцію.
3. В існуючих програмних продуктах провести підрахунок основних параметрів нової конструкції.
4. Вирішити питання “електричної автономності” котла.
5. За допомогою відповідних програмних продуктів перевірити правильність розрахунків (симуляція потоків в елементах котла).
6. Розробити моделі та креслення основних елементів котла.
7. Розробити укрупнену технологію виготовлення елементів котла.
8. Виготовити функціональний прототип дросельного вузла та системи керування.
9. Розробити стартап-проект.

**Об’єкт дослідження** – твердопаливні газогенераторні котли та їх системи автоматизації.

**Предмет дослідження** – дизайн котла, кількісне регулювання подачі повітря, генерація електричної енергії.

**Методи дослідження.** Виконані дослідження базуються на теоретичних знаннях та джерелах, аналітичних методах розрахунків, а також різноманітних методах САПР, зокрема CAD, CAE та CAM.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

Розроблена конструкція більш енергоефективного, повністю автономного котла, що здатен забезпечувати домогосподарства як теплом, так і електроенергією.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Створений стартап-проект, за умови подальшої роботи над ним та належного фінансування, може бути повністю реалізованим у виробництві. У результаті цього буде отримано зручніший у користуванні та більш енергоефективний продукт, що в свою чергу дасть поштовх іншим виробникам застосовувати подібні рішення, і як наслідок, популярність твердопаливних котлів буде зростати, а споживання вичерпних енергоносіїв зменшуватись.

### **Апробація результатів роботи.**

За результатами роботи зроблена комплексна доповідь на конференції молодих вчених, бібліографія тез яких:

1. Сергієнко В.В. Особливості застосування термоакустичних двигунів / В.В. Сергієнко, В.В. Вовк // Тези доповіді XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні», 19-30 травня 2020 р. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2020/paper/view/21678>
2. Сергієнко В.В. Забезпечення автономності газогенераторних твердопаливних котлів / В.В. Сергієнко, В.В. Вовк // Тези доповіді XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні», 19-30 травня 2020 р. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2020/paper/view/21680>

Також опубліковано статтю в збірці матеріалів конференції:

Сергієнко В.В. Модуль-генератор на базі термоакустичного резонансного двигуна / В.В. Сергієнко, В.В. Вовк // Інновації молоді в машинобудуванні (Youth Innovations in Mechanical Engineering). За заг. ред. Данильченка Ю. М. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – № 2. – 518 с., С. 67-72. – Режим доступу до ресурсу: <http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/203193>

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 41 найменувань, 56 рисунків та 18 таблиць. Основний текст дисертації викладено на 91 стор. Повний обсяг становить 115 стор.

## ЗМІСТ

ВСТУП. ....	3
РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. ....	6
1.1. Історія і принципи термоакустики. ....	6
1.2. Генератори електричного струму. ....	11
1.3. Системи термоізоляції і матеріали. ....	15
1.4. Проведення дизайнерського дослідження та аналіз художньо-конструкторських критеріїв. ....	18
1.4.1. Аналіз існуючих художньо-конструкторських рішень. ....	19
1.4.2. Узагальнена конструкція котла. ....	24
1.4.3. Основні критерії та особливі вимоги до технічного завдання. .	26
1.4.4. Пропозиція нового дизайн-конструкторського рішення. . . . .	27
РОЗДІЛ II. КОНСТРУКТОРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ....	30
2.1. Розробка конструкції системи керування котлом. ....	30
2.2. Розробка конструкції блоку керування. ....	31
2.3. Розробка конструкції дроселя. ....	37
2.4. Модуль-генератор. ....	43
2.4.1. Вихідні параметри та умови експлуатації установки. ....	43
2.4.2. Розрахунки ядра генератора. ....	44
2.5. Проектування турбіни. ....	46
2.6. Динамічні симуляції потоків газу в турбіні та дросельному вузлі. .	48
РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ....	51
3.1. Технологічне забезпечення виготовлення теплообмінників. ....	51
3.1.1. Вибір інструментального забезпечення та обґрунтування вибору конструкційного матеріалу. теплообмінників. ....	53
3.1.2. Технологічний процес отримання теплообмінника. ....	54
3.2. Технологічне забезпечення виготовлення котла. ....	56
3.3. Технологічне забезпечення виготовлення статора турбіни. ....	60
3.4. Прототип системи керування з обмеженим функціоналом. ....	63
3.4.1. Виготовлення механічних частин спрощеного прототипу системи керування. ....	63

3.4.2. Спрощений прототип електронної частини системи керування..	67
РОЗДІЛ IV. СТАРТАП-ПРОЕКТ. ....	70
4.1. Ідея проекту. ....	70
4.2. Розробка ринкової стратегії продукту. ....	79
4.3. Маркетингова програма стартап-проекту. ....	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ. ....	84
Список використаних джерел.. ....	88
ДОДАТОК А. Матеріали презентації . ....	92

## ВСТУП

Цей проект можна розділити на дві логічні частини: модуль-генератор та сам котел. Варто розуміти, що модуль не є ключовим елементом для цього продукту, оскільки, його вплив на кінцеву вартість може стати вирішальним у випадку менш платоспроможних ринків, які є доволі значною нішею цієї продукції. Крім того, конфігурація котла передбачає можливість виготовлення двох моделей: з модулем-генератором та без нього. Тому, щоб забезпечити вигідні позиції, цій установці необхідно мати ще якісь особливості, окрім привабливого дизайну. А що може бути краще за збільшення ККД і зменшення шкідливого впливу на довкілля?

Зазвичай для підтримання стабільних режимів роботи системи автоматики подібних котлів використовують лише керування двигуном турбіни примусової тяги. Але навіть якщо котел налаштований вручну на оптимальні режими роботи упродовж усього циклу, тобто на усереднені показники у кінці та на початку процесів газогенерації, а також залежно від палива, ці налаштування можуть бути не оптимальними. Якщо навести аналогію з автомобільними двигунами, то звичайний котел – це карбюраторний двигун, а газогенераторний котел – інжекторний, оскільки подача горючих газів має бути окремим процесом. Єдина відмінність – відсутність адаптивних систем керування цією подачею, як в інжекторних двигунах, і, як наслідок, ми отримуємо досить плаваючу ефективність роботи, нижчу, ніж та, якою вона могла б бути, якщо додати електронне керування.

Модуль-генератор побудований на основі термоакустичного двигуна. Насамперед, глобальна перевага термоакустичного двигуна над будь-яким іншим видом двигунів – глобальна мінімізація кількості рухомих елементів, що призводить до зменшення механічних втрат і збільшення ресурсу роботи.

Ідея застосування термоакустичного двигуна як доповнення до традиційного котла для забезпечення всіх енергетичних потреб домогосподарств не нова, прикладом цього є американський проект



NIRVANA [4]. Але при його розробці було допущено ряд концептуальних помилок, через що він не зміг вийти на ринок. Серед них можна виділити нереалістичні характеристики, малі габарити у поєднанні з високими вимогами до деталей і головне – використання в якості палива газу, що є економічно не вигідним. Також є кілька схожих проектів генераторів на двигунах зовнішнього згоряння різних типів. Головний недолік подібних проектів – ці виробництва одиничні, і як наслідок – вартість одиниці їхньої продукції перевищує вартість десяти, а то і більше, аналогічних, виготовлених серійним методом, з залученням іноземних виробничих потужностей та грамотно організованої логістики.

Розвиток термоакустики є доволі перспективним напрямком, оскільки ця технологія має значну кількість переваг, основні з яких – ефективність, що може досягати 50% ефективності циклу Карно [2], та можливість працювати на низькопотенційних джерелах тепла. Оскільки технологія доволі “молода”, вона ще не має поширеного застосування у повсякденному житті, проте поступово набуває все більш практичного застосування у космічній галузі [3], у побутових приладах, оскільки холодильники, які працюють безшумно і мають термін служби понад 10 років, не потребують фреону і цим сприяють збереженню екології, не можуть бути не популярними.

З іншого боку, застосування зворотного ефекту такого широкого розповсюдження не набуло. Причин тому може бути багато, але з того моменту, як Aster Thermoacoustics у 2014 році запропонували використовувати двонаправлену турбіну замість лінійних альтернаторів, цей напрям став значно ефективніше розвиватися, оскільки використання турбіни зменшило вагу, вартість і габарити установок, натомість значно збільшило їх ККД.

Робота спрямована на створення проекту та виробництва газогенераторних твердопаливних котлів, обладнаних модулем генератора на базі термоакустичного резонансного двигуна. При спрямуванні на реалізацію масового виробництва таких котлів, собівартість котла збільшиться лише на 15-25% порівняно з аналогічними, не обладнаними подібним модулем. Проте

при цьому котел стане повністю автономним (такий тип котлів потребує електричної енергії для штучної продувки, живлення автоматики та циркуляційних насосів) і, крім того, зможе задовольнити також і потребу в електроенергії середньостатистичного українського домогосподарства. Така енергетична незалежність приватних господарств в осінньо-зимній період може доповнюватись сонячною енергетикою влітку, що дозволить пришвидшити процес глобальної децентралізації енергопостачання.

## РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.

### 1.1 Історія і принципи термоакустики.

Найтиповіший приклад термоакустичного ефекту, який ви з великою вірогідністю могли спостерігати раніше – гудіння труб водопостачання у старих будинках. Першим сформулював принцип термоакустичного ефекту Джон Реєль: “Якщо під час максимального стиснення газу передавати тепло, а під час найбільшого розрідження тепло забирати – це породжує акустичні коливання”. У 1964 році зворотній ефект було досліджено Гріффордом і Лонгсвортом, який можна було сформулювати як “перетворення енергії акустичної хвилі в градієнт температур. На основі цих досліджень вони створили холодильну установку, яка дозволила отримати температуру в 124К і була названа “Basic Pulse Tube Refrigerator”.

Ця технологія набуває все більшого практичного застосування як в космічній галузі, так і в побутових приладах, оскільки холодильники, які працюють безшумно, мають термін служби понад 10 років і не потребують фреонів, чим безперечно сприяють збереженню екології, не можуть бути не популярними.

З іншого боку, зворотній ефект такого широкого розповсюдження не набув. Причин тому може бути багато, але точно можемо сказати, що з того моменту, як Aster Thermoacoustics [1] в 2014 році запропонували використовувати двонаправлену турбіну замість лінійних альтернаторів, ця тема стала значно ефективніше розвиватися, оскільки використання турбіни зменшило вагу, вартість і габарити установок, натомість значно збільшило їх ККД.

Окрім Aster Thermoacoustics, можна виділити ще кілька проектів NASA, які згадуватимуться нижче, а також американський стартап NIRVANA.

Термоакустичний двигун з мандрівною хвилею – це тепловий двигун, що перетворює теплову енергію в акустичну енергію.

Мандрівна хвиля (рис. 1.1) – це така хвиля, що рухається в пружному середовищі і переносить енергію.

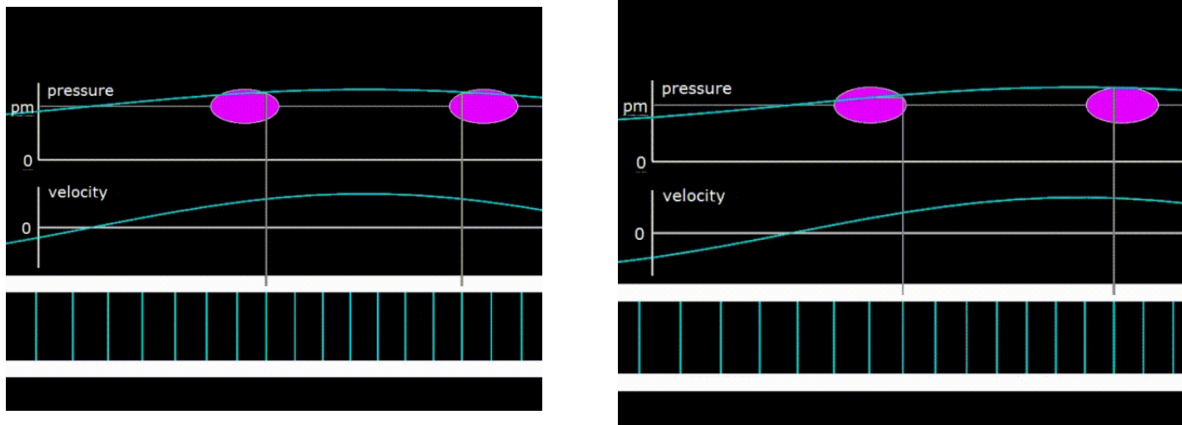


Рис. 1.1. Мандрівна хвиля [1].

У термоакустичному двигуні мандрівна хвиля рухається по закільцьованому резонатору. При цьому довжина хвилі рівна довжині резонатора. Перенесення енергії відбувається у напрямку руху хвилі. Якщо хвиля не рухається, то така хвиля називається стоячою (рис. 1.2).

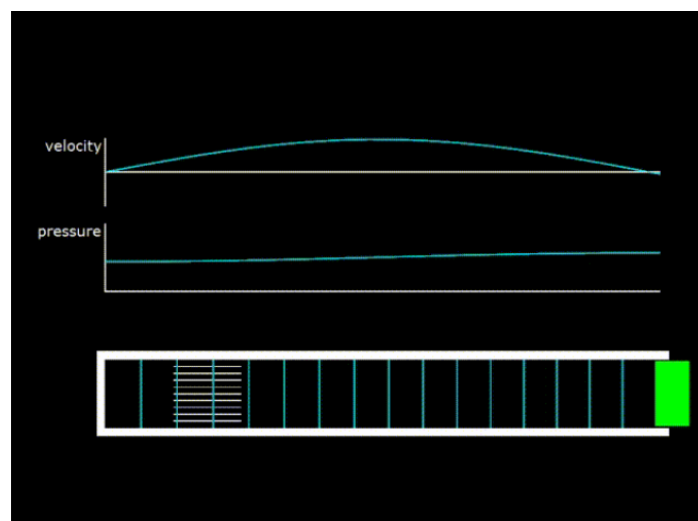


Рис. 1.2. Схема термоакустичного приладу зі стоячою хвилею [1].

Варто розуміти, що в реальних термоакустичних приладах не може бути суто стоячої чи суто мандрівної хвилі, натомість отримується щось, що виявляє ознаки обох. Класифікувати хвилю можна за тим, ознаки якої хвилі переважають.

Тепер, коли ми розібрали основні положення, можна сказати, що ж таке термоакустичний двигун. Термоакустичний двигун являє собою пристрій, корпус якого має вигляд закільцьованої труби (рис. 1.3). Його робоча частина містить як мінімум два теплообмінника: один гарячий, один холодний, пристрій для зйому акустичної енергії, наприклад лінійний альтернатор, чи турбіна, регенератор (Під час частини термодинамічного циклу регенератор поглинає тепло і вивільняє це тепло протягом іншої частини циклу. При робочій частоті 50 Гц доступний час для повного циклу складає всього 0,02 секунди. Це тимчасове зберігання дозволяє велику різницю температур між обома теплообмінниками. Низька теплопровідність через регенератор є необхідною умовою. Крім того, опір потоку слід мінімізувати, щоб уникнути надмірного ослаблення хвиль. Характерним параметром регенератора є теплова постійна часу. Це визначається як час, необхідний газу для прийняття температури регенератора. Якщо цей час набагато менший за час повного циклу, термодинамічний процес стає майже оборотним, що є необхідною умовою високої ефективності. [1]. Теоретична ефективність такого двигуна може бути рівною ефективності циклу Карно, хоча фактична ефективність, що досягається, рівна 40-50% [1].

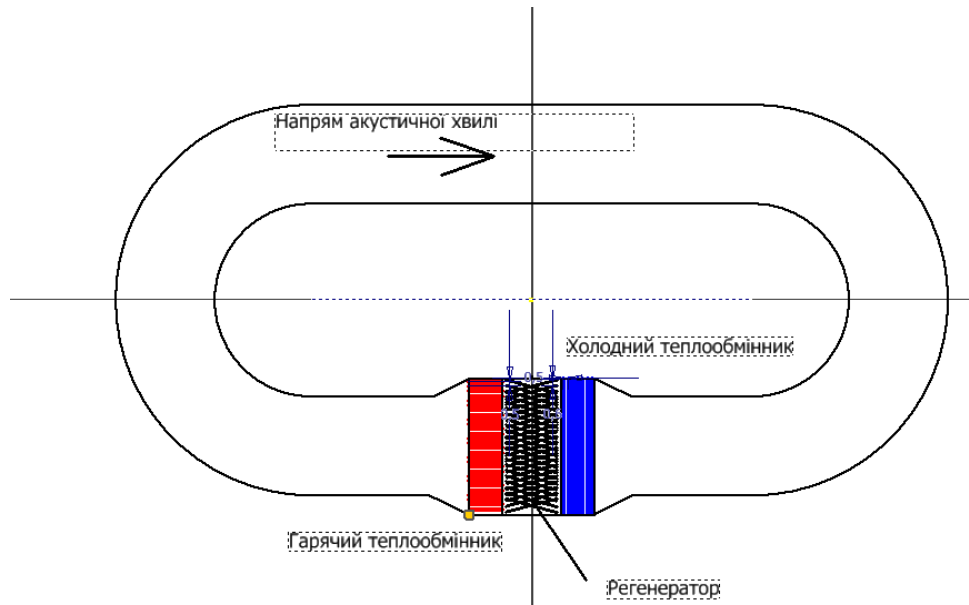


Рис. 1.3. Принципова схема термоакустичного двигуна.

Починаючи з моменту мінімального тиску ( $t = 0$ ), газ буде стискатися акустичною хвилею. У мандрівній хвилі витіснення газу на чверть періоду відстає від амплітуди тиску. Від цього газ на початку стиску ( $t = 0$ ) знаходиться в рівноважному (середньому) положенні ( $U_0$ ). Під час стиснення газ рухається вліво ( $-U$ ). Оскільки існує максимальна тепловіддача (ізотермічне поширення), тепло ( $Q_1$ ) виділяється до регенератора зліва від положення рівноваги. У другій половині циклу усе відбувається навпаки. Під час розширення газ рухається вправо ( $+dU$ ) від положення рівноваги, локально витягуючи тепло ( $Q_2$ ) з регенератора. Таким чином, повний цикл, керований хвилею, що рухається, включає компресію та нагрівач ( $Q_1$ ) з лівого боку ( $-dU$ ) при високій температурі ( $T_1$ ) з подальшим розширенням та відведенням тепла ( $Q_2$ ) праворуч ( $+dU$ ) при низькій температурі ( $T_2$ ). [1] Цей процес зображено на рисунку 1.4.

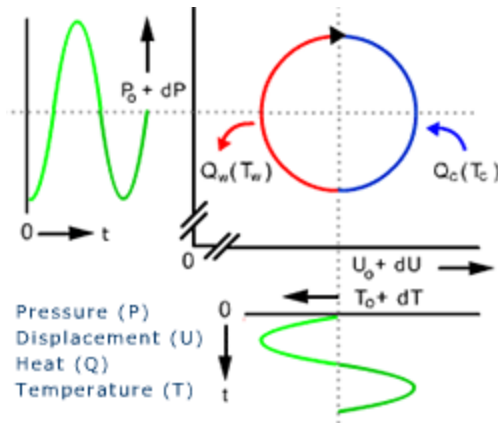


Рис. 1.4. Опис циклу в термоакустичному двигуні [1].

Термодинамічний процес насправді контролюється мандрівною хвилею. Щоб мінімізувати втрати та створити якомога потужнішу хвилю, потрібна акустична резонансна схема. Цей резонатор можна порівняти з органною трубою. Частота залежить від її довжини: чим довше труба, тим нижча частота. Потужність залежить від площі поперечного перерізу. Крім того, резонатор функціонує як корпус для частини двигуна. [1]

Порція газу рухається вперед і назад у вузькій частині пристрою. У результаті, тиск на обох кінцях змінюється протилежним чином, створюючи періодичне стиснення і розширення газу. Завдяки конкретній формі корпусу та двох обхідних трубок співвідношення між амплітудою тиску та швидкістю газу встановлюється на таке значення, щоб оптимізувати термодинамічний цикл як регенератора, так і теплообмінників. Функцію резонатора можна порівняти з маховиком у звичайних двигунах. Акустична потужність у системі пропорційна середньому тиску та амплітуді тиску у квадраті. Середній номінальний тиск становить від 5 до 40 бар. [1]

Щоб узагальнити, можна сказати, що використання термоакустичних двигунів має надзвичайно широкий спектр, у тому числі і для утилізації низькопотенціальної теплової енергії. На ефективність двигуна впливають

такі чинники, як дельта температур холодного і гарячого теплообмінників, тиск у системі, гідродинамічний опір системи, вид газу, що є робочим тілом.

## **1.2. Генератори електричного струму.**

Генератори електричного струму класифікують за кількома ознаками. У першу чергу генератори електричного струму можуть бути лінійними та ротаційними, далі класифікація поділяє їх на генератори змінного (інша назва – альтернатори) та генератори постійного струму, синхронні та асинхронні, а також самозбуджувані та незалежно-збуджувані генератори.

Генератори постійного струму, з огляду на більш складну конструкцію, зустрічаються значно рідше. При цьому, навіть незважаючи на втрати на діодах Шотткі, ККД генераторів змінного струму після випрямлення може перевищувати ККД генераторів постійного струму.

Як механізм перетворення акустичної енергії на електричну довгий час застосовувалися лінійні альтернатори (рис.1.5). Очевидний їхній недолік – інерція рухомої частини, а також тертя, значно знижували ККД електричних генераторів на базі термоакустичних двигунів. Другий недолік – значний габарит і неможливість встановлення їх в зонах з найвищою енергії хвилі. У сумі це робило недоцільним створення термоакустичних генераторів великої потужності, що глобально обмежувало сферу використання цієї технології.



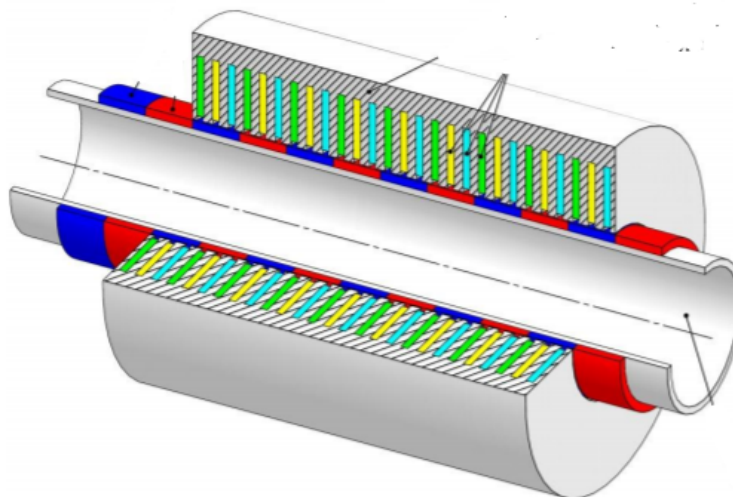


Рис. 1.5. Лінійний альтернатор. [5]

Відносно нещодавно Aster Thermoacoustics запатентували двонаправлену турбіну, принцип якої буде описаний нижче. Це дозволило перетворити змінні пульсації повітря всередині резонатора у постійне обертання турбіни. Це дозволило уникнути недоліків лінійних альтернаторів, застосовувати більш ефективні ротаційні альтернатори, збільшити ККД генераторів в цілому, значно зменшити їх габарити та вартість. З моменту винаходу цієї турбіни з'явилося ледь не більше робіт на тему термоакустики, ніж за весь попередній період з моменту відкриття цього ефекту.

Отже, на турбіну може бути встановлений ротор синхронного чи асинхронного генератора.

Синхронні (рис. 1.6) (колекторні) генератори електричного струму значно популярніші, оскільки мають меншу вагу і габарити, порівняно з асинхронними. Передусім, до їхніх мінусів можна віднести наявність щіток, які зношуються швидше, ніж інші рухомі елементи генератора. Також наявність електричного контакту, що механічно переривається, призводить до іскрових розрядів, що спричиняє викид електромагнітних шумів, а також додаткові втрати. До того ж, синхронні машини проявляють відмінні властивості в умовах змінних навантажень (рис. 1.7).

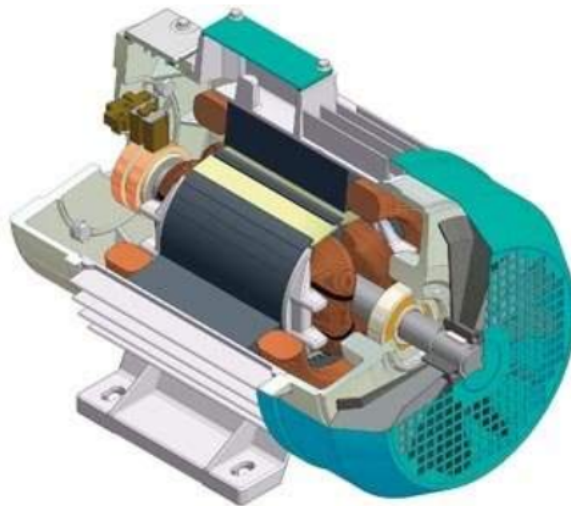


Рис. 1.7. Синхронний двигун в розрізі. [7]

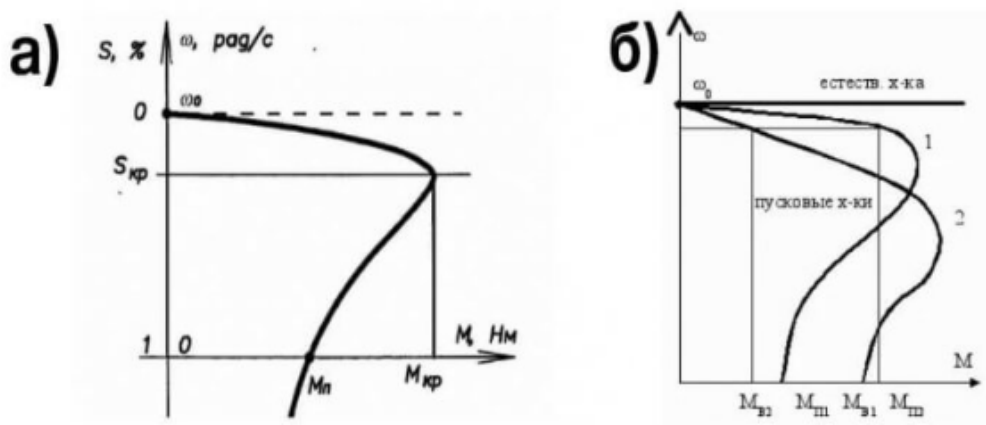


Рис. 1.6. характеристики синхронного двигуна. [6]

Класичні асинхронні генератори мають ротор з магнітопроникного матеріалу (рис. 1.8). Їхні габарити значно менші за габарити асинхронних генераторів з аналогічними характеристиками.

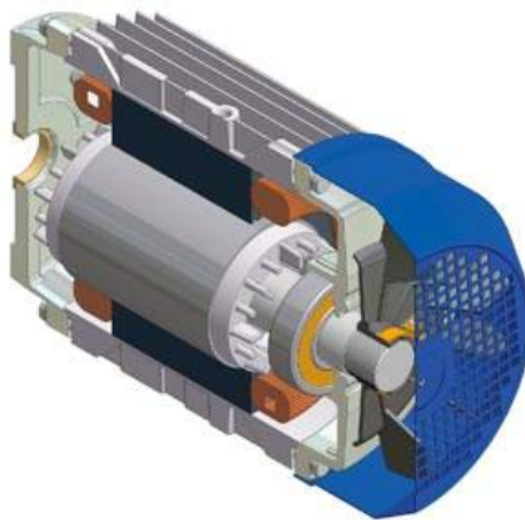


Рис. 1.8. Асинхронний двигун в розрізі. [7]

У наш час значної популярності набувають BLDC двигуни (рис. 1.9). Таке рішення дещо збільшило загальну вартість синхронних машин, але дозволило глобально зменшити їхні габарити і витіснити асинхронні двигуни в механізмах, де важливі розміри і вага.



Рис. 1.9. Безколекторний двигун малої потужності на феритовому магніті. [8]

Таким чином для термоакустичного генератора є сенс використовувати тільки безколекторні двигуни, оскільки щітки колекторних двигунів

анулюють одну з глобальних переваг термоакустичного генератора – майже повну відсутність потреби в обслуговуванні. Асинхронні двигуни з якорем з магніто-провідного матеріалу мають надто великі габарити, тому використовуватись буде саме сучасна синхронна машина з ротором з неодимових магнітів. Єдина проблема, яка може виникнути – низька точка Кюрі магнітів з рідкоземельних металів (неодимові магніти 80-200 градусів, самарій-кобальтові 250-500 градусів), тому важливо переконатись, що альтернатор не буде нагріватися до температур, вищих за допустимі.

### **1.3. Системи термоізоляції і матеріали.**

Теплоізолюючі матеріали можна класифікувати за наступними параметрами:

За типом сировини: органічні (на основі натуральних матеріалів або на основі спінених полімерів, останні набули зараз значного поширення і застосовуються у багатьох сферах, в тому числі у “сендвіч” композиціях) і неорганічні (на основі азбесту, мінеральних волокон, горних порід та шлаку).

За формою: тверді (плити і панелі), гнучкі (мати, джгути, шнури) та сипучі (вата, перлітовий пісок, тощо).

За структурою: волокнисті (скловолокно, мінеральна вата), зернисті (перліт) та пінисті (пінобетон).

За теплопровідністю: клас А (до 0,06 Вт/м·К), клас Б (0,06-0,115 Вт/м·К) і клас В (0,115-0,175 Вт/м·К).

Також класифікуються за щільністю, жорсткістю і призначенням, але в контексті роботи ці характеристики не є актуальними.

У конструкції котла наступні вузли повинні мати низьку теплопровідність:

1 – дверцята котла (температура до 600 градусів, обмежена товщина ізоляції);

2 – сопло первинної камери котла (температура до 700 градусів, важливу роль також грають механічні властивості і опір ерозії);

3 – вторинна камера котла, де відбувається безпосереднє згоряння (температури можуть навіть перевищувати 800 градусів, достатня механічна міцність);

4 – зовнішній кожух котла (температури до 100 градусів, оскільки можливі контакти з джерелами більш високих температур; є сенс зробити цю теплоізоляцію багатошаровою, основна вимога – висока теплоізоляція);

5 – теплоізоляція гарячої зони термоакустичного двигуна (температури до 400 градусів, жорсткі вимоги до теплопровідності);

6 – прокладки з'єднань труб двигуна (висока механічна стійкість, щоб витримувати значний тиск у системі, при цьому максимально низька теплопровідність).

1 – Для термоізоляції цього вузла оптимально буде використовувати піноскло (рис. 1.10). Це негорючий матеріал з дуже низькою теплопровідністю 0,037 - 0,044 Вт/м·К. Піноскло тверде та має міцність на стиск до 1,6 МПа. Щільність цього матеріалу до 180 г/дм<sup>3</sup>. Температурна стійкість до 1000 градусів. [10]

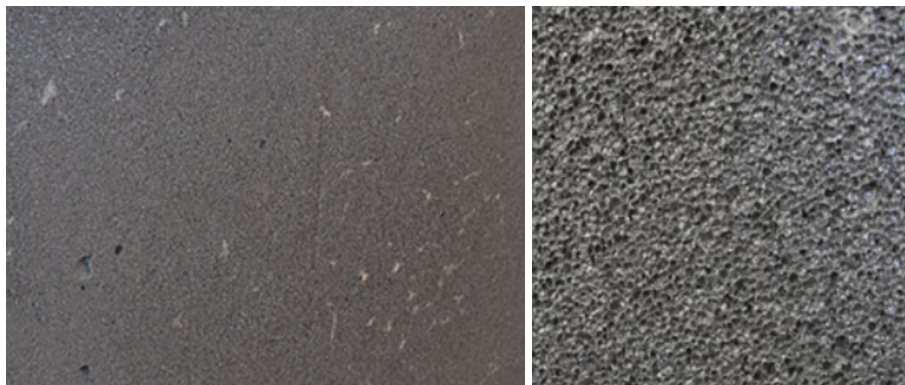


Рис. 1.10. Зовнішній вигляд та структура піноскла. [9]

2 – як матеріал для виготовлення цього елемента найдоцільніше буде використати алюмосилікатну суміш (шамотний вогнетрив), основними

складовими якого є діоксид кремнію та оксид алюмінію. Цей матеріал витримує температуру до 1350 градусів, має щільність приблизно 1,85 кг/дм<sup>3</sup>, теплопровідність 1,02 Вт/м·К (за температури 500 градусів). Міцність на стиск у середньому 6 МПа. [11]

3 – як матеріал для виготовлення цього елемента також найдоцільніше буде використати алюмосилікатну суміш, але з органічними добавками, які під час спікання вигорають, утворюючи пінисту структуру. Таким чином, отриманий матеріал має температурну стійкість до 1300 градусів Цельсія, середню щільність близько 0,5 кг/дм<sup>3</sup>, теплопровідність 0,5 Вт/м·К, міцність на стиск в середньому 2,5 МПа. [11]

4 – для зовнішнього контуру котла доцільно застосовувати мінеральну вату. Види мінеральної вати наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Види і характеристики мінеральної вати. [12]

Характеристика	Шлаковата	Скловата	Кам'яна вата
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м <sup>2</sup> *К)	0,46 – 0,48	0,038 – 0,046	0,035 – 0,042
Діапазон температур використання, °С	- 60 ... 250	-60 ... 450	-180 ... 600
Коефіцієнт звукопоглинання	0,75 ... 0,82	0,8 ... 0,92	0,75 ... 0,95
Вологопоглинання, (% от массы за 24 ч)	< 1,9	< 1,7	< 0,095
Теплоємність, Дж/кг*К	1000	1050	1050

За усіма характеристиками кам'яна, або, як її частіше називають, базальтова вата, ліпша за інші варіанти. Однак, не це є причиною вибору саме її, хоча

вона і найдорожча серед варіантів. Скловата має тенденцію до злежування, а шлаковата при потраплянні вологи виділяє кислі сполуки, які спричиняють корозію металу. Таким чином, використання саме базальтової вати значно збільшить ресурс використання котла.

5 – для теплоізоляції цього вузла найперспективніше буде застосовувати склокартон, попередньо просочивши його кремнійорганічним клеєм можна зробити розбірні кожухи. Крім того, на основі цього матеріалу виготовляють пластини з наповненням з аерогелю. Вони мають переваги у вигляді зменшеної теплопровідності (до  $0,023 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ), а також вологовідштовхуючі властивості, тому їх теплопровідність не залежить від вологості повітря.

6 – як матеріал для виготовлення прокладок можна використовувати пароніт та політетрафторетилен. Останній має майже вдвічі нижчу теплопровідність ( $0,22 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ) та більшу міцність, але і більшу вартість; при цьому, він зберігає свої властивості до температури 290-320 градусів, залежно від марки.

#### **1.4. Проведення дизайнерського дослідження та аналіз художньо-конструкторських критеріїв.**

Художньо-конструкторський аналіз полягає в дослідженні ринку, з подальшим визначенням вимог і характеристик до конкретного продукту. По суті, у загальному плані, цей аналіз є глобально одним з перших пунктів розробки будь-якого продукту. Першим пунктом є затвердження необхідності розробки продукту. Другим – художньо-конструкторський аналіз.

На основі цього аналізу створюється подальше технічне завдання до всього проекту. Виставляються вимоги та критерії продукту. Приходить більш

чітке розуміння, чи потрібен такий продукт ринку, чи є шанси зайняти на ньому нішу і чи зацікавлені в ньому споживачі.

Таким чином загальні цілі аналізу:

1. Дослідити ринок.
2. Вивести узагальнену конструкцію.
3. Сформулювати основні критерії та особливі вимоги до подальшого технічного завдання.
4. Створити нове конкурентне рішення.
5. Зробити висновки про актуальність продукту і проекту в цілому.

#### **1.4.1 Аналіз існуючих художньо-конструкторських рішень.**

Початковим етапом будь-якого аналізу слугує дослідження існуючих рішень для того, щоб мати уявлення про типові конструкції, функціонал та зовнішній вигляд продуктів.

Оскільки цей аналіз є частиною великої роботи, було розглянуто десятки моделей з різними характеристиками і функціоналом, а також споріднені продукти, що так чи інакше можуть використовуватися для тих же цілей, що і предмет дослідження.

У процесі аналізу ринку були відібрані три найдосконаліші газогенераторні котли, що сильно виділяються на фоні інших тою чи іншою характеристикою. За рівнем художньої досконалості (і за дуже дивним збігом обставин, за ціною) ці котли розташовані по порядку: від кращого до гіршого. Тож, на мою думку, глобально найдосконаліший варіант на ринку:



Viadrus Hefaistos P1 3 (рис. 1.11), виробництва Чехії. [13]

Визначальні характеристики:

1. Досконалий органічний дизайн.
2. ККД вищий, ніж у конкурентів.
3. Два контури.
4. Унікальна система сопел.
5. Відносно малі габарити.
6. Оригінальна конструкція та дизайн.
7. Рітейлова ціна 3650 USD.

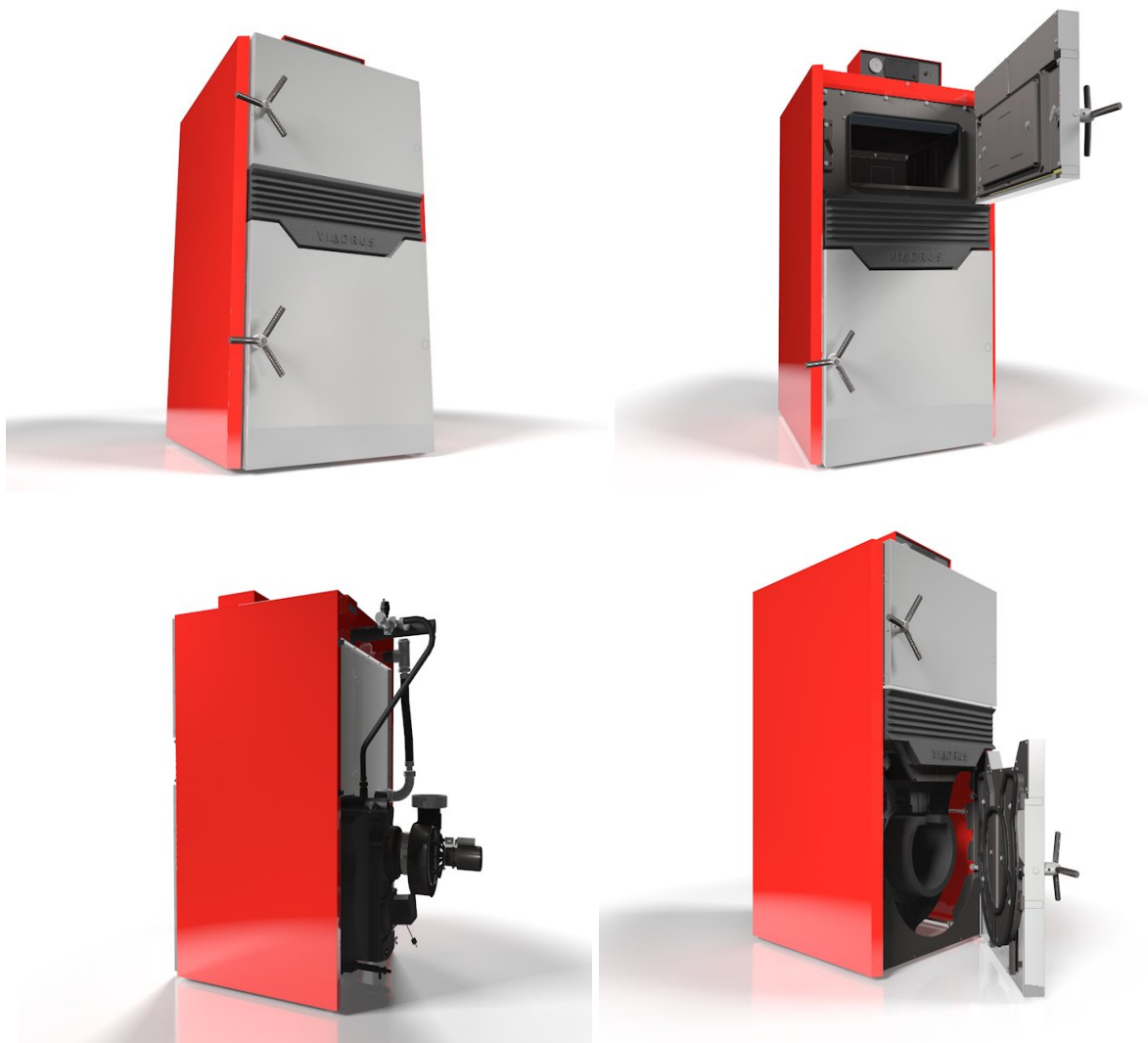


Рис. 1.11. Viadrus Hefaistos P1. [13]

Технічні характеристики:

- Теплова потужність – 12-30 кВт.
- Матеріал корпусу – сталь.
- Продувка – примусова.
- Вага – 584 кг.
- Габарити – 1541х833х1167 мм.
- ККД – 85%
- Монтаж – на підлозі.
- Споживана електрична потужність – 180 Вт.
- Об'єм бункера – 99 л.
- Максимальна кількість споживання палива – 8 кг/год.

Bosch Solid 5000 W-2 (рис. 1.12), виробництва Німеччини. [14]



Рис. 1.12. Bosch Solid 5000 W-2. [14]

#### Технічні характеристики:

- Теплова потужність – 8-21 кВт.
- Матеріал корпусу – сталь.
- Процес горіння – піроліз.
- Продувка – примусова.
- Вага – 310 кг.
- Габарити – 1257х623х753 мм.
- ККД – 85%
- Монтаж – на підлозі.
- Споживана електрична потужність – 50Вт.
- Об'єм бункера – 66л.
- Максимальна кількість споживання палива – 5,67 кг/год.
- Рітейлова ціна – 2400 USD.

#### Визначальні характеристики:

1. Своєрідний дизайн, з легкою алюзією на космічну техніку з фантастики 80-х.
2. Проста конструкція, без зайвих ускладнень.
3. Доволі популярна конструкція. Деякі фірми виготовляють аналогічні котли, з мінімальними змінами в дизайні.
4. Достатній функціонал.

ATMOS DC 25 S (рис. 1.13), виробництва Чехії. [15]



Рис. 1.13. ATMOS DC 25 S. [15]

Визначальні характеристики:

1. Грубий дизайн.
2. Дешеве фарбування.
3. Пропрацьованість, помітна серійність виробництва.
4. Найпопулярніший котел, не має аналогів по відношенню ціна/функціонал.
5. Рітейлова ціна – 1600 USD.

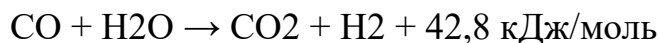
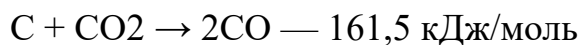
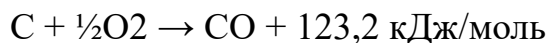
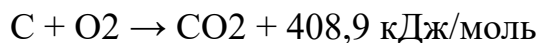
Технічні характеристики:

- Теплова потужність – 25 кВт.
- Матеріал корпусу – сталь.

- Продувка – примусова.
- Вага – 326 кг.
- Габарити – 1120x590x950 мм.
- ККД – 80-92%
- Монтаж – на підлозі.
- Споживана електрична потужність – 50Вт.
- Об'єм камери – 100 л.
- Максимальна кількість споживання палива – 6 кг/год.

#### **1.4.2. Узагальнена конструкція котла.**

Формально, у газогенераторних котлах відбувається процес газифікації деревини, частиною якого і є піроліз. У ході цього процесу утворюється горючий синтез-газ і зольний залишок. Якщо виключити процеси піролізу, то основні процеси, що протікають під час газифікації наступні:



Для таких котлів можуть застосовуватися різні види палива: деревина, пелети, вугілля, мазут, кокс тощо.

Ці котли мають назву “котли двоступінчастого горіння”, оскільки вони розділені на дві камери. У першій паливо горить в умовах нестачі кисню, а в другій – синтез-газ з першої камери змішується з атмосферним повітрям для

повного згоряння. Як вже було зазначено, обов'язковою складовою частиною цих котлів є вентилятор, оскільки повітрю доводиться долати значний аеродинамічний спротив у цьому котлі. Основні продукти газифікації – вуглеводні, чадний газ та водень.

Принципова схема такого котла представлена на рисунку 1.14, на ній зображено:

- 1 - паливо;
- 2 - первинне повітря;
- 3 - вторинне повітря;
- 4 - вихідні гази;
- 5 - вхід води;
- 6 - вихід води;
- А - камера газифікації;
- В - колосник з форсункою;
- С - вторинна камера, де відбувається безпосередньо горіння;
- Д - газопровід;
- Е - вузол, що створює штучну тягу (димосмок).

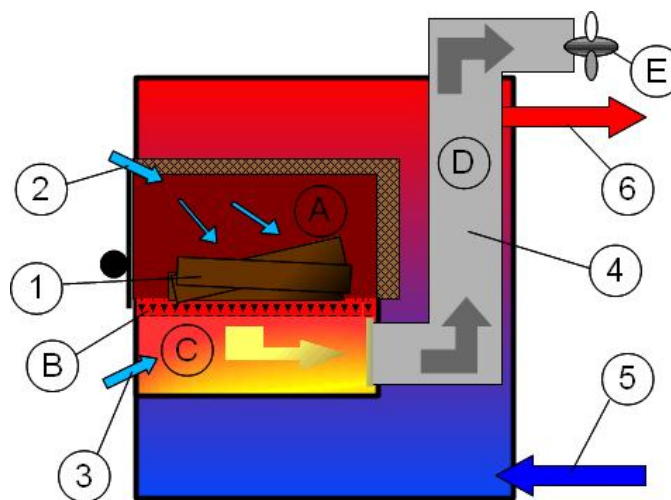


Рис. 1.14 - Схема газогенераторного котла. [16]

Таким чином паливо (1) завантажується у камеру (А), де за умови обмеженої подачі кисню газифікується, з виділенням частини теплоти та горючих газів, котрі через форсунку (В) потрапляють у вторинну камеру (С), де змішуються з вторинним повітрям (3) і згорають при доволі високій температурі. Вихідні гази (4) по газопроводу (D), що оточений охолоджуючим водяним кожухом, видаляються з котла.

### **1.4.3. Основні критерії та особливі вимоги до конструкції.**

Таким чином, найпоширеніші особливості серед конкурентів наступні:

1. Принципова конструкція відповідно до пункту “2” роботи.
2. Камера завантаження палива має бути достатнього розміру для ефективної роботи котла, але такою, що враховує наявність додаткового бункеру, з якого буде реалізована подача палива. Таким чином, її розмір може бути меншим, ніж у конкурентів.
3. Високий ККД від 85%.
4. Наявність захисту від перегріву котла.
5. Застосування вогнетривких матеріалів.
6. Вмонтований термостат.
7. Якісне футерування.

Для того, щоб якісно відрізнитись, наш продукт матиме додаткові переваги у вигляді:

1. Системи газоаналізації вихідних газів.
2. Компютеризовану систему керуванням подачі первинного та вторинного повітря.

3. Збільшений ККД за рахунок іншої конфігурації теплообмінника та системи подачі повітря, що забезпечить повніше згоряння палива.
4. Модуль електрогенерації на базі термоакустичного двигуна.
5. Систему резервного живлення.
6. Опційно – бункер подачі пелет з системою попередньої сушки.

#### **1.4.4. Пропозиція нового дизайн-конструкторського рішення.**

У результаті дослідження було розроблено новий дизайн та конструкцію газогенераторного котла (рис. 1.15, 1.16, 1.17). Як варіант назви було взято “TherMoauUA”, що є вибіркоким скороченням літер зі слова Thermoacoustics, та, власне, країни походження дизайнера.



Рис. 1.15. Рендер зовнішнього вигляду продукту.





Рис. 1.16. Рендер термоакустичного модуля.

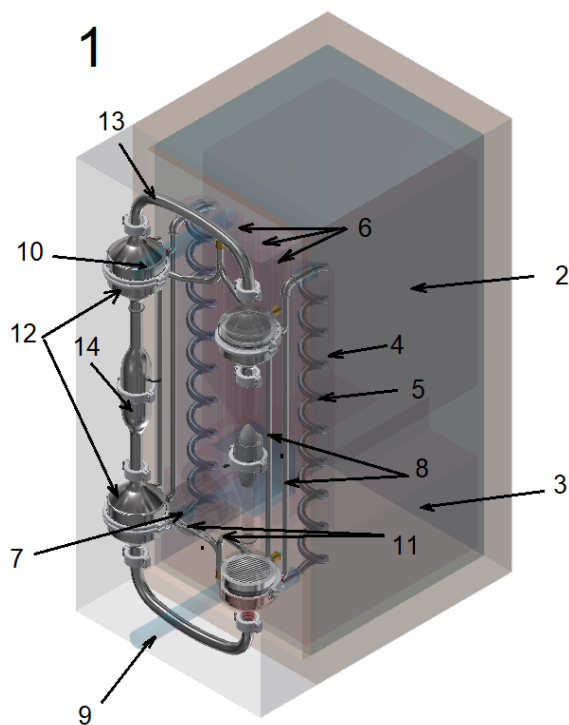


Рис. 1.17. Схема котла.

Конструктивно цей котел (1) може бути реалізований наступним чином (Рисунок 1): в бункер (2) подається тверде паливо, яке за умови нестачі кисню газифікується і остаточно спалюється в камері (3); розігрітий до температури близько 600 градусів Цельсія газ проходить крізь корпус первинного теплообмінника (4), при цьому нагріваючи робочу рідину у спіральному теплообміннику (5). Газ віддає частину тепла, після чого потрапляє у вторинний теплообмінник (6), де остаточно охолоджується. Забезпечує відвід газу турбінний насос (7), що створює тиск близько 25 Па. Робоча рідина з теплообмінника (5) потрапляє у магістраль (8), що має забезпечуватися конвекційним рухом рідини. Холодна вода підводиться до кожуху охолодження котла крізь вхідну трубу (9), а відводиться крізь вихідну трубу (10). До цих труб під'єднані (11) виходи холодних теплообмінників ступеней двигуна. У ступенях (12) за вищеописаним принципом виникають акустичні хвилі, резонансна частота яких відповідає довжині резонатора (13). Акустична енергія перетворюється в електричну за допомогою двонаправлених турбін (14).

## **РОЗДІЛ II. КОНСТРУКТОРСЬКЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.**

### **2.1. Розробка конструкції системи керування котлом.**

Для забезпечення ефективного керування процесом горіння нам необхідно наступне:

1 – Два дросельні вузли з можливістю відстежування кута повороту сервоприводів (в якості енкодера достатньо буде використати змінний потенціометр) і, бажано, щоб вони мали можливість масштабування. Як оптимальний розглядаю варіант використання механізму типу “штори”.

2 – Лямбда Зонд для отримання якісного аналізу складу вихідних газів.

3 – Три набори термопар: перший – для контролю температури в камері газогенерації, що покликаний запобігти самозгасанню палива, другий – для аналізу температури полум'я у вторинній камері, третій – для контролю температури вхідної та вихідної води.

4 – Система контролю масової витрати води.

5 – Блок керування, що матиме наступні функції:

- Збір та аналіз даних з датчиків.
- Керування дроселями та турбіною примусової продувки.
- Інтерфейс керування.
- GSM та Wifi модулі для інтеграції у систему розумного будинку, а також для збирання та аналізу даних про використання котла.
- Керування циркуляційним насосом.
- Системи захисту та безпеки.

Принципова схема розташування цих елементів представлена на рисунку 2.1.

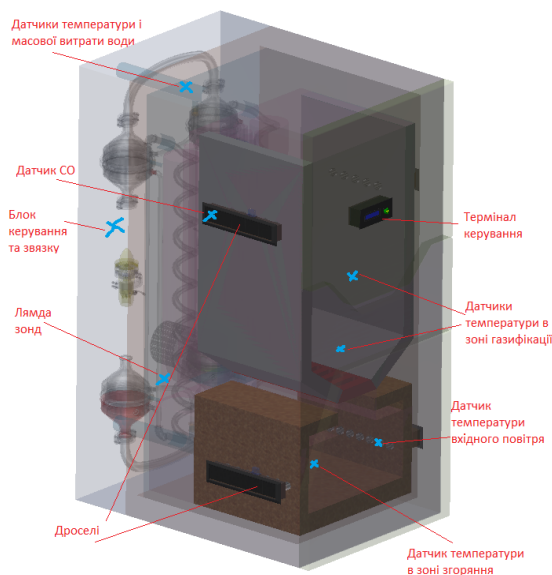


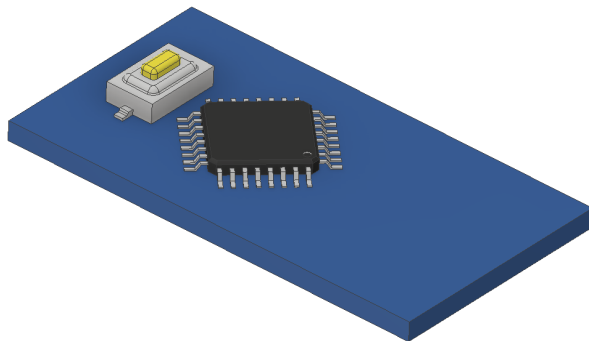
Рис. 2.1. Принципова схема розміщення частин системи управління.

## 2.2. Розробка конструкції блоку керування.

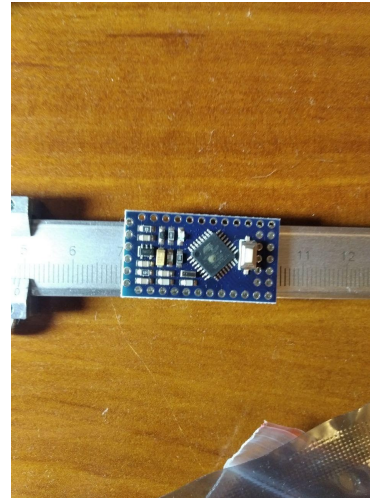
Оскільки для розробки повноцінного контролера необхідні специфічні знання та навички, які не є профільними для мого освітнього напрямку, і освоєння цих навичок зайняло б надто багато часу, було прийняте рішення використовувати для проекту готові модулі Arduino, для яких є достатня кількість існуючих бібліотек, а сам процес програмування спрощений відносно, наприклад, STM.

Одразу після підбору і покупки комплектуючих, ті з них, які будуть застосовуватись для виготовлення прототипу і повинні бути якось зафіксовані у корпусі, були перенесені у спрощеному вигляді в САПР.

В основу блока керування було покладено модуль Arduino Mini Pro (рис 2.2 (б)). І його 3D модель (рис 2.2 (а)).



а)



б)

Рис. 2.2. Фото (б) і 3D модель (а) Arduino Mini Pro.

Для забезпечення живлення усієї системи необхідний стабілізований струм 5V. Якщо струм буде не стабілізований, велика вірогідність того, що контролер вийде з ладу. Тому необхідно використовувати модуль з фільтрами, наприклад, модуль на AMS1117-5 (рис. 2.3). Але цей модуль має невисокий максимальний вихідний струм в 0,7A, тому для живлення сервоприводів можна буде використати лінійний стабілізатор на базі мікросхеми серії LM чи живлення серви напряму від блока живлення.

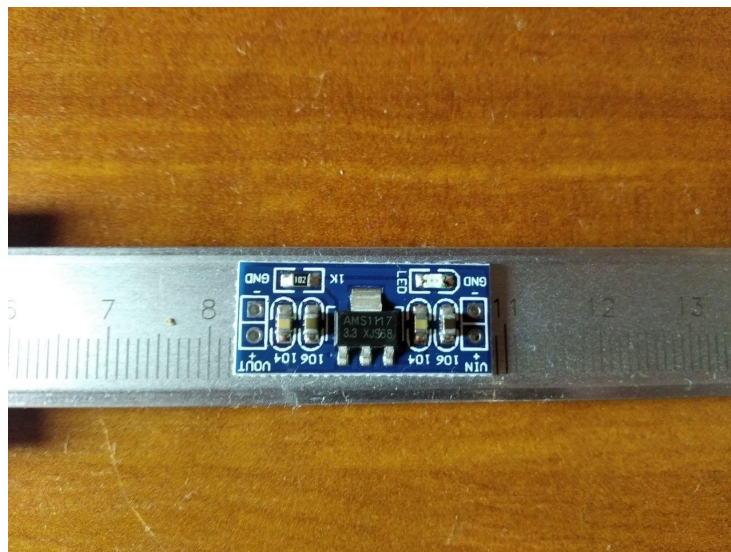
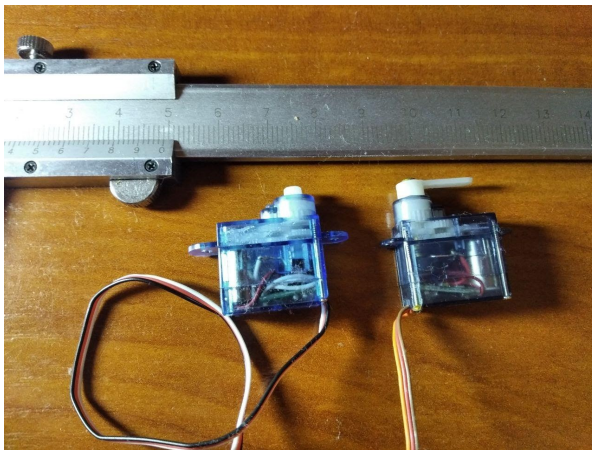
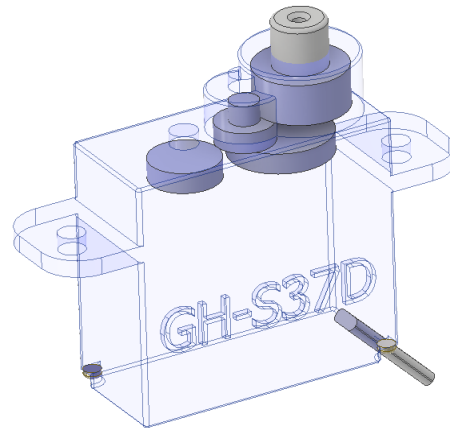


Рис. 2.3. Фото AMS1117-5.

Створювати власну механіку для керування дроселями значного сенсу немає, тому було прийняте рішення: для їх приводу використати існуючий сервопривід. Було обрано два варіанти сервоприводів для оцінки; у результаті, для подальшої роботи було залишено сервопривід SG90, як дешевший і такий, що задовольняє наші вимоги (рис. 2.4 (а,б)). У наших ритейлових дилерів цей сервопривід має необґрунтовано вищу ціну, ніж GH-S37D (рис. 2.5 (а,б)), але фактична його собівартість нижча, за умови прямої покупки від китайської мануфактури.

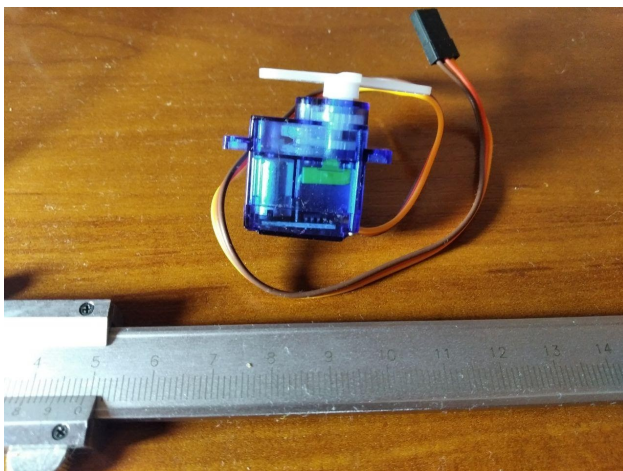


а)

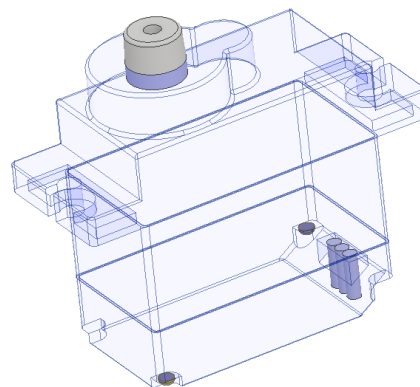


б)

Рис. 2.4. Сервопривід GH-S37D (а) і його 3D модель (б).



а)

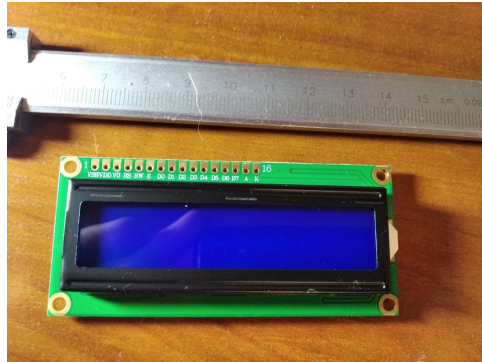


б)

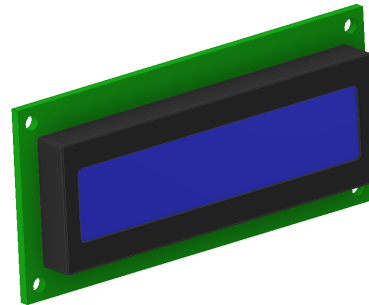
Рис. 2.5. Сервопривід SG90 (а) і його 3D модель (б).



Інтерфейсами зв'язку з контролером виступатимуть поворотний енкодер КУ-040 з кнопкою (рис. 2.7 (а,б)), який дозволить замінити, як мінімум, три кнопки, та дворядковий символьний дисплей 1602 СНУ 1998 (рис. 2.6 (а,б)).



а)

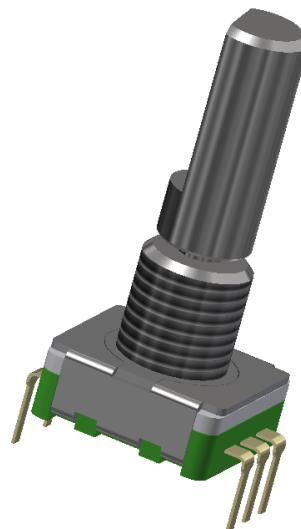


б)

Рис. 2.6. Символьний дисплей 1602 СНУ 1998 (а) і його 3D модель (б).



а)



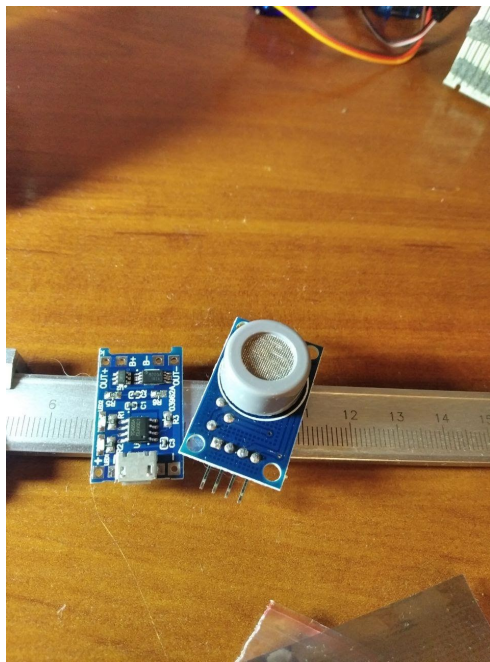
б)

Рис. 2.7. Енкодер КУ-040 (а) і його 3D модель (б).

Для отримання усіх необхідних нам даних треба використати цілий ряд датчиків, більшість з яких в ритейлі дорожчі, ніж мали б бути. Крім того, значна кількість датчиків потребує їх підключення через I2C шину через те, що кількість логічних виводів у мікроконтролерах обмежена. Оскільки ця частина роботи має на меті лише продемонструвати базові навички у програмуванні та електротехніці, я вирішив обмежитись кількома термопарами (рис. 2.8 (а)), терморезистором та датчиком CO (рис. 2.8 (б)).



а)



б)

Рис. 2.8. Фото термопари (а) та датчика CO (б).

З огляду на зазначені причини я вирішив відмовитись від силових, релейних модулів, а також модулів зв'язку та датчиків, на кшталт лямбда зонду чи датчику масової витрати.

Оскільки у прототипі буде задіяна значно зменшена кількість деталей і модулів – всі електронні компоненти будуть змонтовані в одному корпусі, який, в проекті, буде знаходитись у передніх дверцятах котла. У подальшому замість закритого корпусу лишиться лише передня панель, що дозволить зменшити кількість деталей; на якій будуть змонтовані дисплей та енкодер, а також мікросхеми I2C. Блок керування буде розташований у менш



легкодоступному місці. Так, до панелі керування нам доведеться провести лише шину з 4 дрітів малого січення. Таким чином, нам вдасться спростити і здешевити всю конструкцію. Використання точкового дисплею для виведення, наприклад, графіків тощо, не є доцільним, оскільки котел буде спарюватися зі смартфоном, і буде зручніше надсилати всі дані на смартфон, так само, як і керувати котлом. Енкодер і дисплей необхідні радше для підстраховки, дизайну, і у ролі інструменту, який все ще подекуди використовується: “кнопка “зберегти” у програмах з автоматичним збереженням”.

Тож, ми отримуємо наступну конструкцію (рис. 2.9, 2.10): корпус з двох частин. У дверцята він монтуватиметься за допомогою вушок-гачків. Всередину вмонтовані енкодер та дисплей. Також всередині будуть розташовані стабілізатор напруги, контролер.



Рис. 2.9. Зовнішній вигляд блоку керування.

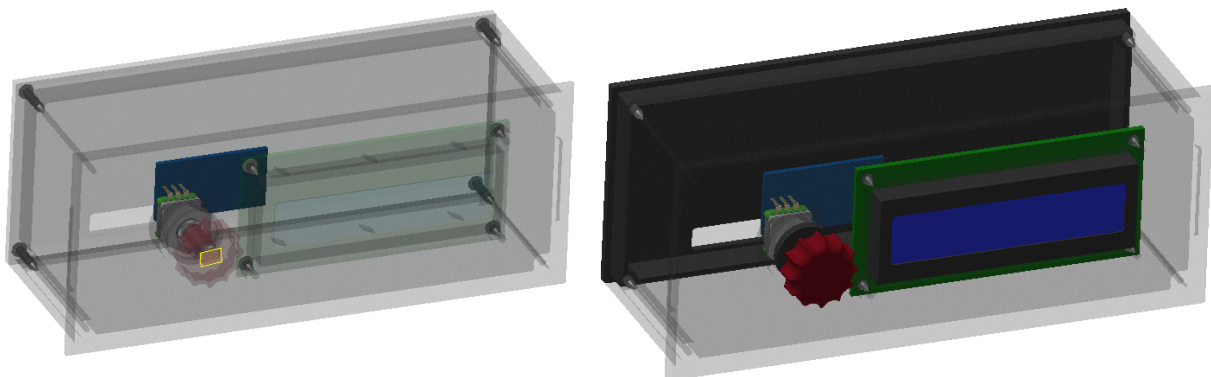


Рис. 2.10. Блок керування у “рентгені”.

### 2.3. Розробка конструкції дроселя.

Для проектування дроселів передусім необхідно визначити параметри продувки камер котла. Для цього необхідно визначити наступні параметри:

- Типове паливо і його характеристики.
- Максимальна потужність котла.
- Мінімальна потужність котла зі збереженням прийнятного рівня ККД.

Типовим паливом для таких котлів є пелети. Зазвичай використовують пелети пресовані з деревини. Як альтернативу застосовують пелети виготовлені з відходів СГ виробництва. Зазвичай такі пелети є більш енергоємними, але і мають більше зольного залишку, що забруднює котел. Прикладом таких пелет є пелети з лушпайки соняшника [17] вартістю менше 45\$ за тонну, тоді як пелети з деревини, залежно від вихідного матеріалу і його чистоти коштують 90-120\$ за тонну. Енергія згоряння пелет з соняшника 16-22 МДж/кг, зольність порядку 3,1%, вологість 9,1% [18]. Натомість енергія згоряння пелет з деревини становить 18-21 МДж/кг, зольність близько 0,9%, а вологість не перевищує 9% [19].

Визначити максимальну потужність теплової установки просто. Після проведення аналізу ринку стало зрозуміло, що найпопулярніший діапазон – 18-22 КВт.. Загальноприйнята формула розрахунку свідчить про те, що в середньому необхідна потужність становить 100-127 Вт/м<sup>2</sup> [20][21].

А враховуючи, що в середньому площа приватних будинків становить 154 м<sup>2</sup>. [22][23][24][25], можна легко підрахувати, що необхідна потужність котла, в середньому, до 19,5 КВт. Проте за максимальну потужність ми беремо 21 КВт, щоб уникнути граничних режимів роботи, а також щоб компенсувати можливу похибку.

А от мінімальна потужність зі збереженням достатнього рівня ККД – це вже більш серйозна тема. Хоча вона і не є вихідним параметром розрахунку продувки, але вона є одним з найважливіших експлуатаційних параметрів, оскільки впливає і на тривалість роботи котла без дозаправки, і на його екологічні характеристики.

Формально, система датчиків моніторингу температури в зоні газифікації і спрямована на контроль цього параметру. Необхідно забезпечити такі режими роботи, коли газифікація проходитиме повністю, без утворення рідких фракцій. Для цього нам потрібно підтримувати сталу температуру шляхом контрольованої подачі повітря і тяги. Окрім цього, як ще один дуже важливий пункт необхідно зазначити футерування. Камера газифікації повинна мінімально охолоджуватись. Чим якісніше виконуватиметься ця вимога, тим меншою можна буде зробити мінімальну потужність котла. Виробники котлів найнижчого класу іноді взагалі нею нехтують, що значно знижує ефективність їхніх агрегатів.

Щоб виконати цю вимогу, можна використовувати пористу цеглу, але ресурс такого футерування зазвичай становить 1-3 роки. В ролі альтернативного підходу я хочу зробити двошарове футерування, де верхній шар буде представлений відносно тонкими (близько 10 мм) плитами жароміцної цегли, а під нею буде шар піноскла, яке є вогнетривким і, водночас, одним з найкращих теплоізоляційних матеріалів у своєму класі. Така композитна конструкція зможе забезпечити найнижчу теплопровідність без росту вимог до технологічності футерування.

Продовжуючи тему футерування – у вторинній камері, де відбувається спалювання газифікованого палива, безпосередньо у зоні горіння, також необхідна наявність теплоізоляції, що дозволить газам ефективно згоряти навіть при низькій температурі водяного контура (тоді як більшості котлів необхідна температура контуру не менше 50-60 градусів; до моменту достатнього прогріву такі агрегати мають ККД значно нижче заявленого їхніми виробниками). Але при цьому, в зоні згоряння також встановлена термopара. Зроблено це для того, щоб тримати температуру горіння в

оптимальному для ефективності діапазоні, не даючи піднятися вище тої температури, коли починають утворюватися шкідливі сполуки, на кшталт оксидів азоту. Втім, такий крок, який не впливає на вартість продукту навіть на десяту частину відсотка, значно знижує шкідливий вплив на атмосферу.

Більш детально це буде розглянуто у подальшому, шляхом симуляції у модулі Autodesk CFD.

Далі необхідно скласти рівняння матеріального балансу процесів горіння, що дозволить визначити об'єм повітря, витрату палива тощо. Згідно з законом Дальтона, горючі складові палива вступають у хімічну реакцію з киснем у певному кількісному співвідношенні, яке визначається стехіометричними рівняннями повного горіння елементів, записаних для 1 КМоля кожного горючого елемента. Елементарний склад пелет з соняшника представлений в табл. 2:

Таблиця 2.1. Елементарний склад пелет з соняшникового лущиння [26].

C, %	50,1
S, %	0,14
H, %	6,3
N, %	1,7
O, %	41,4

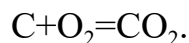
При цьому вологість пеллет (W) приймаємо рівною 8,4%, а зольність (A) 2,7%.

Таким чином еквівалентна формула матиме наступний вигляд:

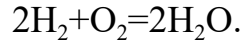
$$[45]_C + [5,67]_H + [36,5]_O + [0,13]_S + [1,6]_N + [2,7]_A + [8,4]_W = 100\%$$

Запишемо рівняння реакції горіння для горючих компонентів [27]:

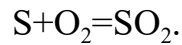
Горіння вуглецю:



Горіння водню:



Горіння сірки:



Підставимо в ці рівняння молярні маси [27]:

Для вуглецю:

$$\underbrace{12 \text{ кг}}_{\text{C}} + \underbrace{32 \text{ кг}}_{\text{O}_2} = \underbrace{44 \text{ кг}}_{\text{CO}_2}$$

Для водню:

$$\underbrace{4 \text{ кг}}_{\text{H}_2} + \underbrace{32 \text{ кг}}_{\text{O}_2} = \underbrace{36 \text{ кг}}_{\text{H}_2\text{O}}$$

Для сірки:

$$\underbrace{32 \text{ кг}}_{\text{S}} + \underbrace{32 \text{ кг}}_{\text{O}_2} = \underbrace{64 \text{ кг}}_{\text{SO}_2}$$

· Визначимо масу кисню, необхідну для повного згоряння 1 кг кожного з елементів [27]:

Для згоряння вуглецю:

$$m_{\text{к}} = \frac{32}{12} = 2.67 \text{ кг}.$$

Для згоряння водню:

$$m_{\text{к}} = \frac{32}{4} = 8 \text{ кг}.$$

Для згоряння сірки:

$$m_{\text{к}} = \frac{32}{32} = 1 \text{ кг}.$$

Визначимо масу кисню, необхідну для повного згоряння 1 кг пелет:

$$1/100 * (2,67 * [44,6]_{\text{C}} + 8 * [5,67]_{\text{H}} - 1 * [36,5]_{\text{O}} + 1 * [0,13]_{\text{S}}) = 1,28 \text{ кг}.$$

Визначимо необхідну масу повітря, з урахуванням того, що в 4,348 кг повітря міститься 1 кг кисню:

$$1,28 \cdot 4,348 = 5,566 \text{ кг}$$

Визначимо об'єм повітря для згоряння 1 кг пеллет зі нормальних умов:

$$5,566 / 1,293 = 4,3 \text{ м}^3$$

Також варто врахувати необхідний коефіцієнт надлишку повітря, який хотілося б в результаті отримати як можна ближчим до одиниці, але поки приймаємо табличне значення 1,15. Таким чином, кінцевий об'єм повітря на 1 кг пеллет приймаємо рівним 4,945 м<sup>3</sup>.

Оптимальна температура в зоні газогенерації має становити не нижче 600-700 градусів, бо при такій температурі процеси піролізу максимально ефективні [28].

Теплоту згоряння пеллет приймаємо рівною 16,89 МДж/кг (4,69 КВт-годин/кг) (посилання вище). Варто також врахувати, що кількість кисню необхідна в первинній і вторинній камерах змінюватиметься в процесі всього горіння, тому для розрахунків з високою точністю необхідні емпіричні дані, отримати які я змоги не маю. Тому дроселі розраховуватимуться з максимальним співвідношенням 1:3. Тобто кожен з дроселів повинен буде мати перепускную здатність близько 75% усього потоку.

Розрахуємо максимальний об'єм повітря, що проходить крізь дросель за секунду:

$$(4945 \cdot 21 \cdot 0,75) / (4,69 \cdot 3600) = 4,61 \text{ (л/с)}$$

Після цього визначимо основні вимоги до конструкції дроселя:

- Надійне обмеження потоку повітря.
- Простота і дешевизна у виготовленні.
- Простота збірки та обслуговування.
- Мінімум запчастин для максимальної надійності.

У результаті була отримана наступна конструкція дроселя (рис. 2.11, 2.12, 2.13, 2.14):

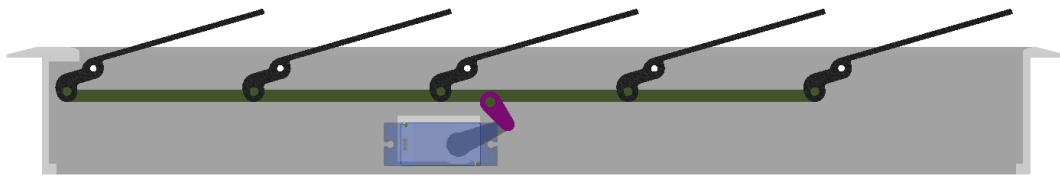


Рис. 2.11. Конструкція дроселя.

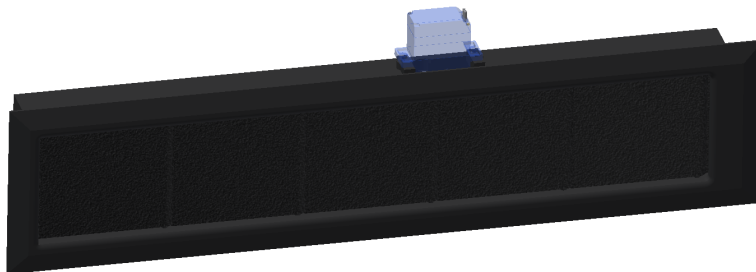


Рис. 2.12. Зовнішній вигляд дроселя.

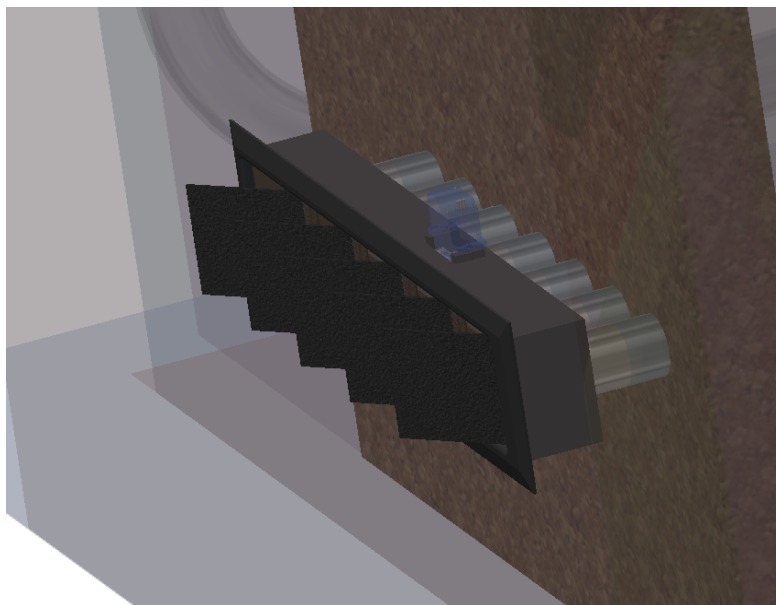


Рис. 2.13. Рентген дроселя встановленого на котлі.

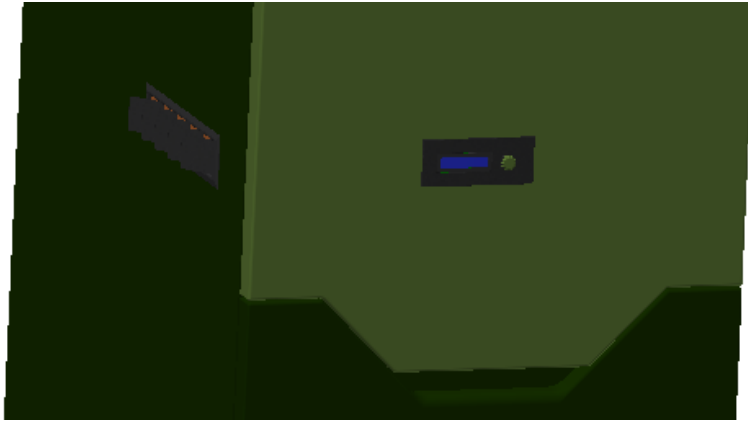


Рис. 2.14. Зовнішній вигляд дроселя встановленого на котлі.

## 2.4. Модуль-генератор

### 2.4.1. Вихідні параметри та умови експлуатації установки.

Теплова потужність – 21 КВт.

Номінальна вихідна електрична потужність – не нижче 380 Вт.

Споживана електрична потужність примусової тяги – 40 Вт.

Споживана електрична потужність системи керування та блоку резервного живлення – 40 Вт.

Споживана електрична потужність насосу системи опалення – 40 Вт.

Електрична потужність резервного (демфуючого) джерела живлення – 3 КВт.

Електрична ємність резервного (демфуючого) джерела живлення –  $680 \cdot 2$  Вт\*годин.

Теоретично цей котел буде видавати до 260 “зайвих” ватт електроенергії, що за місяць складе 187,2 КВт\*годин. Споживання в Україні складає в середньому 164КВт\*годин на місяць [29]. Тож, під час опалювального сезону цей котел зможе повністю задовольнити енергетичні потреби середньостатистичного домогосподарства.



### 2.4.2. Розрахунки ядра генератора.

Розрахунки ядра генератора проводилися у спеціалізованій САПР “Delta EC”, розробленій спеціально для розрахунків двигунів Стірлінга (рис. 2.15).

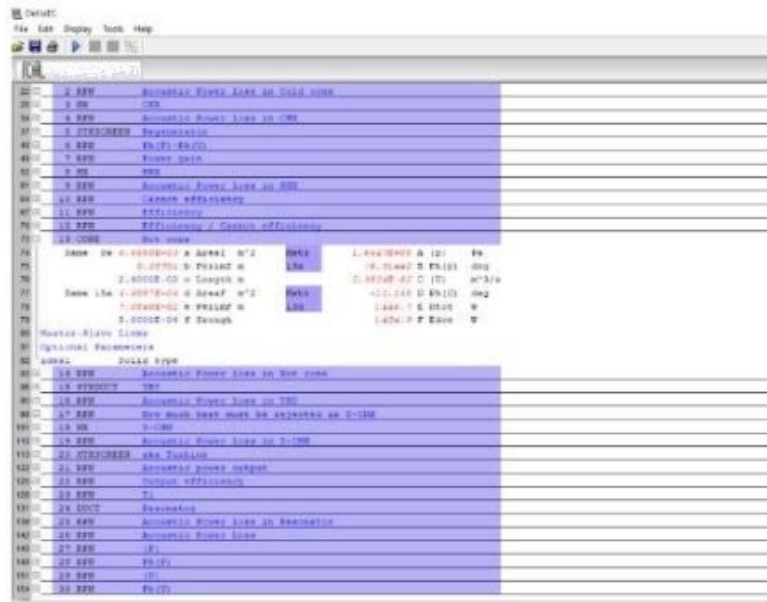


Рис. 2.15. Приклад розрахунків в Delta EC.

У результаті такого моделювання було визначено характеристики та параметри термоакустичного двигуна, що наведені в таблицях 3 та 4.

Таблиця 2.2. Розрахункові характеристики генератора.

Робочий газ	Аргон
Тиск в двигуні, МПа	1.5
Температура холодного теплообмінника, К	335
Температура гарячого теплообмінника, К	525-555
Діаметр ступені, мм	114
Теплова потужність охолодження двигуна, Вт	1204

Теплова потужність нагріву двигуна, Вт	1936
--	------

Таблиця 2.3. Розрахункові параметри двигуна.

Холодний теплообмінник	Довжина, мм	18
	Пористість	0.5
	Теплова потужність охолодження, Вт	301
Гарячий теплообмінник	Довжина, мм	24
	Пористість	0.5
	Теплова потужність нагріву, Вт	484
Регенератор	Довжина, мм	20
	Пористість регенератора	0.7
	Гідравлічний радіус, мм	0.05
	Різниця фаз між $p_1$ і $U_1$ в середині регенератора, градусів	0.6
	Акустична потужність на вході в регенератор, Вт	192
	$\Delta \dot{E}_r$ , Вт	183
Розрахункова енергія на турбіні	$\Delta \dot{E}_L$ , Вт	289 x 2
Весь двигун	Відношення діаметрів ядра і резонатора	4.35
	Теплова потужність охолодження, Вт	1204
	Теплова потужність нагріву, Вт	1936
	Робоча частота, Гц	120

## 2.5. Проектування турбіни.

Для перетворення акустичної енергії в електричну використовується двонаправлена турбіна, принцип якої було розроблено компанією Aster

Thermoacoustics [1]. Геометрія була розроблена таким чином, щоб всі деталі статора могли виготовлятися з пластику методом лиття під тиском у простих двоскладних пресформах (рис. 2.16). Це не оптимально з точки зору аеродинамічних характеристик турбіни, але дозволяє знизити собівартість однієї такої деталі до кількох десятків центів, більшу частину цієї вартості складатиме амортизація вартості пресформи.

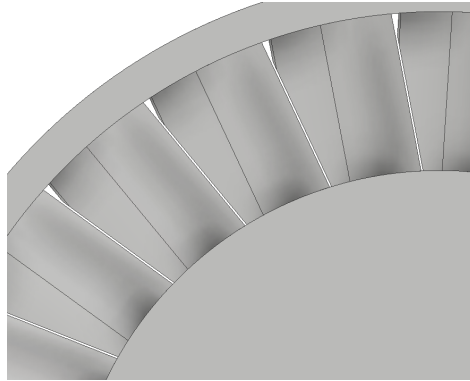


Рис. 2.16. Геометрія лопаток статора.

Сам кожух турбіни, який є водночас частиною резонатора генератора складається з двох деталей складної форми, які отримують розкаткою з циліндричного профілю. Зазвичай це виконується на спеціальному ЧПК станку, обкатка виконується роликami з еліптичним профілем по шаблону. Це найлегший і найдешевший метод (рис. 2.17). Більш масовий метод - гідроформінг. Матеріалом для кожухів слугуватиме високолегована сталь, яка зможе забезпечити мінімальну теплопровідність.



Рис. 2.17. Ручна розкатка циліндричної заготовки по шаблону. [30]

Ротор турбіни, на жаль, відливати в простих пресформах неможливо. Ротор доведеться фрезерувати. Для виготовлення ротора знадобиться 4-х вісний фрезерний верстат.

Хомут також відливається під тиском з алюмінієвого сплаву високої міцності, наприклад з ВАЛ8, чи АК8.

Таким чином, ми отримуємо турбіну, що складається з 4-х литих пластикових деталей, 2-х литих алюмінієвих, фрезерованого ротора, 2-х розкатаних циліндричних деталей кожуху (рис. 2.18).

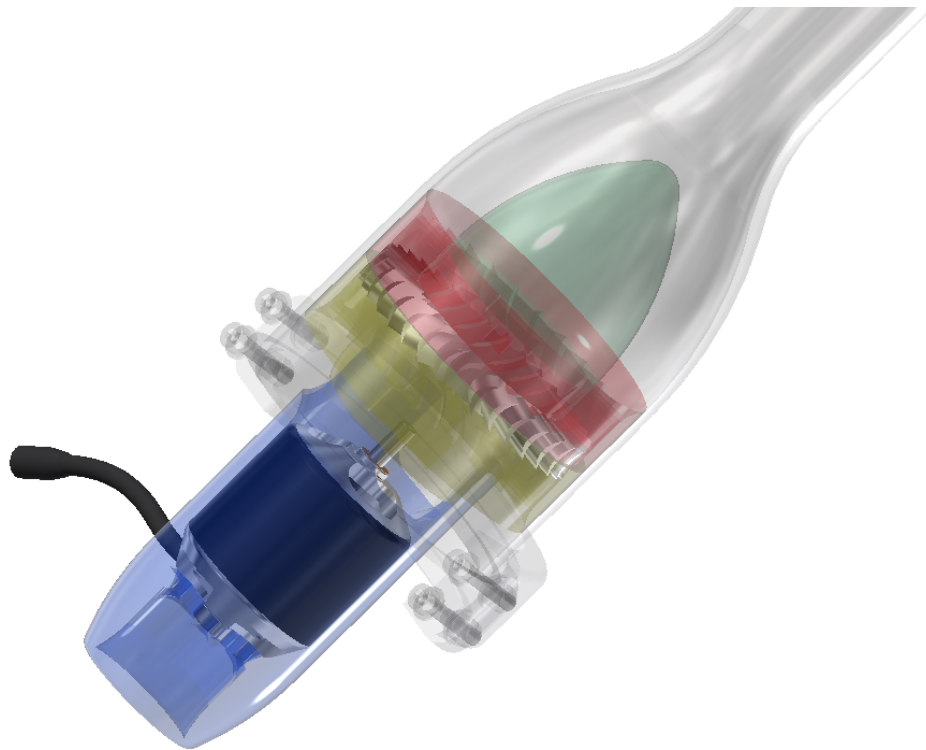


Рис. 2.18. 3D модель турбіни.

У ролі альтернатора застосовуватиметься двигун на постійних магнітах.

Прикладом може бути двигун з наступними характеристиками [31]:

11,1 ~ 14.8V

RPM: 770 kv

Максимальний струм: 42A

Номинальна напруга: 10V/2.4A

Внутрішній опір: 0,02 Ом

Вага: 212 г

Діаметр валу: 5мм

Розміри: 72х42мм

## 2.6. Динамічні симуляції потоків газу в турбіні та дросельному вузлі.

Симуляції проводилися в середовищі Autodesk CFD. Для дослідження було обрано два вузли, розподілення потоку в яких відіграє одну з ключових ролей у цьому пристрої і може значною мірою впливати на їхню конструкцію. Тож, було проведено аналіз розподілу потоків газів у дросельному вузлі (рис. 2.19, 2.20) та у турбіні модуля-генератора (рис. 2.21, 2.22).

Для проведення аналізу довелося спростити геометрію моделей, прибравши з них значну кількість скруглень, фасок тощо.

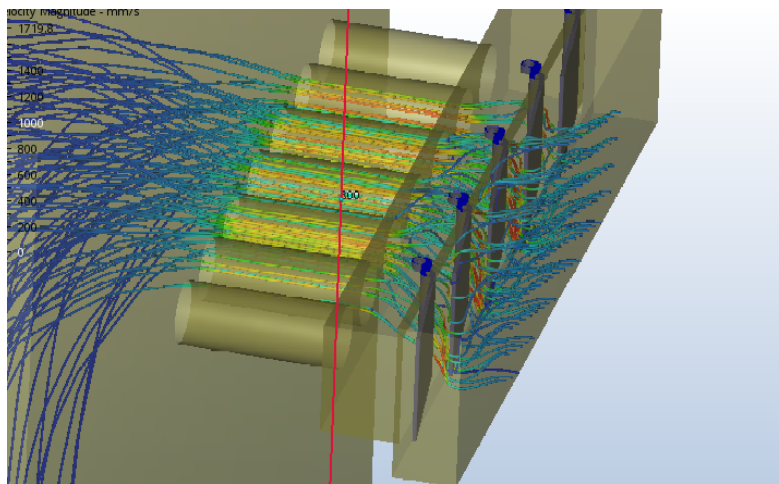


Рис. 2.19. Симуляція розподілу потоків в дросельному вузлі (корпус прозорий).

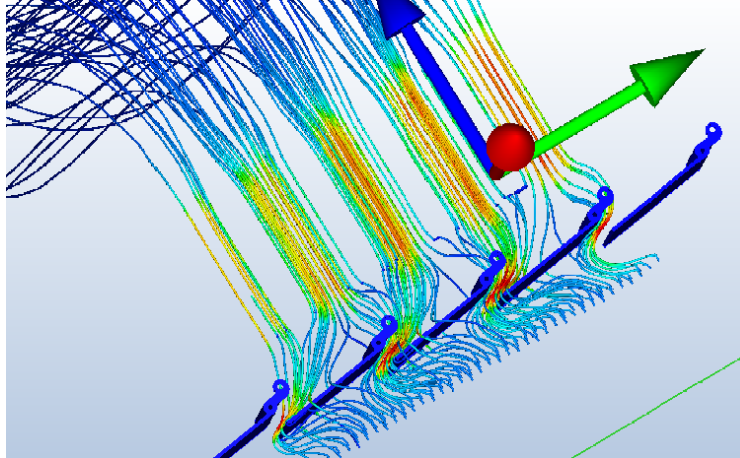


Рис. 2.20. Симуляція розподілу потоків в дросельному вузлі (корпус приховано).

Симуляція дозволила дізнатись та порівняти тиск повітря у проміжках між шторками в різних їх положеннях та тиск у трубках, через які повітря потрапляє у камеру згоряння. Це дозволило більш оптимально підібрати внутрішній діаметр цих трубок та розміри дроселя.

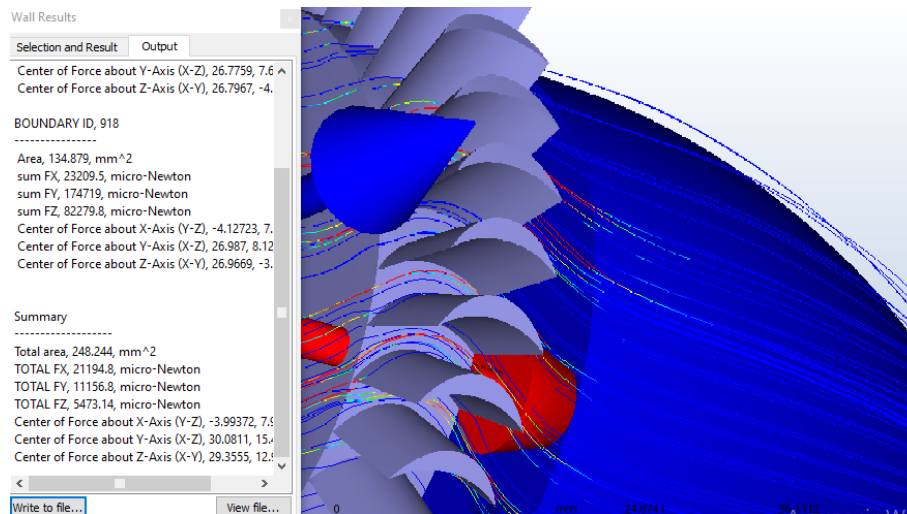


Рис. 2.21. Зусилля, яке сприймає одна лопатка турбіни від потоку газу.

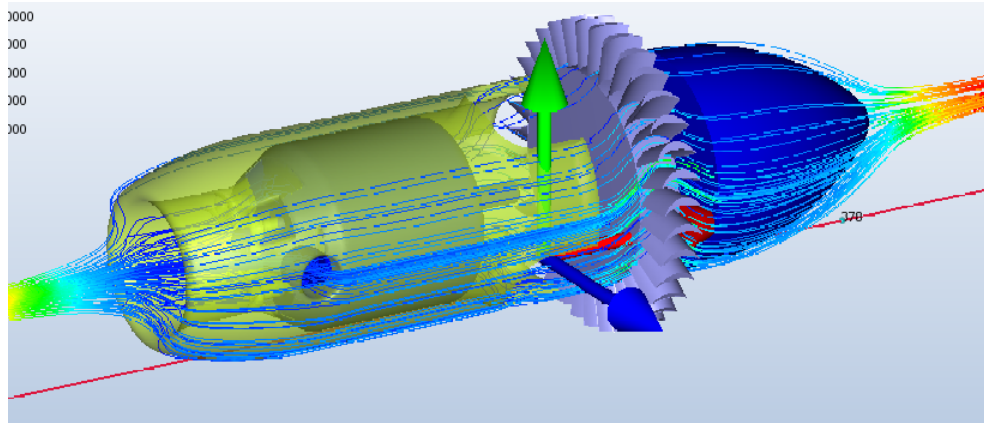


Рис. 2.22. Розподілення потоків газу в турбіні.

З рисунку 2.22 можна визначити та розрахувати теоретичну потужність на валу турбіни. Зусилля на одну лопатку, що лежить приблизно в площині XZ, складає 0,0111568 Н по вісі Y, та 0,0054731 Н по вісі Z. Центр прикладання сили віддалено від вісі обертання турбіни на 33 мм, таким чином, важіль складає 0,033 м. Усього ротор має 35 лопаток.

Відповідно, крутний момент на валу турбіни складає

$$(0,0111568+0,0054731)*35*0,033=0,01921 \text{ Н*м}$$

При номінальних обертах турбіни такий крутний момент забезпечить потужність на роторі генератора

$$9240*0,01921 = 177,5 \text{ Вт}$$

Таким чином, розрахункова вихідна потужність генератора

$$177,5*2*0,9 = 319,5 \text{ Вт}$$

А теоретичний електричний ККД складає

$$319,5/1936*100\% = 16,5\%$$

Також симуляції допомогли переконатись у тому, що обдув генератора для охолодження буде забезпечуватись достатньою мірою. У продовженні роботи над цим проектом має сенс провести більш детальні дослідження розподілення потоку на турбіні для визначення оптимальної геометрії лопаток статора та ротора, оскільки з поточною геометрією турбіна не використовує всю акустичну енергію, яку генерує двигун.

## **РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.**

### **3.1. Технологічне забезпечення виготовлення теплообмінників.**

Головні вимоги до теплообмінника – мінімальний опір потоку повітря та висока тепловіддача. Ці дві характеристики напряму впливають на ефективність роботи всієї машини.

На опір потоку впливають такі характеристики, як відносна пористість теплообмінника та шорсткість поверхні теплообмінника.

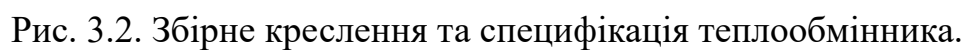
На тепловіддачу впливає матеріал теплообмінника, площа його поверхні та її шорсткість.

Важливо намагатись зробити ці характеристики найбільш оптимальними для максимальної ефективності роботи машини.

Розрахунки в програмі Delta ЕС дають нам наступні теоретичні параметри теплообмінника: товщина 24 мм, діаметр активної частини теплообмінника – 114 мм.

Після розрахунків і аналізу існуючих конструкцій була прийнята наступна конструкція: паралельні пластини зі сталим кроком, оточені водяною сорочкою. Далі було обрано оптимальний метод виготовлення, що забезпечував би задовільну якість виробів, високу швидкість виготовлення, низьку собівартість та оптимальний матеріал, що був би придатний для обраних методів обробки, мав високу теплопровідність і достатню механічну міцність, відповідно до вимог задачі. На основі проведеного ретельного аналізу було створено 3D модель (рис. 3.1) та пакет конструкторської документації на основі моделі (рис. 3.2, 3.3).





### **3.1.1. Вибір інструментального забезпечення та обґрунтування вибору конструкційного матеріалу.**

Виготовити теплообмінники можна багатьма методами, для прикладу наведу кілька варіантів:

Перший варіант – лиття під тиском. Дозволяє отримувати геометрію високої точності і якості поверхні, але важливо розуміти, що повинні забезпечуватись специфічні вимоги до геометрії ребер теплообмінника, передбачені процесом лиття. Також ливарні сплави для лиття під тиском мають фізичні властивості, які погіршують експлуатаційні характеристики теплообмінника.

Другий варіант – waterjet з плоских заготовок. Значні обмеження по висоті пластин теплообмінника, чим більша висота теплообмінника – тим нижча якість і більша конусність різку гідроабразивної установки. Доволі витратна технологія, що для такого типу деталі взагалі не підходить у випадку масового виробництва.

Третій варіант – екструзія профілю з подальшою обробкою, різанням та штамповкою. Загалом, це передбачає екструзійний станок, токарно-фрезерний ЧПК, токарний станок для заготовок, а також штамп для заглушок.

Ключовим для цього процесу є вибір матеріалу, що максимально ефективно піддається екструзуванню, що дозволить максимально збільшити поверхню теплообміну і, таким чином, зменшити товщину теплообмінника, що збільшить ефективність двигуна. Для цього найоптимальнішим матеріалом виявився АМг2 [32]. Також у цього сплаву доволі низька кількість лігатур і вища теплопровідність, порівняно з багатьма іншими сплавами.

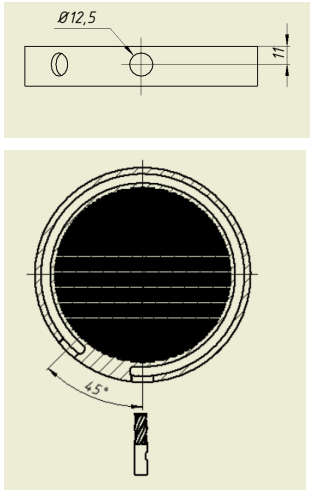
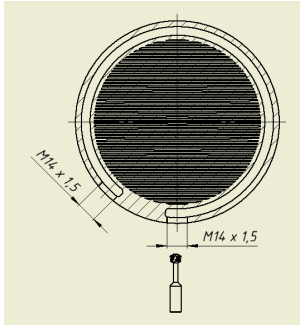
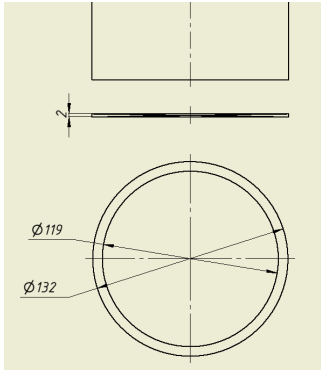
### 3.1.2. Технологічний процес отримання теплообмінника.

Технологічний процес отримання теплообмінників методом гарячої екструзії та подальшої обробки різанням зображено в таблиці 5.

Таблиця 3.1. Технологічний процес отримання теплообмінників.

Операція	Ескіз	Обладнання для виконання операції
Гаряча екструзія		Екструзійна установка
Відрізання заготовки		Стрічкопильний верстат
Торцювання площини		Фрезерний ЧПК верстат
Фрезерування кожуха		Фрезерний ЧПК верстат

Таблиця 3.1 (продовження). Технологічний процес отримання теплообмінників.

Фрезерування отворів під патрубки		Фрезерний ЧПК верстат
Нарізання різьби під патрубки		Фрезерний ЧПК верстат
Вирубка заглушки		Вирубний штамп
Впресовування заглушки		Гідравлічний прес
Анодування		Гальванічна ванна

### **3.2. Технологічне забезпечення виготовлення котла.**

Технологічний процес виготовлення цієї установки будувався так, щоб мінімізувати кількість операцій і затрати часу. Отже, було застосовано доволі оригінальний підхід до виготовлення ряду деталей котла. Наприклад, для виготовлення розкроїв корпусів планується застосовувати апарат плазмової різки. Звісно цей метод має більшу енергозатратність, порівняно з лазерною порізкою, чи вирубкою. Але варто розуміти, що амортизаційна вартість саморобного верстата для плазмового розкрою нижча, ніж одного вирубного штампу таких розмірів. Конструкція деталей турбіни була розроблена таким чином, щоб мати змогу виготовляти їх на установках лиття під тиском. Звісно це зменшує їх ефективність на якийсь відсоток, але робить установку доступною для цільової аудиторії. Планується виготовляти теплообмінники методом гарячої екструзії з подальшою дообробкою на оброблювальному центрі і впресовуванням чи вклеюванням кришки кожуха.

Конструкція усієї установки та технологічний процес її виготовлення продумані таким чином, щоб терміни та затрати на виробництво були мінімальними.

У таблиці 4 наведено укрупнений технологічний процес виготовлення складових частин (деталей та вузлів) котла. Цей технологічний процес містить найменування деталі чи вузла; матеріал, з якого вони виготовляються; основні операції, необхідні для його виготовлення та обладнання, яке потрібне для виконання цих технологічних операцій. Тож, цей технологічний процес дає змогу визначити необхідне обладнання та матеріали для виготовлення цього продукту.

Таблиця 3.2. Укрупнений технологічний процес  
виготовлення складових частин котла.

Деталь чи вузол	Матеріал	Основні операції	Необхідне обладнання
Кожух котла	Сталь листова 1,2 мм Ст.3	Розкрій	Установка плазменної порізки з ЧПК
		Згинання	Листозгинальний верстат
		Фарбування	Фарбувальна установка
Кожух дверцят	Сталь листова 1,2 мм Ст.3	Розкрій	Установка плазменної порізки з ЧПК
		Згинання	Листозгинальний верстат
		Фарбування	Фарбувальна установка
Днище котла	Сталь листова 2 мм Ст.3	Розкрій	Установка плазменної порізки з ЧПК
		Фарбування	Фарбувальна установка
Задня стінка котла	Сталь листова 1,2 мм Ст.3	Розкрій	Установка плазменної порізки з ЧПК
		Згинання	Листозгинальний верстат
		Фарбування	Фарбувальна установка

Таблиця 3.2 (продовження). Укрупнений технологічний процес виготовлення складових частин котла.

Рама котла	Квадрат 40x40x3 мм Ст.3	Столярні операції	Стрічкова пила Свердлильний верстат Різьбонарізний інструмент
		Зварювання	Зварювальний напівавтомат
Теплоізо- ляційний кожух корпуса	Мінеральна вата	Розкрій	Гільйотинні ножиці
Теплоізо- ляція дверцят	Піноскло	Столярні операції	Дискова пила Свердлильний верстат
Футеруван- ня	Алюмосилікат	Спікання	Форми та піч для запікання
Кожух та тепло- обмінники	Сталь 15К листи 5 мм та труби 60x4 мм	Столярні операції	Стрічкова пила Свердлильний станок Різьбонарізний інструмент
		Розкрій	Установка плазменної порізки з ЧПК
		Зварювання	Зварювальний напівавтомат

Таблиця 3.2 (продовження). Укрупнений технологічний процес виготовлення складових частин котла.

Пластикові деталі: корпус блоку керування, частини дроселя, турбіна, тощо.	Термопласти (наприклад: АБС для корпусу блоку керування, РЕЕК для турбіни)	Лиття під тиском	Установка лиття під тиском
Деталі корпусу генератора	Сталь X10CrNiTi18-9 чи подібна високолегована сталь	Гідроформінг	Установка гідроформінгу
Теплообмінники	АМг2	Екструзія	Екструзійна установка
		Фрезерування	Оброблюючий центр
		Різьбонарізання	Оброблюючий центр
Хомути корпусу генератора	АМг10	Лиття під тиском	Установка лиття під тиском
		Фарбування	Установка порошкового фарбування



### 3.3. Технологічне забезпечення виготовлення статора турбіни.

Було досліджено нормативні документи ISO 28238:2010 [33], а також ISO 6751, ISO 6753-2, ISO 8017, ISO 9449, ISO 10072, ISO 15600 та ISO 16915, і відповідно до них підібрано основу для прес-форми [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40].

Литникову систему спроектовано наступним чином:

До розробленої у конструкторській частині диплому 3D моделі статора турбіни (рис. 3.4), ескіз якої зображено на рисунку 3.5, додаються припуски на термічну усадку (рис. 3.6), операцією “безпосереднє редагування”.



Рис. 3.4. 3D модель статора турбіни.

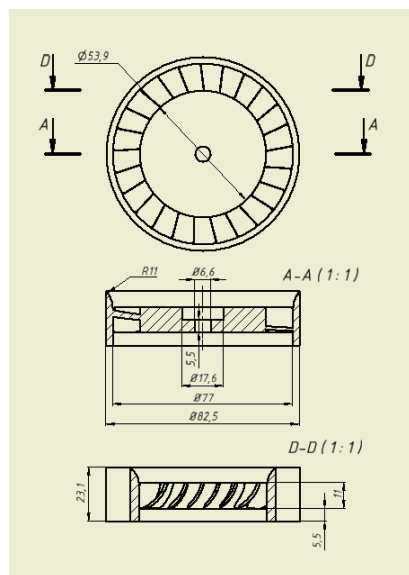


Рис.3.5. Ескіз статора турбіни.

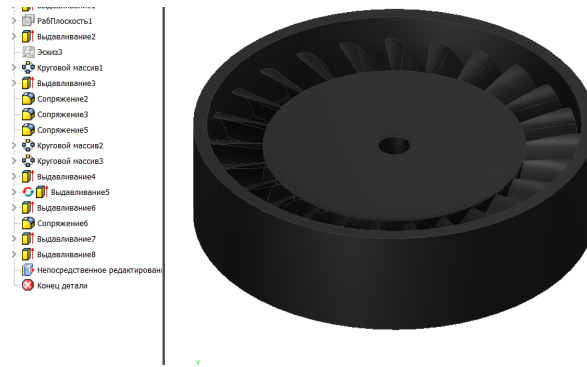


Рис. 3.6. 3D модель статора турбіни з припуском на термічну усадку.

Наступною операцією є створення масиву цих деталей (рис. 3.7) для більш ефективного використання прес-форми, після чого створюємо систему живильників (рис. 3.8)

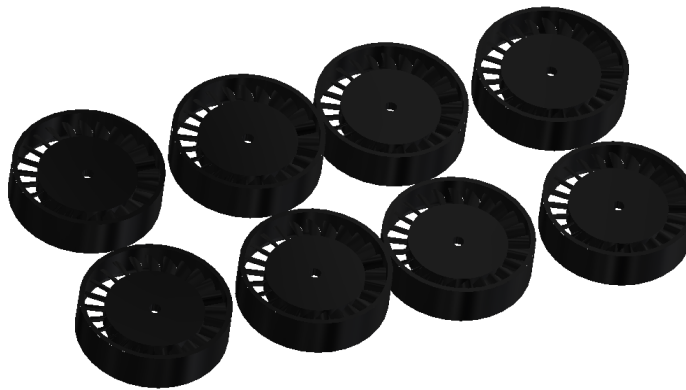


Рис. 3.7. 3D масив статорів турбіни.



Рис. 3.8. 3D модель ливарної системи.

Після чого операцією “комбінувати” (рис. 3.9) вирізаємо у відповідних частинах прес-форми порожнини ливарної системи. Додаємо отримані частини прес-форми та ливарної системи в одну збірку (рис. 3.10).

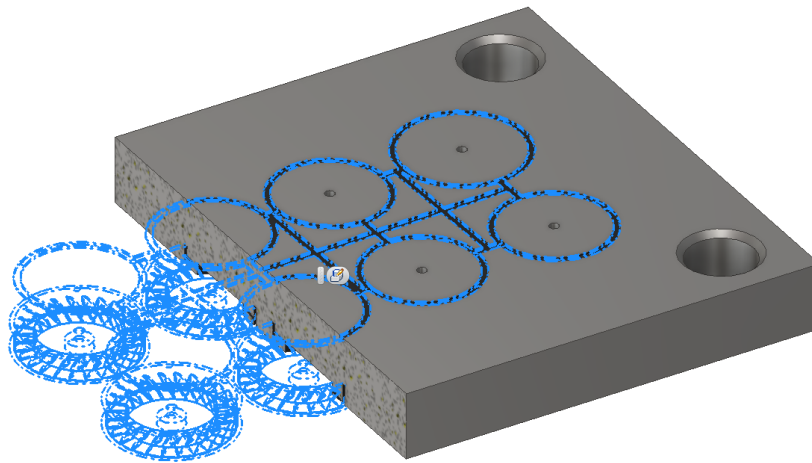


Рис. 3.9. Створення порожнин ливарної системи в одній з частин прес-форми.



Рис. 3.10. 3D модель прес-форми зі знятою верхньою частиною.

### **3.4. Прототип системи керування з обмеженим функціоналом.**

Для доповнення теоретичної частини було прийняте рішення зробити прототип системи керування з обмеженим функціоналом, а також провести динамічні симуляції потоків повітря в турбіні та дросельному вузлі.

Виготовлення прототипу складається з трьох логічних етапів: виготовлення механічних частин, збірка та програмування електричних частин, фінальна збірка готового пристрою.

#### **3.4.1. Виготовлення механічних частин спрощеного прототипу системи керування.**

Наступним етапом після створення 3D моделей і підбору комплектуючих є виготовлення механічних частин. Для цієї цілі було використано адитивні технології, а саме: два екструдерні 3D принтери: “M3D micro +” для малих, але точних деталей і “GRABER” (аналогічний до “Prusa i3” принтер). M3D micro довелося додатково обладнати тепловими екранами і підігрівом стола для більш якісного друку. Процес друку на цих принтерах зображено на рисунках 3.11, 3.12, 3.13.

Керуюча програма для принтерів створювалася у програмі Ultimaker Cura (рис. 3.14, 3.15). Діаметр сопла для великих деталей був обраний 1 мм, для маленьких 0,35 мм. Товщина шару – відповідно 0,4 мм та 0,2 мм. Матеріал друку – PLA, як найменш шкідливий для довкілля філамент серед наявних на ринку України. Швидкість та температурні режими згідно з рекомендаціями виробника пластику, їх значення складають, відповідно, 60 мм/с та 205/55 град. цельсія.

Готові вироби зображено на рисунку 3.16.



Рис. 3.11. Процес друку шторки дроселя на принтері M3D micro.

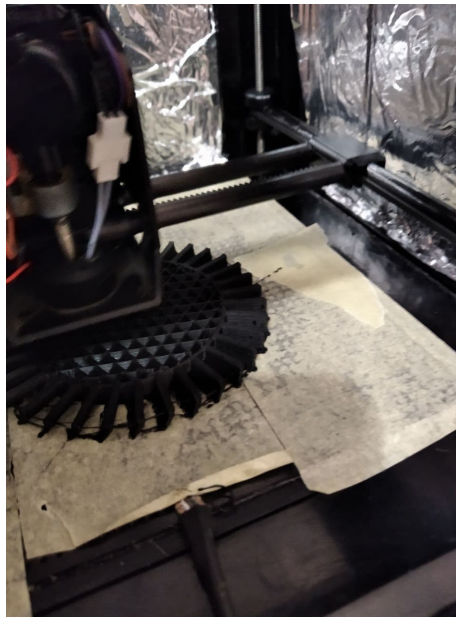


Рис. 3.12. Процес друку ротора турбіни на принтері M3D micro.

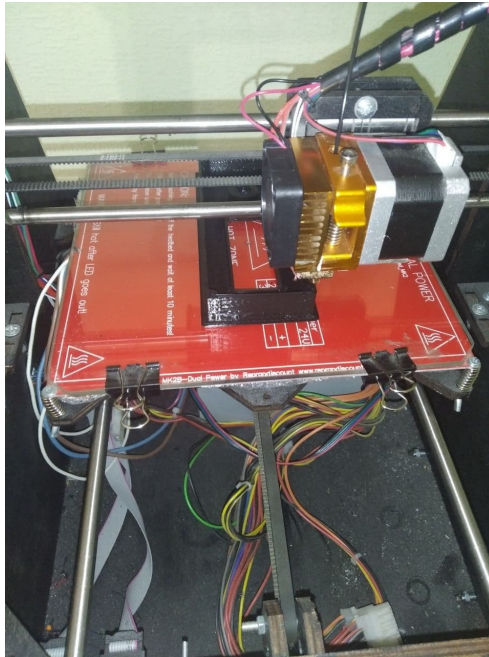


Рис. 3.13. Процес друку корпусу блоку керування на принтері GRABER.

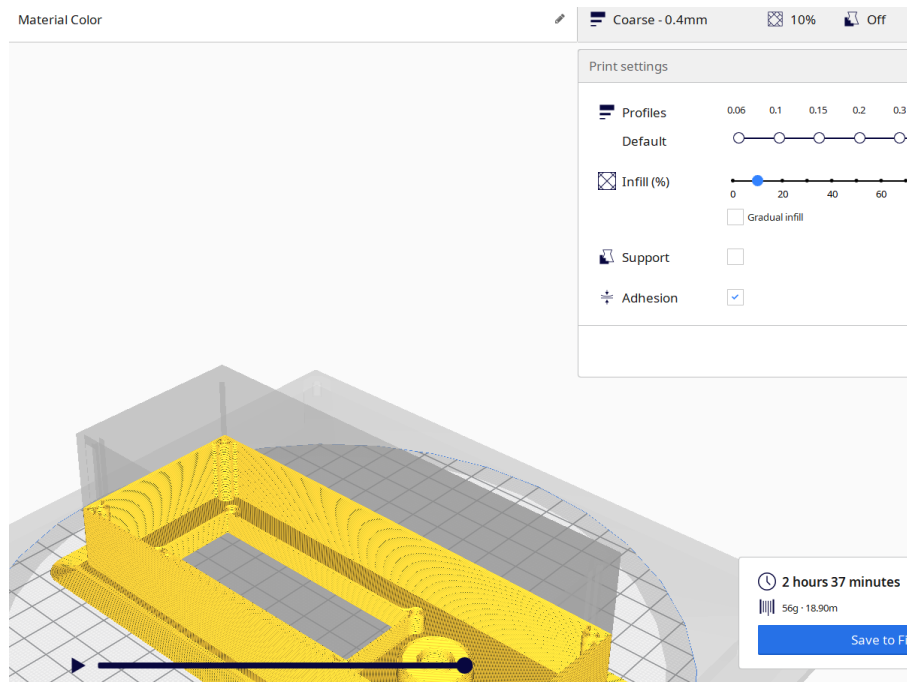


Рис. 3.14. Слайсинг корпусу блоку керування.



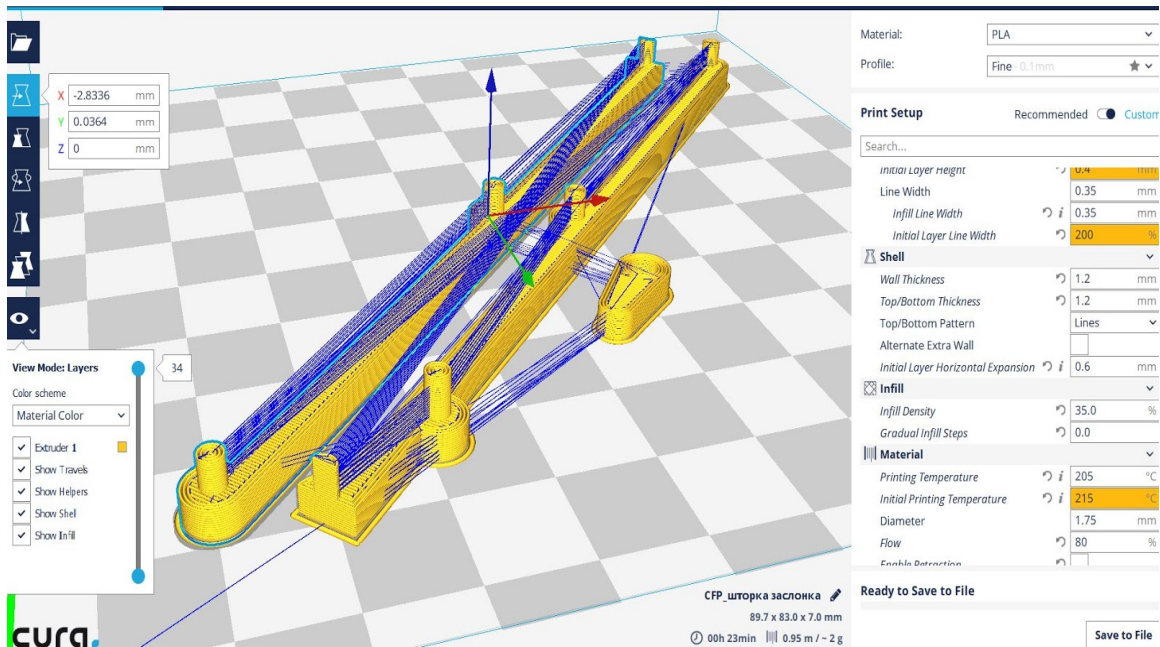


Рис. 3.15. Слайсинг та налаштування друку шатунної рейки шторок дроселя.



Рис. 3.16. Дросельний вузол, корпус блока керування та макет ротора турбіни.

### 3.4.2. Спрощений прототип електронної частини системи керування.

Весь прототип електронної частини системи керування можна умовно розділити на три частини: силовий блок, що буде керувати циркуляційним насосом та турбіною примусової тяги (рис. 3.17); блок керування та зворотного зв'язку, а також дросельний вузол (рис. 3.18).

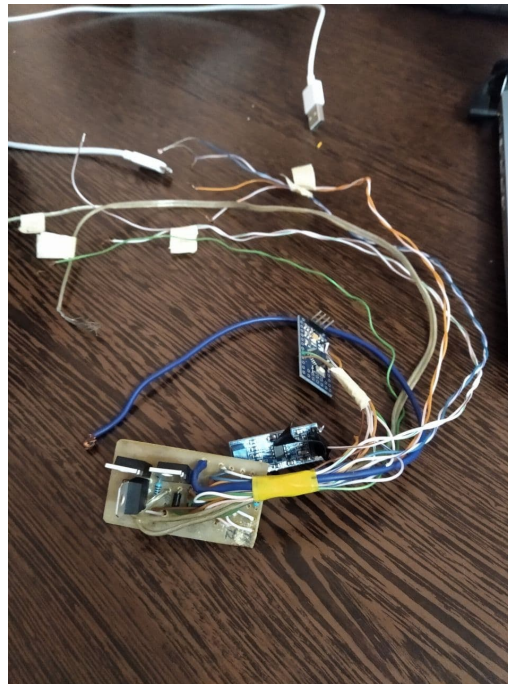


Рис. 3.17. Силовий блок.



Рис. 3.18. Блок керування та дросельний вузол.



Прошивку для мікроконтролерів було написано в програмі Arduino IDE. Оскільки було використано два мікроконтролера: один для силової частини, а один для дроселя та блоку керування, було створено два скетчі, знімки яких представлено на рисунках 3.19 та 3.20.

```
#include <Encoder.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>
#define sensorPin A0
int counter=10;
int reading;
float voltage;
float temperatureC;
Servo servo;
LiquidCrystal lcd(4, 5, 6, 7, 8, 9);
Encoder myEnc(10, 11);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  analogReference(EXTERNAL);
  servo.attach(3);
}

void loop() //споводує loop
{
  if (counter < 10)
  { counter++; }
  else {
    counter=0;
    reading = analogRead(sensorPin);
    voltage = (reading * 1.1) / 1024.0;
    temperatureC = (voltage - 0.5) * 100 ;
  }
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Ang1 = ");
  lcd.print(myEnc.read() );
  lcd.print(" degr");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" Temp = ");
  lcd.print(temperatureC);
  lcd.print("C");
  servo.write(myEnc.read());
  delay (100);
  lcd.clear();
}

}

БІВАНТАЖЕННЯ ВИКОРИСТАНО.
Скetch використовує 5246 байтів (17%) місця зберігання для програм. Межа 30720 байтів.
Глобальні змінні використовують 164 байтів (7%) динамічної пам'яті, залишаючи 1894 байтів для локальних змінних. Межа 2048 байтів.
```

Рис. 3.19. Скетч з кодом блоку керування та дросельного вузла.

```
sketch_oct26b $
pinMode (PD5, OUTPUT);
pinMode (PD6, OUTPUT);

}

void loop() {
  int T1 = 95;
  int T2_1 = 270;
  int T2_2 = 400;
  int POWER1 = 255;
  int POWER2 = 255;
  float TRIG1 = 10240/(10*T1*0.0081973);
  float TRIG2_1 = 10240/(10*T2_2*0.0006133);
  float TRIG2_2 = 1000;
  float DT1 = 5;
  float DT2_1 = 5;
  float T1_READED = analogRead (A0);
  float T2_1_READED = analogRead (A1);
  float T2_2_READED = analogRead (A2);
  if (T1_READED<(TRIG1 - DT1)){
    analogWrite (PD5, POWER1);
  }
  else if (T1_READED>(TRIG1+DT1)){
    analogWrite (PD5, 0);
  }
  if (T2_2_READED>TRIG2_2){
    analogWrite (PD6, 0);
  }
  else if (T2_1_READED<(TRIG2_1+DT2_1)){
    analogWrite (PD6, POWER2);
  }
  else if (T2_1_READED>(TRIG2_1+DT2_1)){
    analogWrite (PD6, 0);
  }
  delay(100);
}
```

Рис. 3.20. Скетч з кодом силового блоку.

Отже, було розроблено дизайн корпусу, механізм дросельного вузла, виготовлено їх методом адитивних технологій, також було розроблено електричну схему, розроблено та виготовлено друковану плату, зібрано модулі і створено прошивку. Результат роботи – спрощений функціональний прототип системи керування котла, за допомогою якого можна вимірювати температуру, керувати кутом повороту шторок дроселя за допомогою енкодера, керувати блоком реле, а дані моніторинга відображаються на LED дисплеї (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Відображення даних моніторингу на дисплеї блоку керування.

## РОЗДІЛ IV. СТАРТАП ПРОЕКТ.

### 4.1. Ідея проекту.

В межах цього розділу описано ідею продукту, його основні особливості та відмінності від існуючих проектів, досліджено ринкові можливості та можливі напрямки застосування. Основу методології створення такого проекту було взято з методичних вказівок [41].

Ідея стартап-проекту доволі проста і описана в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Ідея проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення котла з модулем-генератором та системою керування, що дозволить забезпечити домогосподарства джерелом автономного постачання тепла та електроенергії.	1. Опалення.	Забезпечення тепла для приватних будинків та виробничих приміщень.
	2. Електропостачання.	Забезпечення електроенергією житлових приміщень, а також забезпечення безперебійної роботи системи опалення.

У табл. 4.2. викладено порівняння техніко-економічних характеристик проекту моєї розробки та найближчих конкурентів цього проекту. За визначальні характеристики було прийнято ціну, складність виробництва, ККД, діапазон ефективної потужності, зовнішній вигляд, а також можливість інтеграції в систему розумного будинку. Єдина характеристика, за якою цей котел об'єктивно не може “вигравати” у конкурентів – ціна, адже модуль-генератор, все ж, досить відчутно впливає на ціну. На тому етапі розробки, на якому зараз знаходиться цей проект, неможливо точно сказати,

якою буде ціна готового продукту, проте зробити її нижчою, ніж у конкурентів, не вдасться. Найімовірніше, вони будуть на одному рівні.

Таблиця 4.2. “Слабкі, нейтральні та сильні” характеристики проекту.

№	Техніко-економічні характеристики	Потенційні конкуренти				W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1	Ціна	TerMoa UA	Viadrus	Bosch	ATMO S	+	-	-
2	Складність виробництва					-	+	-
3	ККД					-	-	+
4	Діапазон ефективної потужності					-	-	+
5	Можливість інтеграції в систему розумного будинку					-	-	+
6	Зовнішній вигляд					-	+	-

У табл. 4.3. розглянуто необхідні для реалізації цього проекту технології. Пункт “доступність технологій”, який можна було побачити у методичних вказівках [32] було замінено на “субпідрядне виробництво” (що передбачає виконання частини сторонньою, найімовірніше, іноземною фірмою). Оскільки у сучасному світі більшість технологій доступні, за їхньої наявності лишаються лише питання логістики. Проект було логічно поділено на частини, що потребують різних технологій.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність проекту.

№	Частина проекту	Технологія створення	Наявність технологій	Субпідрядне виробництво
1	Електронні компоненти	Розробка і створення друкованих плат, монтаж електронних компонентів.	+	-
2	Програмування	Розробка програмного забезпечення “низького” та “високого” рівнів.	+	-
3	Футеровка	Виготовлення футеровки	+	-
4	Термоізоляція	Порізка в розміри термоізоляційних матеріалів	+	-
5	Листовий метал	Порізка в розмір і згинання листових матеріалів корпусу і кожухів.	+	-
6	Литі металеві деталі	Виготовлення нестандартних литих деталей.	+	+
7	Пластикові деталі	Лиття під тиском пластикових деталей: корпусів, турбіни тощо.	+	+
8	Зварювання	Зварювання кожухів, корпусу тощо.	+	-
9	Фінальна збірка	Збірка усіх елементів	+	-
10	Упаковка	Проектування і виготовлення упаковки	+	+

Для визначення ринкових можливостей запуску цього стартап-проекту було створено таблицю 4.4., у якій було наведено попередню характеристику ринку, який надалі має значно зростати, що обумовлено скінченністю енергоресурсів і, як наслідок, постійним зростанням цін на них.

Табл. 4.4. Попередній аналіз ринку.

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	600-800 МВт/рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Значний початковий капітал для організації виробництва.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Наявні специфічні вимоги до сертифікації. Спеціальні сертифікати відповідності.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30

Далі в таблиці 4.5. охарактеризовано потенційну цільову аудиторію, визначено її потреби та особливі вимоги до продукції. Після визначення “портрету” потенційного клієнта проведено короткий аналіз ринкового середовища, який складається з факторів загроз (табл. 4.6) та факторів можливостей (табл. 4.7).

Таблиця 4.5. Опис потенційних клієнтів.

№	Потреба	Цільова аудиторія	Відмінності цільових груп	Вимоги до товару
1	а. Теплопостачання б. Електроенергія	-ЖКГ -Підприємства -Приватні господарства	Для приватних господарств важлива автономність, тоді як для підприємств важливіша економія та стабільна робота котла.	-Економічність. -Мінімізація часу обслуговування. -Гнучка вихідна потужність.

Таблиця 4.6. Фактори загроз.

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Недофінансування	Фінансування проекту буде недостатньо для остаточного запуску виробництва.	Пошук додаткового фінансування і, як наслідок, простоювання і ризик банкрутства.
2	Критичні помилки в конструкції	Модуль-генератор матиме характеристики нижчі, ніж заявлено.	Модернізація конструкції модуля-генератора і, як наслідок, простоювання виробництва і збільшення видатків.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей.

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тендери	Виграш тендерів по закупівлях значної кількості котлів.	Швидке зростання капіталу компанії, розширення виробничих можливостей.
2	Міжнародний ринок	Вихід компанії на міжнародний ринок	Значне зростання капіталу компанії, розширення виробничих можливостей.

В подальшому проводиться аналіз пропозиції (табл. 4.8), у якому визначено загальні риси конкуренції на ринку, та більш детальний аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Характеристика ринкового середовища	Як ця характеристика проявляється	Вплив на дії компанії
1. Тип конкуренції – монополістична.	Велика кількість фірм, що виготовляють схожі продукти з незначними відмінностями.	Необхідність виділитися на фоні інших компанії однією з характеристик, що є вирішальними для клієнта.
2. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний.	Оскільки готові котли досить важкі і габаритні, міжнародна логістика доволі дорога.	Необхідність передбачити логістику для поступового виходу на міжнародний ринок.



Таблиця 4.8 (продовження). Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева.	Розширення ринків збуту та зменшення вартості виробництва.	Необхідність створення одразу високотехнологічного виробництва, основа розширення якого полягатиме у збільшенні кількості виробничих модулів та площ.
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова.	Конкуренція між взаємозамінними товарами.	Збільшені вимоги до якості/ціни/функціоналу.
5. За характером конкурентних переваг – цінова.	Зменшення вартості продукту.	Оскільки основна причина покупки подібного товару – економія, то одним з вирішальних факторів для придбання цієї продукції є її термін амортизації.
6. За інтенсивністю – марочна.	Одним з ключових інструментів маркетингової кампанії фірми слугує її назва.	Необхідність значних ресурсів для утвердження на ринку нової торгової марки.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ATMOS Bosch Viadrus	Виробник и твердопаливних котлів	Виробники металопродукату, лиття, електроніки тощо.	Швидкий строк амортизації.	Теплові насоси.
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби висока	Значне підвищення цін на природний газ зумовить підвищення попиту і кількість конкурентів.	Постачальники не диктують умови на ринку.	Клієнти диктують умови низької вартості продукції і високої автономності котлів.	Товари-замінники не вносять обмежень до роботи на ринку.

На основі проведення аналізу даних, зазначених у таблицях 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 та 4.9, формулюється обґрунтування факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10), базуючись на якому було зроблено аналіз конкурентоспроможності цього стартап-проекту (табл. 4.11) та SWOT-аналіз (табл. 4.12).

Таблиця 4.10.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Вартість	Аналогічний іноземним котел буде коштувати дешевше завдяки меншій вартості робочої сили і орієнтованості на масове виробництво.
2	Економічність	Просунута система керування дозволяє більш ефективно використовувати паливо.
3	Час роботи	Ефективна теплоізоляція камер згоряння в сумі з просунутою системою керування дозволяють повільніше використовувати паливо, що збільшує час автономної роботи.
4	Автономність	Наявність модуля-генератора дозволяє системі опалення працювати без зовнішніх джерел живлення.
5	Дизайн	Малі габарити і приємний дизайн приваблюють значну кількість покупців.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз конкурентоспроможності TerMoaUA.

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні TerMoaUA						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Вартість	18				+			
2	Економічність	13		+					
3	Час роботи	16				+			
4	Автономність	14	+						
5	Дизайн	16			+				

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту.

Сильні сторони: зниження собівартості за рахунок виробництва в Україні, автономність, можливість забезпечення домогосподарств електроенергією, просунута система керування.	Слабкі сторони: додаткові витрати на електроніку, збільшення вартості за рахунок модуля, відсутність готових виробничих потужностей.
Можливості: тендери, вихід на міжнародний ринок.	Загрози: недофінансування, критичні помилки в конструкції.

Альтернатив ринкової поведінки, насправді, немає. Оскільки представлений проект потребує значних капіталовкладень, єдиним шляхом отримання ресурсів є венчурні фонди та приватні інвестори.

#### 4.2. Розробка ринкової стратегії продукту.

Перший крок у розробці ринкової стратегії продукту – вибір його цільової аудиторії (табл. 4.13), а наступний – визначення базової стратегії розвитку (табл. 4.14).

Таблиця 4.13. Цільові групи потенційних споживачів.

№	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживача сприйняти продукт, %	Орієнтований попит в межах цільової групи, тис.	Інтенсивність конкуренції у сегменті, %	Простота входу у сегмент, %
1	Домовласники	90	40	100	80
2	ОСББ	25	1	45	20
3	Невеликі цехи тощо.	65	15	80	70

Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії розвитку.

№	Альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи
1	Виробництво котлів одразу з модулем-генератором	Диференційована	Автономність, енергоефективність
2	Виробництво газогенераторних котлів з просунутою системою керування	Масовий маркетинг	Вартість, дизайн, енергоефективність

Оскільки компанія не є першопрохідцем на ринку, певна кількість характеристик товарів конкурентів, на які споживачі передусім звертають увагу, а саме: об'єм бункера, максимальна потужність тощо, будуть копіюватися. Конкурентна поведінка буде сполучного типу. З огляду на те, що товар відноситься до категорії товарів, які не потребують частотої заміни, необхідно буде шукати нових споживачів, але, оскільки особливості цього продукту роблять його значно помітнішим на ринку, якась частина споживачів буде забиратися у конкурентів.

На основі вимог споживачів до продукту, а також відповідно до обраних стратегії поведінки та розвитку компанії, розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.15.), яка полягає в узагальненні комплексу асоціацій, за яким споживачі будуть ідентифікувати торговельну марку.

Таблиця 4.15. Визначення стратегії позиціонування.

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Ключові конкурентоспроможні позиції проекту	Асоціації, які мають сформувати комплексну позицію продукту
1	Вартість	-	-
2	Економічність	+	+
3	Час роботи	+	+
4	Автономність	+	+
5	Дизайн	-	-

В результаті цього аналізу було отримано стратегію ринкової поведінки компанії, що визначатиме методи і напрям її роботи на ринку.

### 4.3. Маркетингова програма стартап-проекту.

Першим пунктом створення маркетингової програми є формування маркетингової концепції товару, у якій підсумовано потреби споживачів та те, як продукт зможе їх задовольнити, але через те, що ця інформація вже кілька разів повторювалася у попередніх розділах, узагальню: цей продукт задовольняє потребу споживачів у теплі; використовує відновлювальну сировину як енергоресурс; відрізняється від конкурентів тим, що забезпечує споживача ще й електроенергією; є енергоефективним і з гнучким діапазоном ефективної потужності, який забезпечується конструкційними особливостями та просунутою системою електронного керування, а також він може бути інтегрований у систему “розумного будинку”.

В подальшому розроблено трирівневу модель продукту, у якій уточнено його ідею, фізичні складові а також особливості процесу надання цього продукту споживачеві (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Трирівнева модель продукту.

Рівні товару	Сутність та складові
I. Продукт за задумом	Продукт забезпечує потребу споживачів в теплі та електроенергії, при цьому потребує мінімальну кількість часу обслуговування і забезпечує оптимальне використання палива.
II. Продукт у реальному виконанні	Товар повинен відповідати стандартам ринку, на якому буде реалізовуватись. Оптимальним буде його відповідність стандартам ISO для подальшої безпроблемної інтеграції на міжнародний ринок.
	Продукт пакується у картонні коробки з відповідними маркуваннями, шаблон яких прописано в стандартах ISO.
	Назва організації – “TherMoaUA”, продукту – “TheA-1605”.
III. Продукт із підкріпленням	Розглядаються можливості демонтажу встановлених у клієнтів котлів та підготовка “майданчика” для встановлення наших котлів.
	Встановлення та налаштування котлів, продаж запчастин, сервісне обслуговування, телефонні та онлайн консультації.
Від копіювання потенційний продукт захищено наукоємністю розробки і значною початковою капіталізацією для запуску подібного виробництва на прибутковому рівні.	

Ціна на продукт буде встановлена на рівні приблизно 180-200% його собівартості. При розрахунковій собівартості продукції порядку 900

дол/одиницю його ринкова вартість складатиме близько 1700 доларів, це дасть кінцеву маржинальність близько 15-20%.

Система збуту буде реалізована через регіональних дистриб'юторів та за допомогою інтернет магазинів-дистриб'юторів. Будуть проводитись прямі продажі за допомогою сайту компанії, а також різноманітних торговельних онлайн-майданчиків.

### **Висновки розділу.**

Представлений проект можливо реалізувати, адже ринок динамічний, попит постійно збільшується, а рентабельність роботи зростає.

Проект доволі конкурентоспроможний і може розвиватися за двома сценаріями. Перший передбачає розробку модельного ряду спочатку без модуля-генератора, але з можливістю його довстановлення, після досягнення того рівня капіталізації, який дозволить займатись більш наукоємним виробництвом. Другий – більш оптимістичний. За такого сценарію на ринок випускатиметься одразу котел з модулем-генератором.

Наявність таких особливостей, які виділяють цей котел на фоні інших, дозволяє бути впевненим у конкурентоспроможності цього товару. Головним бар'єром для входження на ринок є необхідність доволі значної початкової капіталізації для облаштування і відладки виробництва, розробки електронних і програмних частин, оплати партій запчастин від субпідрядників тощо.

Таким чином подальша реалізація проекту є доцільною, хоча, з великою вірогідністю, це може мати вигляд поступового розвитку від одиничного виробництва до того, що описано в цьому проекті.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У наші дні актуальним є питання збереження вичерпних енергоресурсів, оскільки їх запаси можуть вичерпатися впродовж 55-60 років, за умови збереження поточних темпів їхнього видобування.

Запропонований проект можна розділити на дві логічні частини: модуль-генератор та сам котел. Варто розуміти, що модуль не є ключовим елементом для представленого продукту, оскільки його вплив на кінцеву вартість може стати вирішальним у випадку менш платоспроможних ринків, які є доволі значною нішею цієї продукції.

Модуль-генератор, який було розроблено в ході цієї роботи, побудований на основі термоакустичного двигуна. Передусім, головна перевага термоакустичного двигуна над будь-яким іншим видом двигунів – глобальна мінімізація кількості рухомих елементів, що призводить до зменшення механічних втрат і збільшення ресурсу роботи.

Може існувати багато причин, чому ця технологія не набула досі широкого розповсюдження, але з того моменту, як у 2014 році Aster Thermoacoustics запропонували використовувати двонаправлену турбіну замість лінійних альтернаторів, цей напрям став значно ефективніше розвиватися, адже використання турбіни зменшило вагу, вартість і габарити установок і значно збільшило їх ККД натомість.

Для підтримання стабільних режимів роботи системи автоматики подібних котлів зазвичай використовують лише керування двигуном турбіни примусової тяги. Проте, навіть якщо котел налаштований вручну на оптимальні режими роботи впродовж усього циклу, тобто на усереднені показники в кінці і на початку процесів газогенерації, а також залежно від палива, ці налаштування можуть бути не оптимальними. Якщо навести

аналогію з автомобільними двигунами, звичайний котел – це карбюраторний двигун, а газогенераторний котел – інжекторний. Головна проблема – відсутність адаптивних систем керування цією подачею, як в інжекторних двигунах, і як наслідок – ми отримуємо досить плаваючу ефективність роботи, нижчу, ніж та, якою вона могла б бути, якщо додати електронне керування.

Технологічний процес виготовлення представленої установки розроблявся таким чином, щоб мінімізувати кількість операцій, і затрати часу. Отже, було застосовано доволі оригінальний підхід до виготовлення ряду деталей котла. Наприклад, конструкція деталей турбіни була розроблена так, щоб мати змогу виготовляти їх на установках лиття під тиском. Звісно це зменшує їх ефективність на деякий відсоток, але робить установку доступною для цільової аудиторії. Теплообмінники планується виготовляти методом гарячої екструзії їх профілю з подальшою дообробкою на оброблювальному центрі і впресовуванням чи вклеюванням кришки кожуха. Для виготовлення розкроїв корпусів планується застосовувати апарат плазмової різки. Хоча цей метод має більшу енергозатратність, порівняно з лазерною порізкою чи вирубкою, варто розуміти, що амортизаційна вартість саморобного верстата для плазмового розкрою нижча, ніж одного вирубного штампу таких розмірів.

Конструкція усієї установки та технологічний процес її виготовлення продумані у такий спосіб, щоб терміни та затрати на виробництво були мінімальними.

Для перевірки ефективності роботи турбіни модуля-генератора та дроселя було проведено гідродинамічні симуляції в середовищі Autodesk CFD.

Симуляція дозволила дізнатись та порівняти тиск повітря у проміжках між шторками у різних положеннях та тиск у трубках, через які повітря потрапляє в камеру згоряння. Це дозволило більш оптимально підібрати внутрішній діаметр цих трубок та розміри дроселя.

Також симуляції допомогли переконатись у тому, що обдув генератора для охолодження буде забезпечуватись достатньою мірою. У продовженні роботи над цим проектом має сенс провести більш детальні дослідження розподілення потоку на турбіні для визначення оптимальної геометрії лопаток статора та ротора, оскільки з поточною геометрією турбіна не використовує всю акустичну енергію, яку генерує двигун.

Також було виготовлено прототип системи керування з обмеженим функціоналом.

Під час виконання практичної частини роботи було спроектовано та виготовлено дросельний вузол та блок керування. Механічні частини та корпусні вироби було спроектовано та виготовлено за допомогою адитивних технологій з пластику PLA, після чого зібрано вручну. Електронну схему було спроектовано, виготовлено друковану плату, зібрано модулі, написано програму для блоку керування.

Керуюча програма для принтерів створювалася у програмі Ultimaker Cura.

Прошивку для мікроконтролерів було написано в програмі Arduino IDE.

Таким чином було отримано функціональний прототип спрощеної системи керування.

Що ж стосується стартап-проекту – його можливо реалізувати, оскільки ринок динамічний, попит на продукцію постійно збільшується, а рентабельність роботи зростає.

Проект доволі конкурентоспроможний і може розвиватися за двома сценаріями. Перший передбачає розробку модельного ряду спочатку без модуля-генератора, але з можливістю його довшановлення після досягнення того рівня капіталізації, який дозволить займатись більш наукоємним виробництвом. Другий – більш оптимістичний. За такого сценарію на ринок випускатиметься одразу котел з модулем-генератором.

Таким чином подальша реалізація проекту є доцільною, хоча, з великою вірогідністю, це може мати вигляд поступового розвитку від одиничного виробництва до того, що описано в цьому проекті.

### Список використаних джерел

1. Aster Thermoacoustics - Principle [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.aster-thermoacoustics.com/?page\\_id=141&fbclid=IwAR0SkMl9M3gIKPb\\_\\_6Did2zM7Qni5B0BEdvSCumHzcgxKoj6V02Mh9arV1w](http://www.aster-thermoacoustics.com/?page_id=141&fbclid=IwAR0SkMl9M3gIKPb__6Did2zM7Qni5B0BEdvSCumHzcgxKoj6V02Mh9arV1w).
2. Swift G.W. Thermoacoustic engines and refrigerators: a short course – Los Alamos: Los Alamos National Laboratory, 1999. – 179 с.
3. Design Of A High Efficiency Power Source (HEPS) Based On Thermoacoustic Technology/.. - Michael Petach , Emanuel Tward - Northrop Grumman Space and Technology , and Scott Backhaus - Los Alamos National Laboratory./.. - 2004 - 40 p.
4. Nirvana's Home Energy System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nirvana-es.com/index.html>
5. Линейный генератор с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем. Структура и перспективы применения // <http://centaurproject.com/wp-content/uploads/Lineyniy-generator-s-dvigatelim-vnutrennego-sgoraniya-so-svobodnyim-porshnem.pdf>// Авторы: доцент МАМИ, к.т.н. Кецарис А.А. ведущий конструктор МЗСА Духанин В.И. аспирант МАМИ
6. samelectrik - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://samelectrik.ru/chto-takoe-sinxronnye-dvigateli.html>
7. Storgom - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://storgom.ua/novosti/alternator-generatora-sinhronnyj-schetchnyj-ili-asinhronnyj-besschetchnyj---printsip-raboty-i-osobennosti.html>
8. Aviamodelka - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: [http://shop.aviamodelka.ru/article\\_info.php?articles\\_id=68](http://shop.aviamodelka.ru/article_info.php?articles_id=68)
9. Піноскло в блоках - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.pinosklo.com/penosteklo-ps.html>
10. Bilderclub - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.builderclub.com/statia/teploizolyacionnye-materialy-vybor-teploizolyacionnyh-materialov#пеностекло-ячеистое-стекло>

11. Stroitellist - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <http://stroitel-list.ru/kirpich/chto-takoe-shamotnyj-ogneupornyj-kirpich-vidy-i-xarakteristiki.html>
12. Econel - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <http://www.econel.ru/mineralnaya-vata/>
13. Viadrus Hefaistos P1 3 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://termoplus.com.ua>.
14. Bosch Solid 5000 W-2 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://feko.com.ua>
15. ATMOS DC 25 S [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arma-lux.com.ua>
16. Схема газогенераторного котла [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15308759>
17. Сфера-Юг, ТОВ - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://mariupol.flagma.ua/uk/pellet-toplivnaya-granula-iz-luzgi-o9163457.html>
18. Украинский биотопливный портал - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://pelleta.com.ua/pellety-iz-luzgi-podsolnuxa-o41273.html>
19. AW Therm - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aw-therm.com.ua/drevesnye-pellety-ukrainskogo-proizvodstva>
20. ГазТехніка - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://gastehnika.com.ua/blog/kak-rasschitat-moschnost-kotla/>
21. Master cn ua - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://master.cn.ua/articles/view/1000/>
22. rbc - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://realty.rbc.ru/news/577d08989a7947e548ea42d1>
23. M<https://www.youtube.com/watch?v=rqNRRqAjk6g>

24. Homes overseas - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://www.homesoverseas.ru/news/Srednjaja\\_ploshchad\\_chastnyh\\_domov\\_v\\_Finlandii\\_umenshilas\\_na\\_10\\_kv\\_m](https://www.homesoverseas.ru/news/Srednjaja_ploshchad_chastnyh_domov_v_Finlandii_umenshilas_na_10_kv_m)
25. РБК Україна - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.rbc.ua/rus/news/gosstat-nazval-srednyuyu-ploshchad-novogo-1559123111.html>
26. УДК 633.002.68:620.9 РАСТИТЕЛЬНАЯ БИОМАССА КАК ОРГАНИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО А. А. Осьмак Ассистент\* E-mail: ingmex@ukr.net А. А. Серёгин Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*
27. Энергетический менеджмент [Электронный ресурс] : методические указания и тестовые вопросы для подготовки к вступительному экзамену для поступающих в магистратуру по специальности 8.05060105 «Энергетический менеджмент» / сост. В. А. Маслов. – Мариуполь : ПГТУ, 2016. – 95 с. – Режим доступа: <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/10232>
28. Комплексная переработка лиственницы [Текст] / Э.Д. Левин, О.Б. Денисов, Р.З. Пен. - Москва : Лесн. пром-сть, 1978. - 223 с. : ил.; 22 см.
29. ДелоЮА - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://delo.ua/business/ukraincy-potrebljajut-elektroenergii-v-dva-raza-351827/>
30. YouTube - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.youtube.com/watch?v=rqNRRqAjk6g>
31. Modelistam - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://modelistam.com.ua/elektrosvigateli-g32-770kv-glow-turnigy-p-7322/>
32. Metallicheckiy-portal - [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/alu/AMg1](http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/alu/AMg1)
33. ISO 28238:2010(en) - Compression and injection moulds — Components for gating systems

34. ISO 6751:2011(en) - Tools for moulding — Ejector pins with cylindrical head.
35. ISO 6753-2:1998(en) - Tools for pressing and moulding — Machined plates — Part 2: Machined plates for moulds.
36. ISO 8017:2007(en) - Tools for moulding — Guide pillars, straight and shouldered, and locating guide pillars, shouldered.
37. ISO 9449:2007(en) - Tools for moulding — Centring sleeves.
38. ISO 10072:2004(en) - Tools for moulding — Sprue bushes — Dimensions.
39. ISO 15600:2000(en) - Tools for moulding — Thermal insulating sheets for injection moulds.
40. ISO 16915:2003(en) - Tools for moulding — Sprue pullers.
41. Методичні вказівки з організаційних питань магістерської роботи за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. Спеціалізація - “Інструментальні системи та технології формоутворення деталей”. [Текст] / Уклад.: В.А.Пасічник, В.І.Солодкий, О.В. Глоба,. КПІ ім. І.Сікорського. – 2016, – 64 с.ойдом - [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://moydom.media/other/optimalnye-razmery-komnat-v-chastnom-dome-2791>



## ДОДАТОК А. Матеріали презентації.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КПІ ім. Ігоря Сікорського”

Магістерська дисертація на тему:

# Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення твердопаливного котла з модулем-генератором

КИЇВ 2020

Виконав: студент гр. МІ-92мп  
Сергієнко В.В.  
Науковий керівник: к.т.н., доц.  
Вовк В. В.

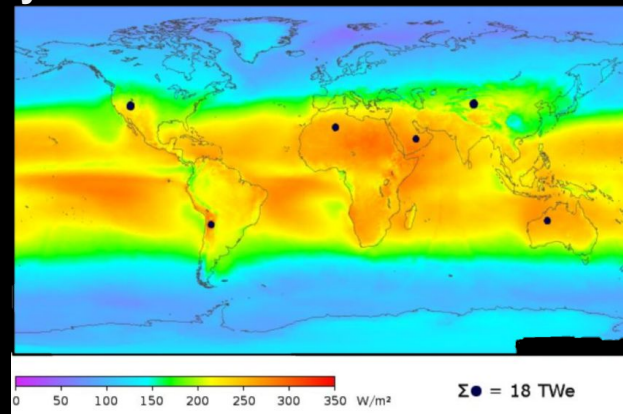
## Актуальність дослідження

Конкурентних рішень, наразі, розробляється досить велика кількість. Але вони, використовують інший підхід до вирішення задачі, і інший тип генераторів та котлів, що значно знижує конкурентоздатність їх пропозицій.



Приклад-конкурент на  
двигуні Стірлінга

Середньомісячний рівень сонячної інсоляції на протязі року змінюється приблизно в 6 разів, таким чином, для досягнення електрогенерації, аналогічної до тої, яку має забезпечувати даний продукт, необхідно мати сонячну електростанцію номінальної потужності близько 10 кВт.



Карта сонячної радіації

## Дизайнерське дослідження та аналіз художньо- конструкторських критеріїв




**Основні конкуренти - ATMOS DC 25 S, Bosch  
Solid 5000 W-2 та Viadrus Hefaistos P1.**

### Типові характеристики продуктів конкурентів.

1. Теплова потужність - 8-25 кВт.
2. Вага - 300-400 кг.
3. ККД - 85-90%
4. Монтаж - на підлозі.
5. Споживана електрична потужність - 50-100 Вт.
6. Об'єм бункера - 50-80 л.
7. Максимальна кількість споживання палива - 5-9 кг/год.
8. Ретейлова ціна 2000-3000 дол. США.

### Котел моєї розробки матиме додаткові переваги у вигляді:

1. Компютеризовану систему керуванням подачі первинного та вторинного повітря.
2. Збільшений ККД, за рахунок системи подачі повітря, що забезпечить повніше згоряння палива.
3. Збільшений діапазон ефективної потужності, за рахунок системи теплоізоляції та керування подачі повітря.
4. Модуль електрогенерації на базі термоакустичного двигуна.



# Мета і задачі дослідження

**Метою** є розробка конструкції та укрупненої технології виготовлення котла з покращеними функціональними характеристиками та конкурентоспроможними можливостями.

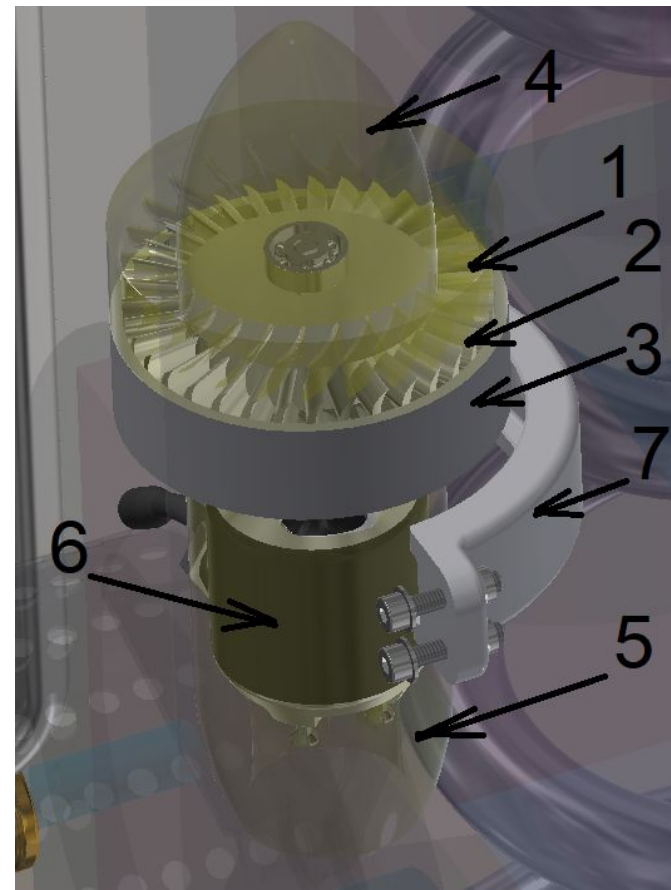
## Задачі дослідження:

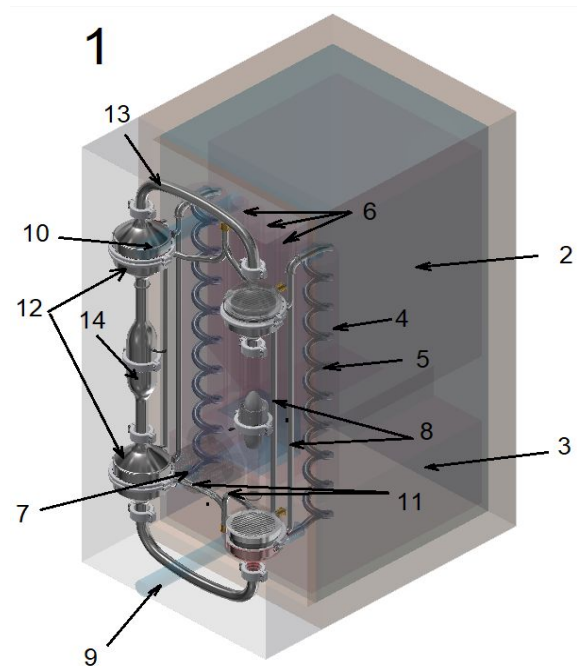
1. Провести аналіз існуючих конструкцій котлів.
2. Проаналізувати шляхи покращення характеристик і дизайну котлів, синтезувати нову конструкцію.
3. В існуючих програмних продуктах провести підрахунок основних параметрів нової конструкції.
4. Вирішити питання “електричної автономності” котла.
5. За допомогою відповідного програмних продуктів перевірити правильність розрахунків (симуляція потоків в елементах котла).
6. Розробити моделі та креслення основних елементів котла.
7. Розробити укрупнену технологію виготовлення елементів котла.
8. Виготовити функціональний прототип дросельного вузла та системи керування.
9. Розробити стартап-проект.



Пропозиція конструкції  
Турбіни на основі  
доробок Aster  
Thermoacoustics

Існуючий  
термоакустичний  
холодильник  
та прототип  
двонаправленої  
турбіни від  
Aster Thermoacoustics

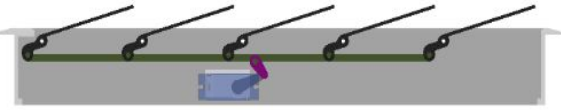




Конструкція модуля-генератора на базі термоакустичного двигуна.



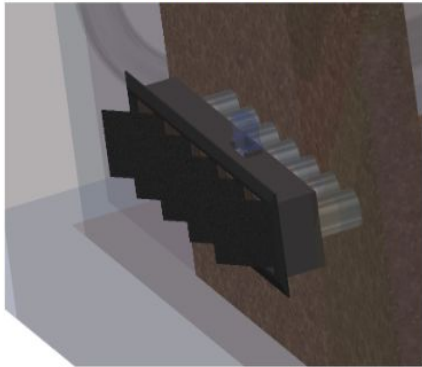
# Система керування котлом. Схема та ключові вузли



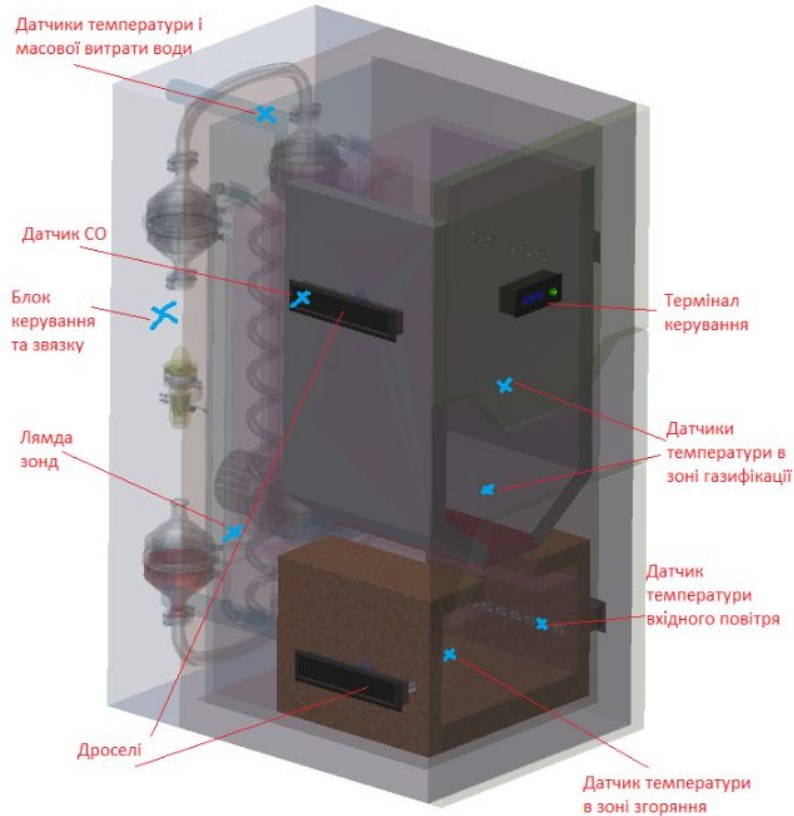
Конструкція дроселя.



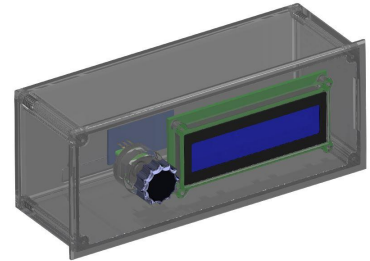
Зовнішній вигляд дроселя.



Рентген дроселя встановленого на котлі.



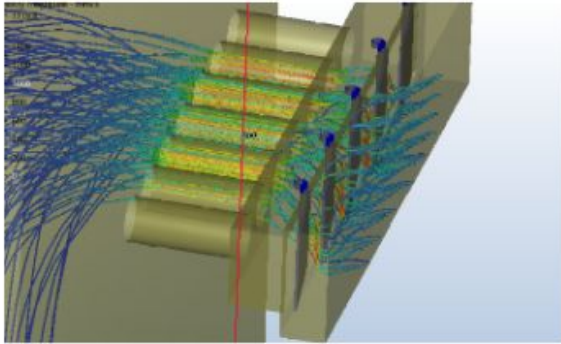
TGS3870-B04  
датчик CO



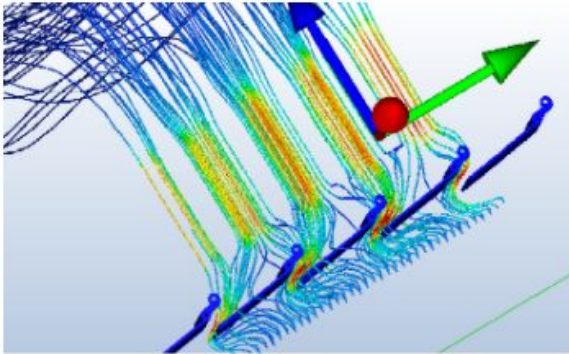
Блок керування



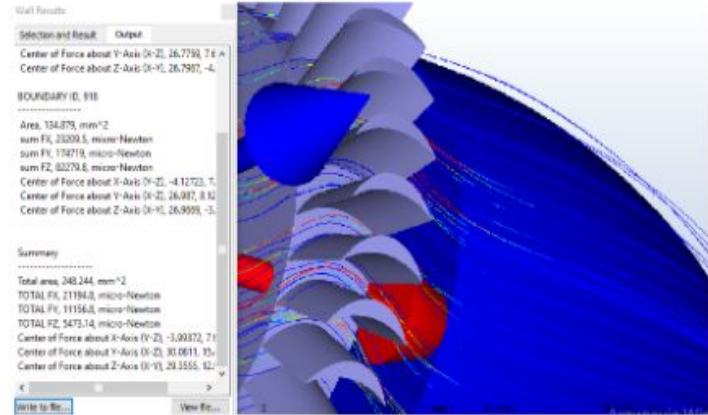
# Динамічні симуляції потоків газу в турбіні та дросельному вузлі



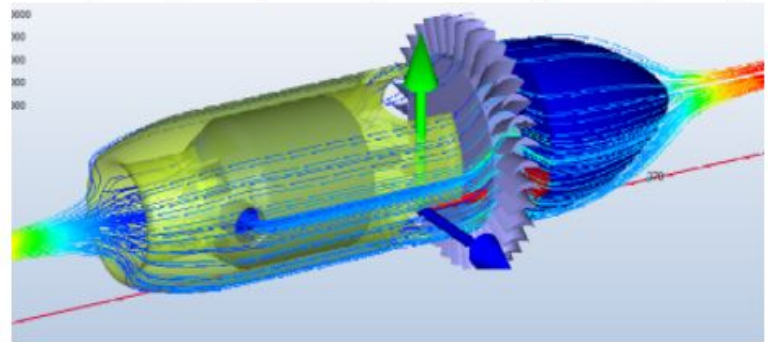
Симуляція розподілу потоків в дросельному вузлі (корпус прозорий).



Симуляція розподілу потоків в дросельному вузлі (корпус приховано).



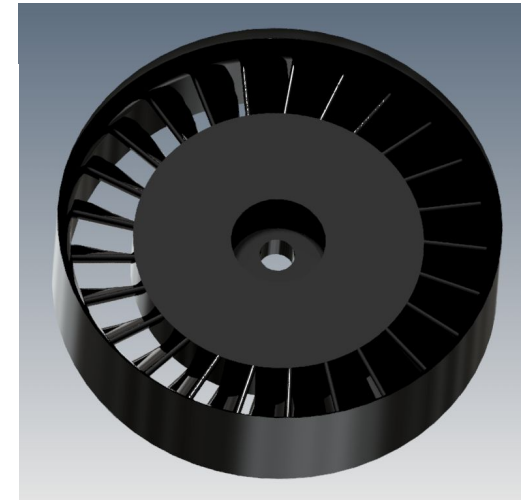
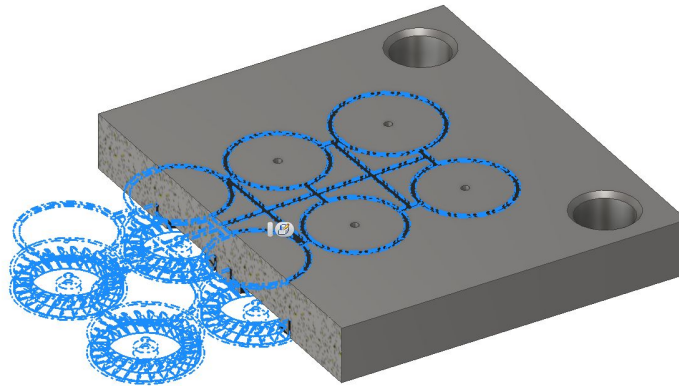
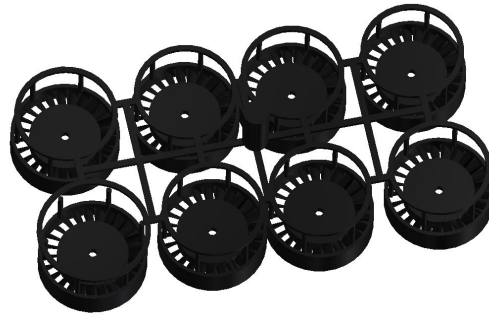
Зусилля, яке сприймає одна лопатка турбіни від потоку газу.



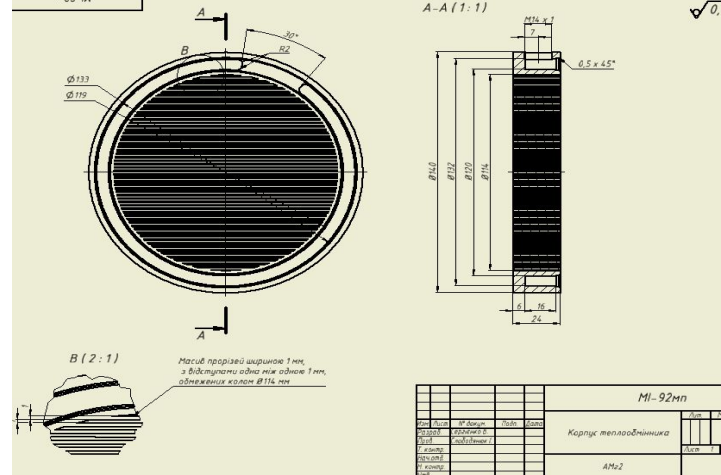
Розподілення потоків газу в турбіні.

# Технологічне забезпечення виготовлення статора турбіни

- Работоспособность1
- Выдавливание2
- Эскиз3
- Круговой массив1
- Выдавливание3
- Сопрежение2
- Сопрежение3
- Сопрежение5
- Круговой массив2
- Круговой массив3
- Выдавливание4
- Выдавливание5
- Выдавливание6
- Сопрежение6
- Выдавливание7
- Выдавливание8
- Непосредственное редактирование
- Конец детали



# Технологічне забезпечення виготовлення теплообмінника

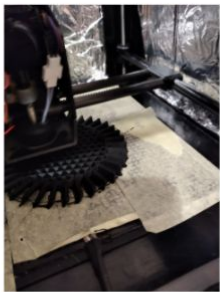


Операція	Ескіз	Обладнання для виконання операції
Гаряча екструзія		Екструзійна установка
Відрізання заготовки		Стрічковий верстат
Торцювання площини		Фрезерний ЧПК верстат
Фрезерування кожуха		Фрезерний ЧПК верстат





# Виготовлення функціонального прототипа



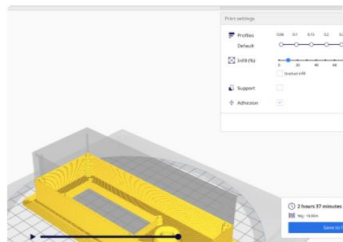
Процес друку ротора турбіни на принтері M3D micro.



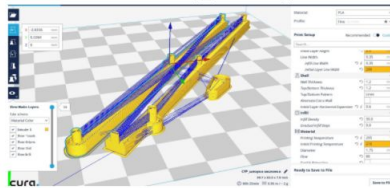
Процес друку корпусу блоку керування на принтері GRABER.



Дросельний вузол, корпус блока керування та макет ротора турбіни.



Слайсинг корпусу блока керування.



Слайсинг та налаштування друку шатунної рейки шторок дроселя.



Плата силового блоку з датчиками.



Блок керування та дросельний вузол.



Відображення даних моніторингу на дисплеї блока керування.

# Стартап-проект

## Зміст ідеї :

Створення котла з модулем-генератором та системою керування, що дозволить забезпечити домогосподарства джерелом автономного постачання тепла та електроенергії.

## Вигоди для користувача:

Забезпечення тепла для приватних будинків та виробничих приміщень.

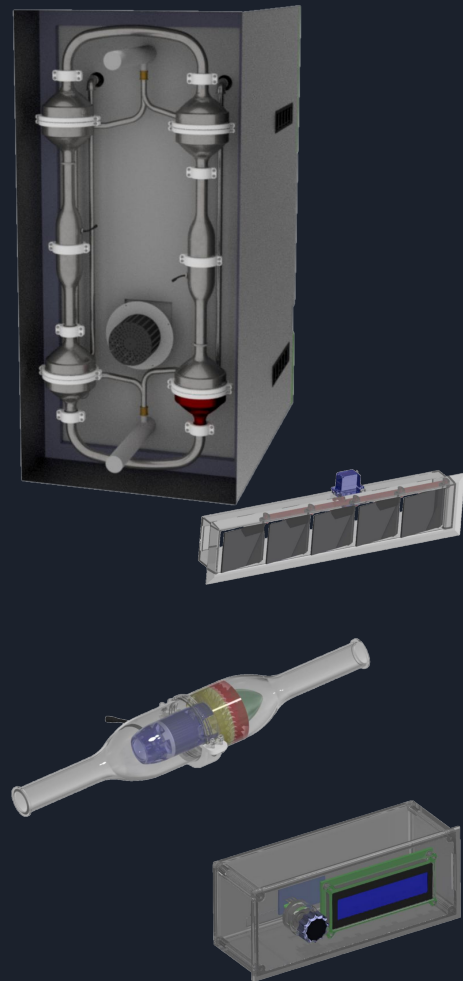
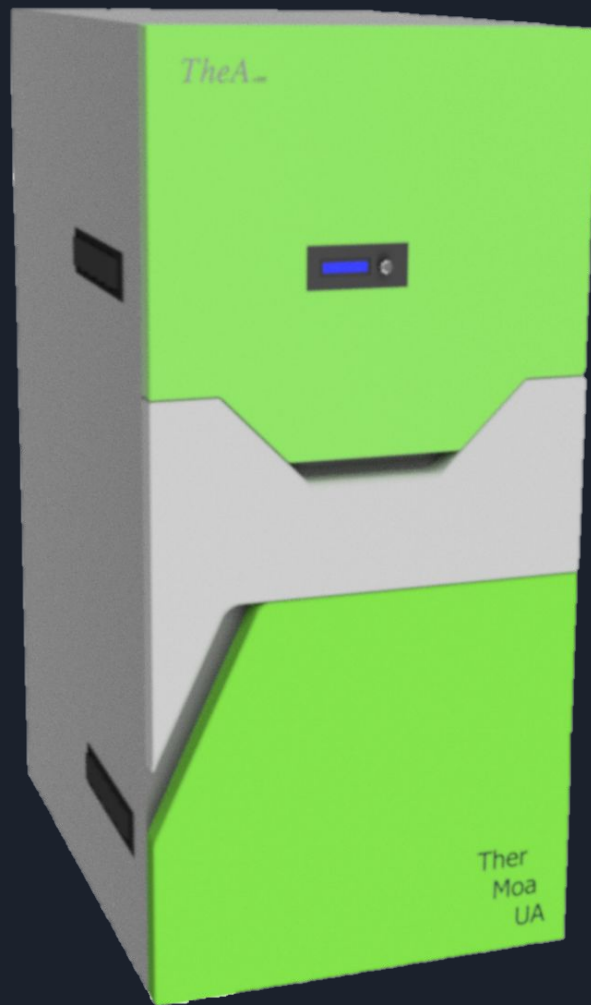
Забезпечення електроенергією житлових приміщень, а також забезпечення безперебійної роботи системи опалення.

## SWOT-аналіз стартап-проекту.

<b>Сильні сторони:</b> зниження собівартості за рахунок виробництва в Україні, автономність, можливість забезпечення домогосподарств електроенергією, просунута система керування.	<b>Слабкі сторони:</b> додаткові витрати на електроніку, збільшення вартості за рахунок модуля, відсутність готових виробничих потужностей.
--	---

<b>Можливості:</b> тендери, вихід на міжнародний ринок.	<b>Загрози:</b> недофінансування, критичні помилки в конструкції.
---	---

**TheA-1605 - нове  
дизайн-конструкторське  
рішення  
газогенераторного  
котла.**



Дякую за увагу

