

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему **Розробка та дослідження технологічного комплексу
спікання керамічних матеріалів**

Виконав (-ла): студент (-ка) _____ ІІ курсу , групи МВ – 01мн

_____ Попов Сімеон Олексійович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник _____ д.т.н., проф.. Шевченко О.В.

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу _____ Макушенко Павло Вікторович,
«Електроніка» _____ Технічний директор Arduino.ua

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу _____ Попов Григорій Олексійович, Software
«Програмування» _____ Development Engineer компанії Luxoft

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу _____ Попов Олексій Юрійович
«Конструкторська _____ д. ф.-м. н., доцент
частина» _____

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

_____ (посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2022

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Навчально-науковий Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма «Технології комп'ютерного проектування верстатів,
роботів і машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 202_ р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Попов Сімеон Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Розробка та дослідження технологічного комплексу спікання керамічних матеріалів** _____

науковий керівник дисертації д.т.н., професор Шевченко О.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від **“01” квітня 2022 року № 793-с**

2. Термін подання студентом дисертації **07 червня 2022 р.**

3. Об'єкт дослідження - процес утримання та маніпулювання контейнерами із підготовленими для спікання деталями порошкової металургії у колоні печі з можливістю прикладання тиску до заготовок підчас процесу спікання.

4. Предмет дослідження - автоматизований комплекс печі для спікання керамічних матеріалів _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Аналіз існуючих конструкцій високотемпературних печей. 2. Розробка, проектування та виготовлення програмованого логічного комплексу для керування виробничим циклом спікання керамічних матеріалів. 3. Вибір основних принципів керування програмованого логічного комплексу. 4. Опис конструкції високотемпературної печі. 5. Розробка експериментальної моделі автоматизованого комплексу печі.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1. Огляд конструкцій високотемпературних печей. 2. Електроніка в проєкті. 3. Розробка програмованого логічного контролера. 4. Програмування. 5. Перша конструкція: технологічний цикл. 6. Нова конструкція: технологічний цикл. 7. Етапи розвитку конструкції. 8. Модуль 1 (з нагрівачем). 9. Модуль 2 (двері). 10. Модуль 3 (штифти). 11. Модуль 4 (колона). 12. Загальний вигляд печі.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Стендова доповідь на конференції The Advanced Materials Show July 2021: «Ceramic sintering equipment with continuous energy saving working cycle», оприлюднена на сайті британського університету University of Huddersfield [<https://research.hud.ac.uk/institutes-centres/materials/results-sub-section/>]. 2. Тези у збірнику II-ї Міжнародної студентської наукової конференції «НАУКА СЬОГОДЕННЯ: ВІД ДОСЛІДЖЕНЬ ДО СТРАТЕГІЧНИХ РІШЕНЬ» під назвою «Remote controller for an automatic sintering furnace».

8. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Електроніка	Макушенко Павло Вікторович, Технічний директор компанії Arduino.ua		
Програмування	Попов Григорій Олексійович, Software Development Engineer компанії Luxoft		
Конструкторська частина	Попов Олексій Юрійович д. ф.-м. н., доцент		

9. Дата видачі завдання _____ 07 лютого 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих конструкцій високотемпературних печей.	лютий 2022	
2	Розробка, проєктування та виготовлення програмованого логічного комплексу для керування виробничого циклу для спікання керамічних матеріалів.	березень 2022	
3	Вибір основних принципів керування програмованого логічного комплексу	квітень 2022	

4	Конструювання високотемпературної печі	травень 2022	
5	Аналіз результатів розробок та оформлення дисертації	червень 2022	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ Олександр ШЕВЧЕНКО

Реферат

Дипломна робота складається з пояснювальної записки 103 стор., 70 рис., 6 таблиць. Графічна частина містить 12 аркушів формату А1.

Розглянуті аналоги промислових печей. До кожної печі наведені основні конструктивні особливості.

Спроектвані в Autodesk Inventor та виготовлені наступні частини проекту: модуль мікроконтролера Arduino Mega, програмований логічний контролер, пульт керування ПЛК, драйвер для сервоприводів DM1500.

Обрані середовища розробки програми проекту та наведені основні патерни, які використовувалися при програмуванні ПЛК.

Описана основна ідея автоматизованої печі для спікання керамічних матеріалів та представлений попередній проект, виконаний в КОМПАС-3D. Проведені експерименти з конструкцією в Autodesk Inventor та SolidWorks. Спроектвані основні модулі прототипу автоматизованого пічного комплексу: модуль з нагрівачем, штифти, модуль із дверима, колона печі.

Проведено порівняльний аналіз автоматизованого комплексу, що розроблюється, із промисловими аналогами, наведеними на початку роботи.

Реферат

Дипломная работа состоит из пояснительной записки 103 стр., 70 рис., 6 таблиц. Графическая часть содержит 12 листов формата А1.

Рассмотрены аналоги промышленных печей. Описаны главные конструктивные особенности каждой из представленных печей.

Спроектированы в Autodesk Inventor и изготовлены следующие части проекта: модуль микроконтроллера Arduino Mega, программируемый логический контроллер, пульт управления ПЛК, драйвер для сервоприводов DM1500.

Выбраны среды разработки программы проекта и перечислены основные паттерны, которые использовались при программировании ПЛК.

Описана основная идея автоматизированной печи и представлен предварительный проект, разработанный в КОМПАС-3D. Проведены эксперименты по конструкции в Autodesk Inventor и SolidWorks. Спроектированы основные модули прототипа автоматизированного печного комплекса: модуль с нагревателем, штифты, модуль с дверью, колонна печи.

Проведен сравнительный анализ разрабатываемого автоматизированного комплекса с промышленными аналогами, приведенными в начале работы.

Abstract

The diploma contains an explanatory note consisting of 103 pages, 70 figures, and 6 tables. The graphical part contains 12 A1 sheets.

Different existing industrial furnaces are described with their main features.

The following parts of the project are designed with the Autodesk Inventor program and manufactured: Arduino Mega microcontroller module, programmable logical controller (PLC), control panel for PLC, servomotor driver DM1500.

The programming environment has been chosen and the PLC programming patterns are presented.

The main idea of the automated ceramic sintering furnace and the preliminary furnace design are presented using the КОМПАС-3D environment. The experiments with the design have been performed in Autodesk Inventor and SolidWorks. The main modules of the automated furnace prototype (i) the heater, (ii) the pins, (iii) the gate, and (iv) the furnace column were designed.

The proposed furnace is compared to the existing industrial analogues.

Зміст

Актуальність _____	4
Мета дослідження _____	5
Об’єкт дослідження _____	5
Предмет дослідження _____	5
Задачі _____	5
1 Розділ 1: Огляд існуючих печей для спікання кераміки _____	6
1.1 Агломераційні печі SABE Forni. Італія _____	6
1.2 Агломераційна піч MOTORS-E.V.E.-10. Італія _____	7
1.3 Паяльна лабораторна піч. США _____	9
1.4 Піч гарячого пресування. США _____	11
1.5 Механічна випробувальна піч. США _____	13
1.6 Піч з рухомим подом серії КК-Н. Німеччина _____	15
1.7 Піч штовхаючого типу. Німеччина _____	17
1.8 Камерна піч із нижнім завантаженням. Німеччина _____	19
1.9 Камерна піч з циліндровим муфелем. Німеччина _____	21
1.10 Камерна піч з підйомними дверцятами. Франція, США, Китай _____	23
1.11 Багатоцільові атмосферні печі із конвеєром. Японія _____	25
2 Розділ 2. Система управління технологічним комплексом _____	27
2.1 Модуль мікроконтролера Arduino Mega 2560 _____	27
2.2 Програмований Логічний Контролер (ПЛК) _____	30
2.2.1 Основна система _____	31

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ					
		№	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Попов С. О.							1		
Перевір.	Шевченко О.В.									
Реценз.										
Н. Контр.										
Затверд.					ММІ НТУУ «КПІ»					

2.2.2	Система аварійного відключення	32
2.2.2.1	Захисний RC-ланцюг	34
2.2.3	Драйвер для сервоприводів DM1500	37
2.2.4	Проблеми, що виникли під час проектування та зборки ПЛК	40
2.2.4.1	Проблема 1: комп'ютер не бачить сервоприводи	40
2.2.4.2	Проблема 2: не всі USB-UART перехідники підходять	42
2.2.4.3	Проблема 3: освоєння бібліотеки DynamixelServo, некоректне відпрацювання кутів	43
2.2.4.4	Проблема 4: допустима довжина кабелів між Arduino та сервоприводами	44
2.3	Проектування та виготовлення пульта керування ПЛК	45
2.3.1	Аналоги панелей керування на прикладі пультів для промислових роботів	46
2.3.1.1	A05B-2518-C204 Fanuc. Японія	46
2.3.1.2	Пульт АВВ. Швеція, Швейцарія	47
2.3.1.3	Контролер компанії КУКА. Німеччина	48
2.3.2	Проект пульта для ПЛК	49
3	Розділ 3. Програмування	52
3.1	Інтегроване середовище розробки	52
3.1.1	Arduino IDE	52
3.1.2	VSCode	53
3.2	Об'єктно-орієнтовне програмування	54
3.3	Патерни в проекті	55
4	Розділ 4. Конструкція печі	58
4.1	Основна ідея печі	58

4.2	Початок проекту _____	58
4.2.1	Оновлена концепція _____	60
4.3	Технологічний цикл _____	63
4.4	Основні вимоги до конструкції _____	64
4.5	Конструктивне рішення 1: труби, токарні деталі та зварювання. Autodesk Inventor _____	65
4.6	Конструктивне рішення 2: конструкційний профіль та листові деталі. SolidWorks _____	67
4.7	Бібліотеки для SolidWorks _____	69
4.7.1	Модуль 1. Кришка з нагрівачем _____	75
4.7.2	Модуль 2. Двері _____	78
4.7.1	Модуль 4. Колона печі _____	79
4.7.2	Модуль 3. Штифти _____	80
4.8	Конструктивне рішення 3: конструкційний профіль та прості листові деталі. SolidWorks _____	83
4.8.1	Модуль 1. Кришка за нагрівачем _____	84
4.9	Модуль 2. Двері _____	85
4.10	Модуль 3. Штифти _____	87
4.11	Модуль 4. Колона печі _____	90
4.12	Загальний вигляд колони печі _____	91
	Порівняльний аналіз _____	92
	Висновки _____	93
	Використані джерела _____	94
	Додатки _____	102

Актуальність: Сталий розвиток промисловості є неможливим без виготовлення високоякісних керамічних матеріалів, які можуть тривалий час працювати умовах високих температур, мають неперевершену твердість, використовуються в якості основних елементів найякіснішої броні. Проте, виготовлення традиційних керамік потребує підтримання високих (близько 2000°C) температур протягом 4 – 6 годин. На сьогоднішній день існують новітні підходи щодо істотного прискорення ущільнення керамічних шихт за рахунок використання нанорозмірних вихідних порошків та застосування методики реакційного спікання. Такі підходи дозволяють скоротити час витримки вихідної порошкової суміші до 5 – 30 хвилин, що вказує на їх істотний потенціал щодо здешевлення процесу створення високотемпературних матеріалів.

Проте, наявне в Україні устаткування для промислового спікання керамік має технологічний цикл, в межах якого кожна партія (близько 1м³) керамічних виробів потребує (а) прогріву всієї пічки, що триває близько 12 годин та (б) охолодження всієї пічки, яке триває близько 24 годин. Зрозуміло, що використання обладнання такого типу істотно знижує ефективність новітніх підходів щодо прискорення та здешевлення виробництва.

Розробка нового технологічного комплексу із автоматичною системою завантаження та розвантаження дозволить уникнути необхідності охолодження та нагрівання всієї пічки для подачі в неї контейнеру із наступною партією заготовок. Використання тепла охолоджуваного контейнеру із вже спеченими виробами для попереднього прогріву контейнеру з заготовками сприятиме подальшому підвищенню енергоефективності, а отже, зниженню собівартості виробництва керамічних матеріалів.

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Мета дослідження: підвищення ефективності процесу спікання деталей порошкової металургії шляхом розробки автоматизованої системи маніпулювання контейнерами між зонами попереднього нагрівання, спікання та подальшого часткового охолодження.

Об'єкт дослідження: автоматизований комплекс печі для спікання керамічних матеріалів.

Предмет дослідження: процес утримання та маніпулювання контейнерами із підготовленими для спікання деталями порошкової металургії в колоні печі з можливістю прикладання тиску до заготовок під час процесу спікання.

Задачі:

- 1) Аналіз існуючих конструкцій високотемпературних печей для спікання сучасної кераміки;
- 2) Розробка, проектування та виготовлення програмованого логічного комплексу (далі ПЛК) для керування виробничого циклу для спікання керамічних матеріалів, що має значний запас по функціоналу для можливості зміни або модернізації проекту протягом експлуатації;
- 3) Вибір основних принципів, що будуть використані при програмуванні ПЛК;
- 4) Опис запропонованої конструкції печі;
- 5) Проектування експериментальної моделі автоматизованого комплексу печі;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1 Розділ 1: Огляд існуючих печей для спікання кераміки

1.1 Агломераційні печі SABE Forni. Італія

Піч SINTER (Рис.1, а) [1] виготовлена Італійською компанією SABE Forni, та використовується для гартування, відпуску, цементації металевих деталей. Модель печі, що має можливість пресування порошків під час спікання представлена на Рис. 1, б [2].

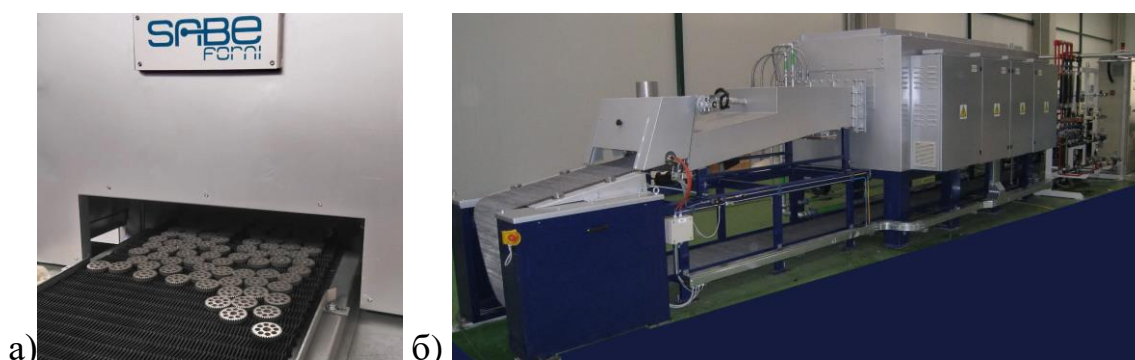


Рис. 1 - Агломераційна піч SINTER: а – модель для печі гартування, відпуску, цементації металевих деталей; б – модель печі з можливістю пресування порошків;

Основні характеристики обох печей однакові (Табл. 1). Основна відмінність полягає у наявності системи пресу в зоні спікання

Таблиця 1. Характеристики агломераційних печей компанії SABE Forni;

Функції	Конфігурація	Джерело тепла	Атмосфера	Максимальна температура
Спікання, закалювання	Конвеєр, неперервної дії	Електричний опір, газ	Контролюєма атмосфера	1120°C

Для підвищення ефективності та скорочення операцій з технічного обслуговування муфель виготовлено із карбиду кремнію. Можливе регулювання відсотка вуглецю в поверхневому шарі металевих заготовок.

Регульована система охолодження дозволяє отримувати різні металургійні структури та ступені гартування завдяки зміні температури. Також, установка може комплектуватись обладнанням для безконтактного вимірювання температури.

Конструктивні особливості представлених моделей печей:

- Замкнута стрічка конвеєра, що проходить через робочу зону з температурою 1120 °С;
- Присутні різні зони для технологічних операцій при різних температурних режимах;
- Наявна зона охолодження відпалених деталей;
- За рахунок нахилу конвеєра, гаряче повітря із зони охолодження піднімається в гарячі зони, завдяки чому частина теплової енергії повторно використовується для нагріву наступних деталей;
- Силові електричні щити розташовані на зовнішній стороні відповідних зонах нагрівання, а не винесені подалі від джерел високої температури;
- Несуча частина печі представляє собою зварені сталеві прокатні профілі;

1.2 Агломераційна піч MOTORS-E.V.E.-10. Італія

Агломераційна піч MOTORS-E.V.E.-10 (Рис. 2) виготовлена Італійською компанією IDROCALOR SRL [3]. Основні характеристики даної моделі представлені в Таблиці 2. Піч може застосовуватися для роботи в різних сферах, таких як: гума, вуглець, пластмасові композитні матеріали, поверхневі покриття, багатошарове скло, упаковка, сухофрукти, синтетичні волокна, одяг. Рівномірний розподіл тепла в робочій зоні обумовлюється вхідним і вихідним повітряним камерам, які забезпечують плавний потік

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

повітря на кожній частині продукту, що підлягає обробці. Джерелом тепла може бути газ, електричний опір або обидва варіанти одночасно. Комплекс також може бути оснащений ручним візком.



Рис. 2 – Агломераційна піч MOTORS-E.V.E.-10;

Таблиця 2. Основні характеристики печі MOTORS-E.V.E.-10;

Функції	спікання, відпал, відпуск, старіння, полімеризація, зміцнення, витримка, вулканізація, сушка, вигорання, порошкове покриття, затвердіння смоли
Конфігурація	камерна
Джерело тепла	електричний опір, газ
Атмосфера	циркуляція повітря, примусова конвекція
Максимальна температура	450 °C

Конструктивні особливості печі MOTORS-E.V.E.-10:

- Коробчаста форма печі;
- ПЛК знаходиться поряд із піччю;
- Пульти керування максимально простий, особливих технологічних можливостей немає;
- Двері відкриваються вручну, підвішені на петлях;
- Скоріше всього теплоізольоване дно виїжджає з печі по напрямним, за допомогою якогось приводу;

- Тип тертя в напрямних – ковзання;
- На печі знаходяться кнопки аварійної зупинки з декількох сторін;
- Для ефективного завантаження робочої зони скоріше всього знадобиться додаткове підйомне устаткування;
- Піч має свою витяжну систему;
- Транспортування печі відбувається частинами: двері, кожна стінка окремо, ПЛК. Збірка печі відбувається на місці;
- Відсутня зона охолодження, отже цикл спікання значно збільшується через необхідність прогрівання великого об'єму стінок печі, а після основного технологічного процесу – його охолодження;

1.3 Паяльна лабораторна піч. США

Установка розроблена американською компанією Materials Research Furnaces [4]. Універсальна лабораторна піч з верхнім завантаженням (Рис. 3, а) створена для розробки, дослідження та тестування матеріалів або процесів. Має можливість програмування атмосферних умов при температурах до 2500°C у візуалізованій програмі керування (Рис. 3, б).



Рис. 3 – Установка паяльної лабораторної печі: а – безпосередньо піч та система управління в шафі; б – програма для керування з комп'ютера;

Основні характеристики лабораторної печі представлені у Таблиці 3. Комплекс може використовуватися і як піч для серійного виробництва, що має повторювану, точну та зареєстровану обробку. Конфігурація верхнього завантаження забезпечує теплову рівномірність і є перевіреною економічною конструкцією. Цю лабораторну піч можна знайти в університетах, коледжах і лабораторіях по всьому світу.

Таблиця 3. Основні характеристики лабораторної печі;

Функції	Конфігурація	Джерело тепла	Атмосфера	Максимальна температура
пайка, спікання, відпал, термообробка	камера, яма	Електричний опір	водень, інертний газ, вакуум	2500 °С

Конструкційні особливості лабораторної печі:

- Піч не має особливого захисту електричної системи нагрівача, а дизайн важко назвати ергономічним. Це означає, що модель призначена не для промислового виробництва, а для роботи професіоналами-вченими та суто для досліджень;

- Якість виконання ПЛК – значно вища. Складна візуалізована програма створена суто під дану модель, ПЛК захищений корпусом;

- Судячи з рівня відпрацювання програми на ПЛК та експериментальну направленість моделі – малоймовірно, що піч розрахована на керування з комп'ютера, тим паче – на відстані;

- Окрім програми, для контролю показників, на ПЛК виведені 6 датчиків із механічними стрілками;

- Несуча рама складається зі зварених сталевих квадратних труб;

- Конструкція нагрівача базується на стандартних трубах із нержавіючої сталі (принаймні зовнішній кожух стінки);

- Через малі габарити самої пічки та надзвичайно високу температуру роботи можливі два варіанти: або зовнішні стінки під час роботи значно нагріваються, або робоча зона печі надзвичайно малих розмірів;

1.4 Піч гарячого пресування. США

Виготовлена американською компанією Materials Research Furnaces (Рис. 4, а) [5]. Печі гарячого пресування даної лінійки моделей, із навантаженням 25–100 тон, мають камери 305 мм х 305 мм та розміщені на великих 4-стійкових рамах. Можливе становлення різних пресів: 25, 50, 75 і 100 тон. Хід штоку 152 мм (Рис. 4, б), що дозволяє виготовляти деталі з великим ступенем усадки.

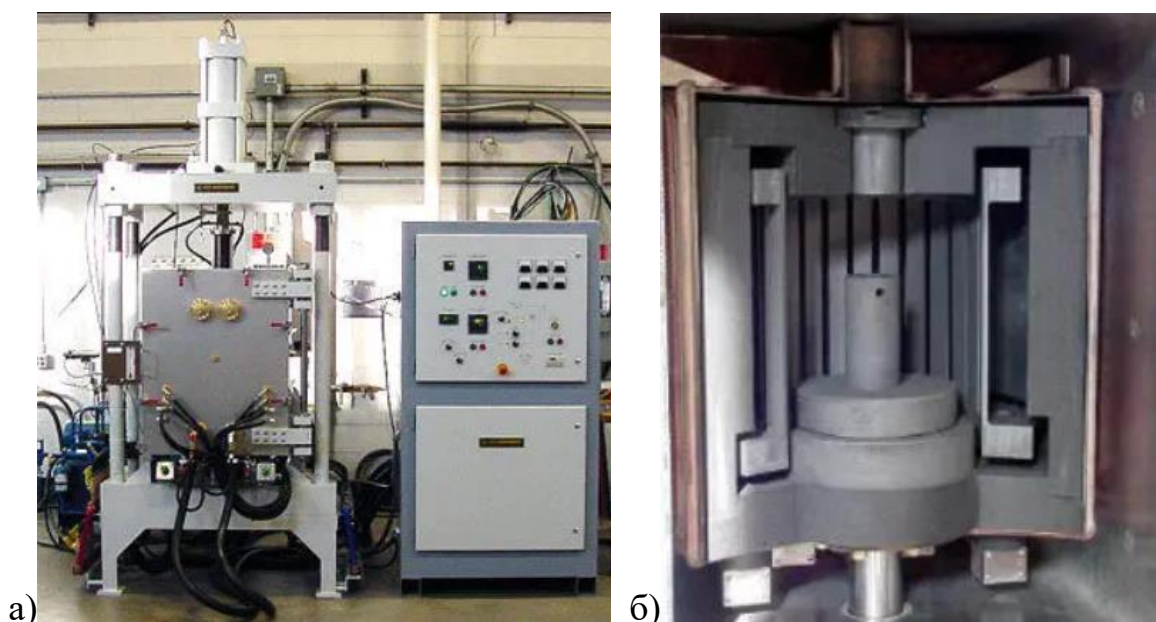


Рис. 4 – піч гарячого пресування: а – установка печі з шафою керування; б – робоча камера печі з рухомим штоком, який прикладає навантаження до заготовки, протягом спікання;

Керування температурою може бути синхронізовано із рухом штоку або прикладеним навантаженням. Шток також можна перелаштувати з керування ходом на керування зусиллям, після досягнення певного навантаження. Контроль температури реалізується за допомогою термопар та/або

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

пірометра. Піч можна легко переобладнати на періодичну піч для виробництва. Основні характеристики пічного комплексу представлені в Таблиці 4.

Таблиця 4. Основні характеристики печі гарячого пресування.

Функції	Конфігурація	Джерело тепла	Атмосфера	Максимальна температура
термообробка, відпал, плавлення, спікання, затвердіння, зміцнення, прес	камера	електричний опір	вакуум, контрольована атмосфера, інертний газ	1,650 °C, 2,200 °C, 2,300 °C, 2,600 °C (в різних моделях даного типу)

Особливості конструкції печі гарячого пресування:

- Змінні модулі нагрівачів;
- Можливе створення вакууму;
- Піч розташована всередині чотрчозстойкової рами, зверху якої встановлено прес;
- Висота опори пресу може бути змінена за допомогою чотирьох великих гайок на кожній стойці (та чотирьох контргайок);
- Прес давить на деталь, деталь – на модуль нагрівача, а нагрівач, в свою чергу, передає диск на сталевий шток, який заходить у вакуумну камери знизу та, в решті решт, спирається на раму;
- Щит, за допомогою якого відбувається керування даним устаткуванням знаходиться поряд із піччю;
- Панель керування має простий, лаконічний інтерфейс та складається з набору кнопок і датчиків;
- Ізоляція нагрівача представляє собою набір простих деталей з графіту, виготовлених на токарному верстаті;

1.5 Механічна випробувальна піч. США

Виготовлена американською компанією Materials Research Furnaces (Рис. 5) [6]. Дані печі гарячого пресування (5 і 10 тон) мають гарячу зону з розмірами: 100мм на 200мм. Можуть бути оснащені керамічною камерою (Рис. 5, 1) гарячого пресування для роботи на повітрі (максимальна температура 1650°C), графітовою (Рис. 5, 2) або металевою камерою (Рис. 5, 3) – для роботи у вакуумі або інертному газі. Основні характеристики наведені в Таблиці 5.



Рис. 5 – механічна випробувальна піч: 1 – керамічна камера; 2 – графітова камера; 3 – металева камера;

Штанги преса мають 100мм ходу з точністю 0,02мм. Максимальний тиск – 10 тонн, контролюється з точністю 0,01%. Доступні насосні системи: дифузійні насосні системи, турбонасосні системи вакуумні системи чорнової обробки (які йдуть у базовій комплекації). За необхідності роботи при температурах вище 2000°C у комплект устаткування входять термопарний

1.6 Піч з рухомим подом серії КК-Н. Німеччина

Піч з рухомим подом виготовлена Німецькою компанією LINN HIGH THERM [7] (Рис. 6). Піч має резистивний нагрів, максимальна температура повітря в робочій зоні складає 1340°C. Ізоляція виконана з вогнетривкої легковагої цегли та волокнистого ізоляційного матеріалу.



Рис. 6 – піч з рухомим подом, серії КК-Н;

Під печі сконструйований у формі візка, покритого пластинами. Рух візка обумовлюється безрейковим механізмом керування. Нагрівальну спіраль підвішують на керамічні трубки, що встановлені на три стінки, двері і під печі. Масивний корпус, виготовлений із рами (профільні труби) та листової сталі, покритий спеціальною фарбою. Особливістю фарби є те, що вона не тільки захищає від корозії, а і витримує постійні перепади температури та теплові деформації металу, обумовлені технологічними циклами нагрівання-охолодження.

Особливості конструкції печі з рухомим подом:

- Нагрівальна спіраль намотана на трубки, які спираються на лунки, закріплені в стінах;
- Нагрівання з чотирьох сторін: три стіни та двері;

- Стінки виготовлені з двох видів теплоізолюючої цегли встановленої в металевий кожух печі;
- Час технологічного циклу значно збільшується через підготовчі процеси по нагріванню на охолодженню величезного об'єму стінок печі;
- Скоріше всього, двері відкриваються вручну;
- Теплоізолюваний рухомий под представляє собою візок на рельсах;
- Передні та задні колеса візка не мають спільної вісі, а представляють собою чотири окремі колеса на V-образних опорах;
- Привід поду представляє собою два двигуни з ланцюговою редукцією передачею, встановлені на задні колеса візка;
- Електричний струм передається на приводи візка через кабелі, заховані у кабельканал;
- Цей кабельканал, при заведеному в піч поді на закритій двері, знаходиться під піччю та не заважає пересуванню навколо неї;
- Робочий об'єм печі обумовлює завантаження невеликих деталей у стелажі, які, за допомогою додаткової вантажної машини, встановлюються на під печі;
- Для ізоляції робочої зони від повітряної конвекції під печі утворює зі стінками лабіринтні ущільнення;
- Над піччю встановлено витяжку, яка іде в комплекті з даним устаткуванням;
- Транспортується піч великими блоками: три стінки зі стелею (у великому залізному корпусі) та двері, ПЛК, під печі, рельси, елементи витяжки;
- Встановлення важких елементів, скоріше всього, планується тією самою вантажною машиною, яка при роботі печі буде ставити стелажі на під. Для цього на печі передбачені вушка, а на ПЛК – РИМ-болти;

1.7 Піч штовхаючого типу. Німеччина

Пічний комплекс штовхаючого типу, так само як і попередній, виготовлений Німецькою компанією LINN HIGH THERM [8](Рис. 7). Використовується для безперервного відпалу карбіду вольфраму в атмосфері N_2 та Ar , при температурах до $2500^{\circ}C$ та подальшого охолодження. Графітові контейнери з заготовками для відпалу, у вигляді човників, завантажуються на початок конвеєра (Рис.7, 1) робітником.

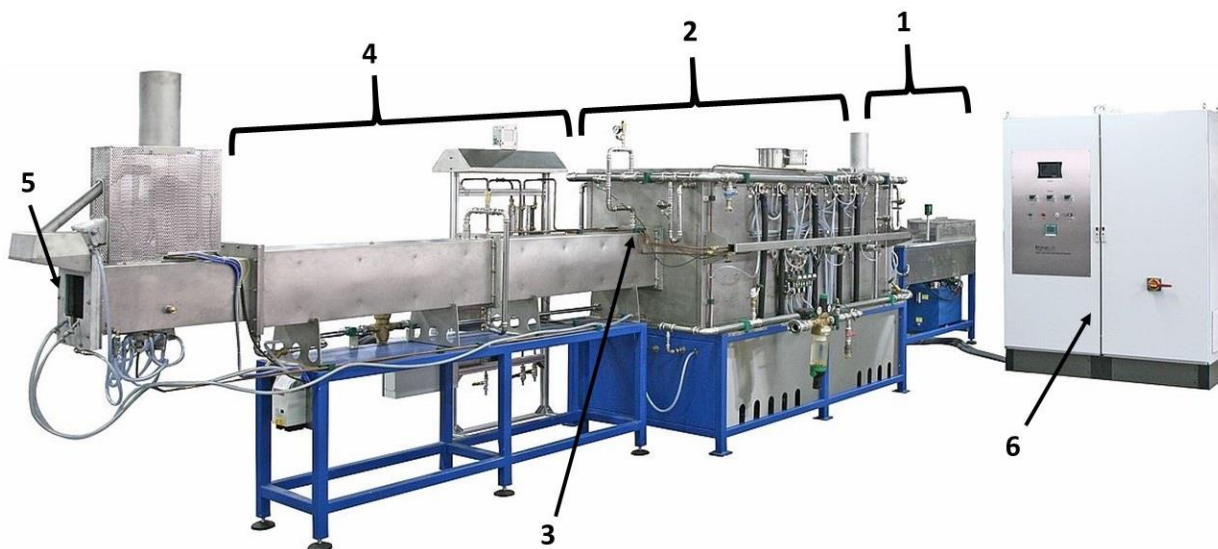


Рис. 7 – піч штовхаючого типу: 1 – зона завантаження; 2 – зона спікання (нагрівання); 3 – нагнітаюча повітряна система, що зменшує вихід гарячого повітря із високотемпературної зони; 4 – зона охолодження човників (контейнерів) з деталями; 5 – отвір, через який відбувається вивантаження човників з печі; 6 – ПЛК;

Далі, під дією штовхаючого механізму, човники, один за одним, потрапляють у зону нагріву та, безпосередньо, відпалу (Рис. 7, 2). Графітові нагрівальні елементи розташовані у бокових стінках основної технологічної зони. Зниження теплових втрат із зони нагріву у зону завантаження та зону водяного охолодження (Рис. 7, 4) забезпечується струменями повітря (Рис. 7, 3) на межах зон. Після охолодження, човники вивантажують на кінці конвеєра (Рис. 7, 5). Технологічний процес завантаження в робочу зону,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

17

нагріву та охолодження автоматизовано за допомогою контролеру (Рис. 7, 6), що розташовується неподалік від комплексу.

Особливості конструкції печі штовхаючого типу:

- Транспортування деталей відбувається у спеціальних графітових лодочок, за допомогою штовхаючого механізму;

- Зона завантаження, сама піч та зона охолодження встановлені на три окремі рами, зварені зі сталевих профільних труб;

- Рама, на яку встановлюється відділ печі не варіюється по висоті;

- Висота розташування зон завантаження та охолодження виставляється по зоні спікання, за допомогою гвинтових ніжок, встановлених на відповідних рамах;

- Оскільки траєкторія руку човників є суто горизонтальною – необхідно якимось чином уникнути конвекції гарячого повітря з нагрівальної зони назовні, через зони завантаження та охолодження. Рішення задачі полягає у встановленні повітряних нагнітаючих систем, розташованих на межах зон: гаряче повітря затягується у нагнітаючі системи та повертаються у зону спікання через трубки, які спрямовують гарячий потік з «холодних» зон всередину камери високої температури;

- Відсутня проблема необхідності витрачання часу на прогрівання та охолодження печі: піч може працювати безперервно завдяки наявності зони охолодження;

- В процесі охолодження тепло повторно не використовується;

- Піч працює в безперервному режимі;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

1.8 Камерна піч із нижнім завантаженням. Німеччина

Виробник – LINN HIGH THERM. Піч призначена для спікання або кальцинації оксидної/неоксидної кераміки при температурах до 1700°C [9] (Рис. 8). Ізоляція виконана з цегли та волокна. Резистивний, електричний нагрів реалізується з чотирьох сторін дванадцятьма U-подібним вольфрамівими нагрівачами [10]. Загальна потужність нагрівання – 24кВт. Газощільна камера дає можливість спікати матеріали у газовій атмосфері (Ar, H₂, N₂).



Рис. 8 – камерна піч з нижнім завантаженням;

Для підвищення безпеки користувача в комплексі присутня система оповіщення про витік газу, аварійні системи продування газом та охолодження водою. Для підвищення якості матеріалу, що спікається, в конструкції передбачено конденсатовідвідник та циркуляційний охолоджувач.

Особливості конструкції камерної печі із нижнім завантаженням:

- Під печі опускається, на нього встановлюється заготовка, після чого під підіймається в робочу зону;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

- Об'єм реальної робочої зони печі значно менший, за внутрішній об'єм куполу печі з нагрівачами. Причиною того є довгі трубки, через які в піч подається газ. Входять трубки у робочу зону крізь стелю купола печі.

- Піч погано підходить для серійного виробництва деталей через її малий корисний об'єм та складність завантаження (яким чином воно реалізується – залишається незрозумілим);

- Нагрівальні елементи не у вигляді спіралей, а представляють собою U-подібні вольфрамові нагрівачі;

- Технологічний цикл печі значно збільшується через необхідність витрачання часу та енергії на розігрівання та охолодження великого об'єму стінок печі;

- Під печі при підйомі утворює зі стінками східчасте ущільнення;

- Разом з пічною системою поставляється герметична камера з перчатками, для роботи з деталями (схоже, система призначена здебільшого для дослідних задач). Шлях переміщення заготовки з цієї зони на під печі залишається незрозумілим;

- Комплекс встановлено на раму зварену зі сталевих профільних труб. Рама печі спирається на гвинтові ніжки. Рама ПЛК встановлена на колеса;

- Інтерфейс керування ПЛК складається з кнопок, тумблерів, декількох датчиків та невеликого екрану;

- Скоріше всього, транспортування проводиться у зібраному стані (лише ПЛК – окремо). Хоча можливе і розібрання комплексу на декілька окремих елементів;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

1.9 Камерна піч з циліндровим муфелем. Німеччина

Останній, у цьому огляді, представник печей компанії LINN HIGH THERM призначений для таких задач, як: тверда пайка, гартування, окислення, спікання, відпал для зняття напруги, нанесення захисного шару на поверхню та термообробка деталей з титану серед захисного газу (Рис. 9) [11].



Рис. 9 - Камерна піч з циліндровим муфелем;

Камерна піч – газоплотна та вакуумоплотна, має три зони електричного нагріву. Максимальна температура тривалої роботи становить 1100°C, а при роботі у вакуумі - 700°C. Такі температури забезпечуються нагрівальними спіралями, виконаними з FeCrAl. В робочій зоні, діаметром 1000мм та довжиною 1050мм, розташовані 9 буксирних термопар. Загальна потужність нагрівальних елементів – приблизно 130 кВт. Керування комплексом відбувається через ПЛК за допомогою програми, виведеної на сенсорний екран.

Основні конструктивні особливості камерної печі з циліндричним муфелем:

- Форма робочої зони – горизонтально розташований циліндр, що знижує ефективність використання робочого об'єму;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

21

- Нагрівальні спіралі розміщені по всій бічній стороні циліндричної робочої зони;

- Враховуючи відношення розмірів робочої зони та товщину стінок, можна стверджувати, що у теплоізоляції використано азбест, який деякі світові вчені принципово не використовують через його канцерогенність;

- Для базування контейнерів/пластини з деталями, в робочій зоні виконано дві пари сходинок;

- Технологічний цикл спікання значно збільшується через витрати часу на розігрів та охолодження великого об'єму стінок;

- Двері відкриваються/закриваються та закріплюються в закритому положенні вручну;

- Двері додатково притискаються до печі лабіринтним ущільненням;

- Можливе створення вакууму в робочій зоні;

- Інтерфейс керування ПЛК представляє собою декілька кнопок, датчиків та великий сенсорний (скоріше всього) екран;

- Враховуючи те, що програма виведена на екран ПЛК – мала ймовірність того, що піччю можна керувати ще й з комп'ютера, тим паче – на відстані. Такі опції значно ускладнять написання програми, а враховуючи дрібносерійну направленість печі, довгий технологічний цикл та ручне відкривання дверей, керування на відстані здається і непотрібним;

- Піч встановлено на раму, заварену зі сталевих профільних труб;

- Транспортування печі відбувається у зібраному стані, лише ПЛК – окремо;

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

1.10 Камерна піч з підйомними дверцятами. Франція, США, Китай

Камерна піч, схожа на велику шафу, з підйомними дверями спроектована та виготовлена французькими спеціалістами компанії Ceradel Industries (Рис. 10) [12], використовується для спікання технічної кераміки при високій температурі. Представлений пічний комплекс, з корисним об'ємом 43 м², працює при температурах до 1600°C. Нагрівальні елементи виготовлені з MoSi₂.

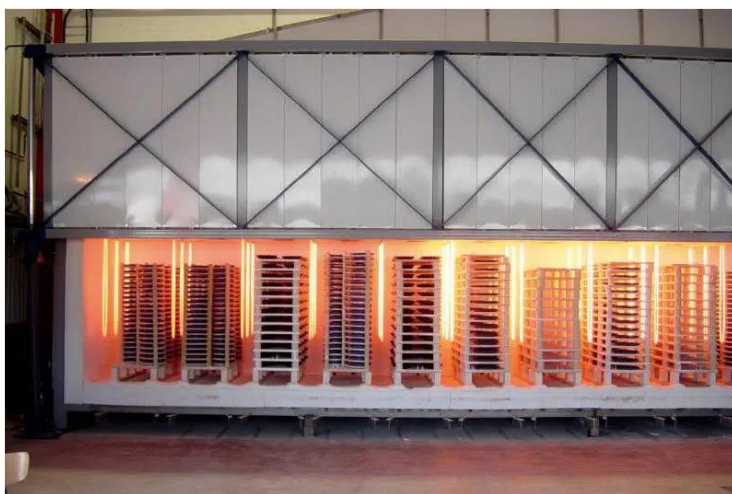


Рис. 10 – піч з підйомними дверцятами;

Основні конструктивні особливості печі з підйомними дверцятами:

- Величезна робоча зона, яка завантажується палетами з деталями;
- Враховуючи товщину стінок, можна стверджувати про використання азбесту;

- Для одного циклу спікання необхідно спочатку завантажити палети з деталями, повністю розігріти піч, а після завершення основного технологічного циклу – повністю остудити, для можливості розвантаження;

- Піч призначена для масового виробництва, та не розрахована на безперервну роботу по спіканню;

- Двері підіймаються гідроприводами. Принцип роботи такий самий і у Американської моделі (Рис.11) [13] від компанії Thermcraft;

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ



Рис. 11 – піч з підйомними дверями, американської компанії Thermcraft;

Інший тип приводу підйому двері – ланцюгова передача, представлений на прикладі роликової печі безперервної дії, створеної китайською компанією HKFURNACE (Рис. 12) [14]. Піч розроблена для безперервної термічної обробки деталей з загартуванням, може утворювати захисну атмосферу і знижувати окислення заготовки за рахунок переходу в крекінг метанолу.



Рис. 12 – роликова піч безперервної дії з підйомними дверями;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

24

1.11 Багатоцільові атмосферні печі із конвеєром. Японія

Японська компанія Shiraishi Electric Industrial Cooperation. Виробляє велику кількість печей, пічних комплексів та, зокрема, багатоцільові атмосферні печі з конвеєрами. Що цікаво, на відміну від компаній інших країн, на сайті цієї компанії можна знайти фотографії робіт лише у досить низькій якості з мінімумом інформації [15]. Тож у цьому розділі буде представлена декілька печей, одночасно (Рис. 13).

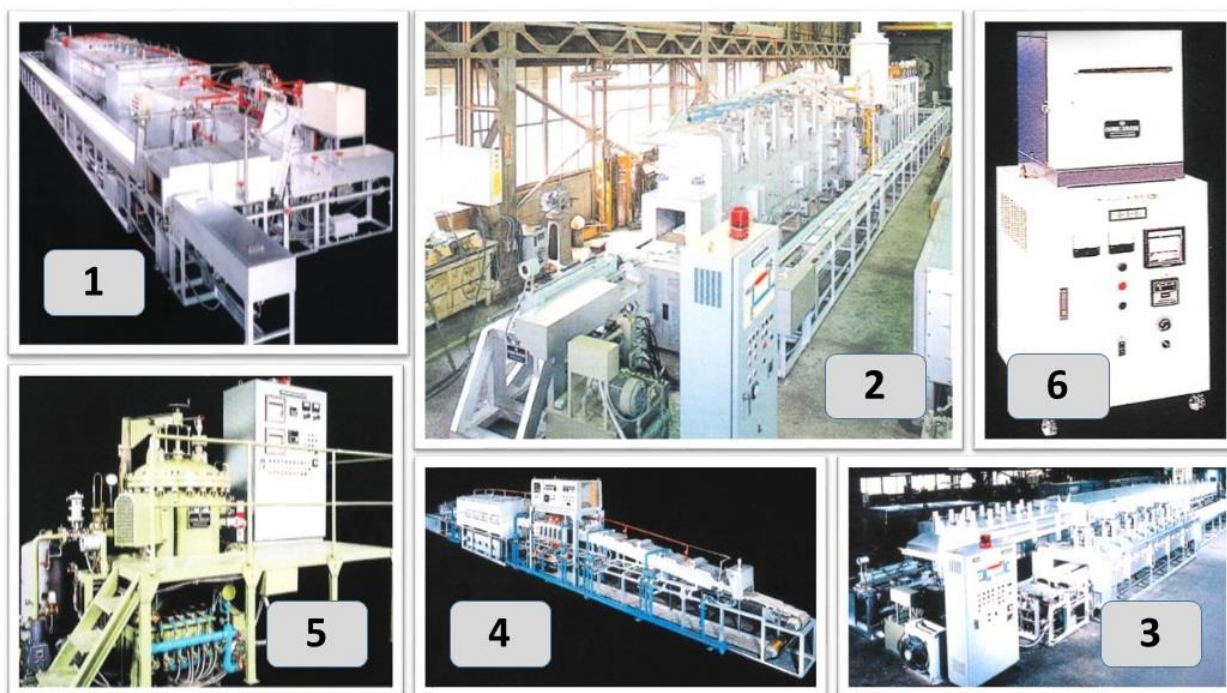


Рис. 13 – пічні комплекси японської компанії Shiraishi Electric Industrial Cooperation:

1 – автоматизована високотемпературна атмосферна піч штовхаючого типу; 2 – автоматизована високотемпературна піч повітряної атмосфери штовхаючого типу; 3 – автоматизована двокамерна піч штовхаючого типу; 4 – піч конвеєрного типу для пайки; 5 – вакуумна піч для спікання під тиском; 6 – атмосферна агломераційна піч коробчатого типу;

• **Повністю автоматична високотемпературна атмосферна піч штовхаючого типу (Рис. 13, 1).** Призначена для металізованого спікання керамічних пакетів. Максимальна температура 1700°C. Атмосфера:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

25

N₂+N₂gas. Потужність комплексу складає 260кВт. Загальна довжина печі з конвеєром становить 21м;

•**Повністю автоматична високотемпературна піч повітряної атмосфери штовхаючого типу (Рис. 13, 2).** Використовується для спікання керамічних підкладок. Максимальна температура роботи складає 1700°C, при потужності 300кВт та загальній довжині 25м. Нагрівання відбувається за допомогою тепловентиляторів циркуляційного типу. Атмосфера в робочій зоні: повітря;

•**Повністю автоматична двокамерна піч штовхаючого типу (Рис. 13, 3).** Також використовується для спікання керамічних підкладок. Максимальна температура 1500°C, потужність 350кВт. Передача тепла: радіаційне опалення. Загальна довжина 23м, атмосфера: повітря;

•**Піч конвеєрного типу для пайки (Рис. 13, 4).** Призначення: пайка керамічних металізованих виробів. Устаткування має сітчастий стрічковий конвеєр, шириною 280мм. Температура роботи від 750°C до 1150°C. Потужність нагріву складає 140кВт. Довжина комплексу 16м;

•**Вакуумна піч для спікання під тиском (Рис. 13, 5).** Призначена для спікання нової кераміки. Нормальна температура роботи складає 1950°C, максимальна - 2400°C. Потужність 30кВт. Атмосфера: вакуум, газ N₂ або газ Ar. Можливе прикладання тиску до заготовки під час спікання (до 9,9кг/см²). Циліндрична робоча зона має наступні розміри: діаметр 100мм та висоту 100мм;

•**Атмосферна агломераційна піч коробчатого типу (Рис. 13, 6).** Використовується для спікання керамічних деталей при температурах від 750°C до 1150°C у повітряній атмосфері. Потужність печі 3кВт. Розміри робочої зони 140x140x140 мм;

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

26

2 Розділ 2. Система управління технологічним комплексом

2.1 Модуль мікроконтролера Arduino Mega 2560

Систему управління експериментальним комплексом було вирішено зробити на базі мікроконтролерів Arduino. Основною метою мікроконтролерів даного типу є можливість швидкого складання електричних схем, та для надійного під'єднання кабелю до контактів мікроконтролерів існують спеціальні мікросхеми (шилди від англійського shield), що розводять усі контакти на клемні колодки (Рис. 14, а, б, в).

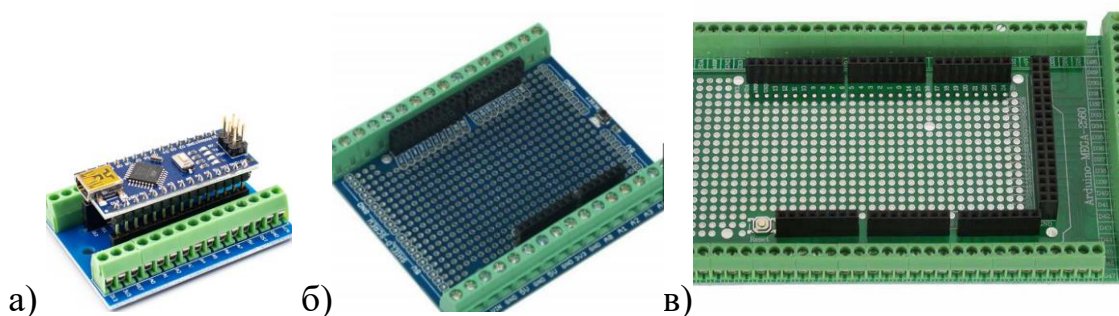


Рис. 14 [16] – шилди з клемними колодками для різних форм-факторів Arduino: а – Nano; б – Uno; в - Mega 2560;

В проекті використовується плата Arduino Mega 2560, через найбільшу кількість управляючих контактів на ній. На момент розробки проекту придбати шилд з клемними колодками для обраного мікроконтролера виявилось неможливим, тож довелось спроектувати «Модуль мікроконтролера» із саморобним шилдом, що виведе сигнальні контакти на клемні колодки.

Вимоги до «Модуля мікроконтролера»:

1. Виведення контактів на клемні колодки;
2. Захист мікроконтролера та шилда корпусом;
3. Через наявність корпусу, необхідно встановити примусове повітряне охолодження;
4. Індикація живлення мікроконтролера;

Розроблено дві плати-шилда (Рис. 15, а, б), що встановлюються зверху на Arduino Mega 2560 та разом утворюють жорстку конструкцію-бутерброд (Рис. 15, в). Тривалий час зайняв процес компактного розведення восьмидесяти контактів, що нагадував гру Flow (Рис. 15, г).

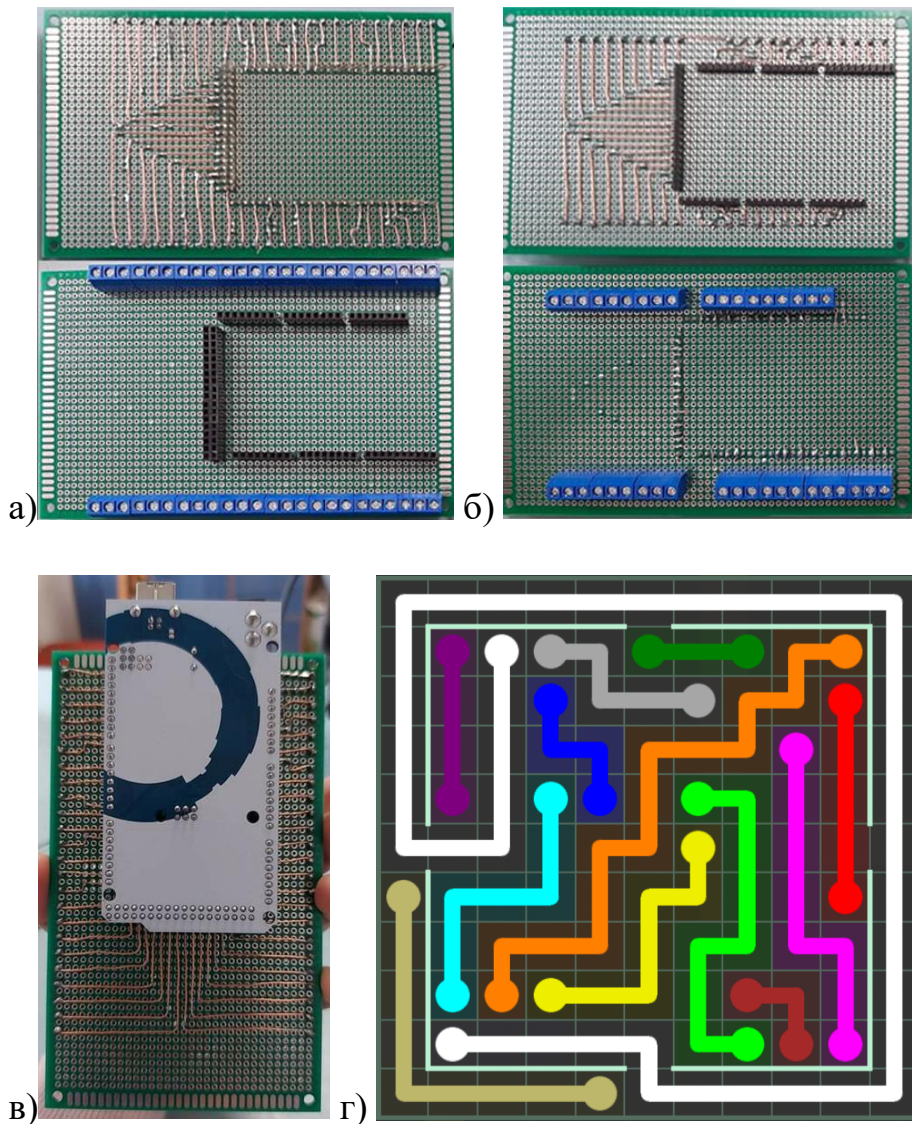


Рис. 15 – розведення контактів: а, б – нижня та верхня плати-шилди, відповідно (вигляд знизу та зверху); в – «конструкція-бутерброд»; г – гра Flow [17];

Корпус «Модуля мікроконтролера» спроектовано в САПР Autodesk Inventor (Рис. 16) та виготовлено із фанери (товщиною 2мм) на лазерному верстаті з ЧПУ.

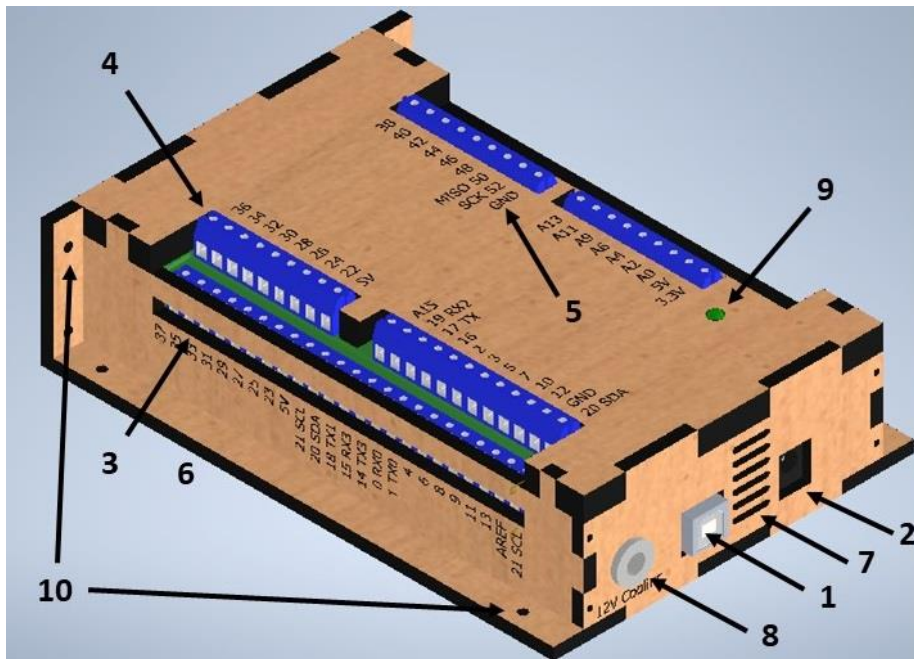


Рис. 16 – Проект «Модуля мікроконтролера» в Autodesk Inventor; Вказано роз'єми USB (1) та живлення (2), а також стабілізатора напруги; (3) та (4) – клемні колодки; (5) – назви контактів;

Загалом, модуль має наступні елементи (Рис. 16): отвори (1) під роз'єм USB та (2) – під роз'єм живлення плати, два рівні клемних колодок (3 та 4), на які виведені усі контакти мікроконтролера, кожен клемник підписаний відповідним написом (5). Система активного повітряного охолодження працює наступним чином: через отвори 6, під дією двох вентиляторів (потужністю 0.1 Вт та з габаритами 30x30x10), повітря потрапляє в корпус, проходить через увесь модуль та виходить через отвори 7, розташовані поряд із стабілізатором напруги. Напруга на вентилятори подається через роз'єм 8 та складає 12V. На верхній стороні модуля розташований світлодіод 9, що загорається при підведенні живлення на мікроконтролер. За допомогою кріпильних отворів 10, модуль може бути закріплений в горизонтальному чи вертикальному положенні, на горизонтальну чи вертикальну поверхню.

Завантажена з GrabCad [18] модель мікроконтролера (Рис. 17) допомогла при проектуванні отворів у корпусі для роз'ємів USB (1) та живлення (2). У

										Лист
										29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

системі примусового повітряного охолодження необхідно було враховувати розташування стабілізатора напруги (3), який може значно нагріватися при роботі проекту.



Рис. 17 – Мікроконтролер Arduino Mega 2560 [19]: (1) та (2) – роз’єми USB та живлення відповідно; (3) – стабілізатор напруги;

В рамках магістерського проекту було виготовлено два модуля мікроконтролера (Рис. 18).

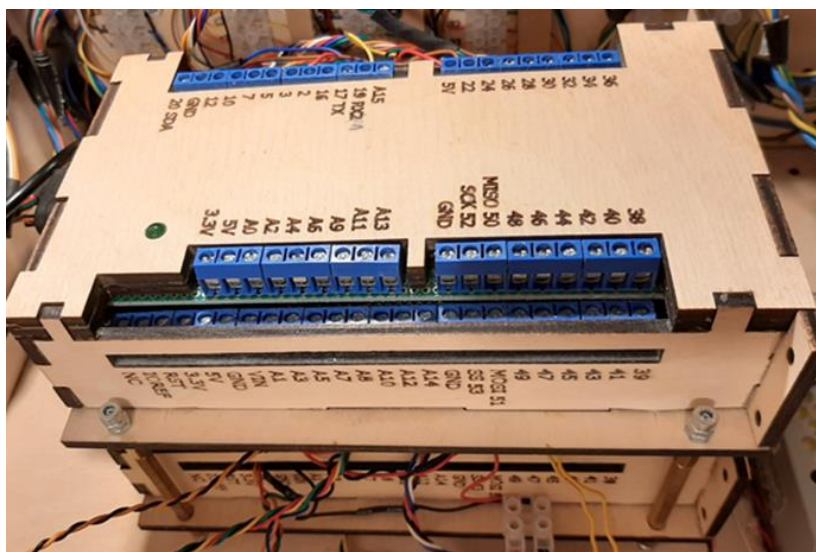


Рис. 18 – Виготовлені модулі мікроконтролера ;

2.2 Програмований Логічний Контролер (ПЛК)

На даний момент планується, що комплекс буде складатися лише з печі (нагрівач, термопара, двері, рухомі штифти та механізм підйому) та, у

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

майбутньому, робота, що має завантажувати контейнери у піч та виймати їх по завершенню технологічного циклу. Але необхідно залишити можливість додавання якогось датчику, екрану, кнопки, агрегату чи робота у комплекс, які зможуть бути під'єднані до єдиної системи керування. Тож, необхідно розробити ПЛК з наступними характеристиками:

1. Мають бути присутні дві незалежні системи: основна система та система аварійного відключення живлення комплексу.
2. Мати два потужних блока живлення: 5V (для основної частини периферії проекту: датчики, світлодіоди, кнопки, тумблери) та 12V (для сервоприводів та двигунів);
3. Мати місце всередині ПЛК для зручного виведення шлейфів від Arduino до роз'ємів на корпусі, без необхідності розбирати якісь вузли та кріплення;

На задній панелі ПЛК розміщений роз'єм 220V, через який можна передавати до 15A. Саме на задню панель, будуть встановлюватися роз'єми проекту. Верхня стінка ПЛК сконструйована як кришка, що кріпиться на чотирьох гвинтах. Для отримання доступу до основної частини ПЛК необхідно просто зняти цю кришку.

2.2.1 Основна система

У основну систему, що має керувати проектом (комплексом), входять:

- модуль мікроконтролера Arduino Mega, з двома кулерами на 12V;
- блок живлення 12В, 30А;
- блок живлення 5В, 20А;
- два вольтметри-амперметри з шунтами (для можливості вимірювання високих токів), підключені до обох блоків живлення та встановлені на передній панелі ПЛК;
- можливе встановлення кулерів для примусового охолодження блоків живлення (під них над блоками живлення у проекті зарезервовано місце);
- світлодіод, що у майбутньому буде сигналізувати про увімкнення/вимкнення реле на лінії живлення нагрівача печі;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

2.2.2 Система аварійного відключення

Функції системи аварійного відключення зрозумілі з її назви – це має бути окрема, незалежна (електрично та програмно), система, основна функція якої – від'єднання живлення від усього проекту або його певних компонентів. Спрацьовувати система має при натисканні оператором аварійної кнопки, відсутності подачі води в системі охолодження, тощо. Для забезпечення незалежності системи у ПЛК довелося додати другий мікроконтролер Arduino. А оскільки для Arduino Mega вже є розроблений модуль, який підвищує надійність підключення контактів – саме цей величезний мікроконтролер і було встановлено. В систему аварійного відключення входять наступні елементи:

- особистий блок живлення 5V [20];
- другий модуль мікроконтролера Arduino Mega;
- світлодіод, що сигналізує про подачу живлення на аварійну систему;
- два модулі електромеханічних реле 5В 30А з опторозв'язкою [21];
- зелена кнопка, без фіксації, подачі живлення на проект та червона кнопка, без фіксації, вимкнення живлення проекту, розміщені на передній панелі ПЛК;
- два світлодіоди, що сигналізують про те, що обидві реле замкнені;
- кнопка аварійної зупинки, з фіксацією (розміщена на передній панелі ПЛК);
- кнопка аварійної зупинки, без фіксації (на пульті керування ПЛК, який буде описано в наступному розділі);

Працює система аварійного відключення наступним чином (Рис. 19): якщо не натиснута кнопка аварійної зупинки з фіксацією 1 (кнопка розриває лінію 220V, що йде на всі блоки живлення) 220V подаються на блок живлення 2.

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

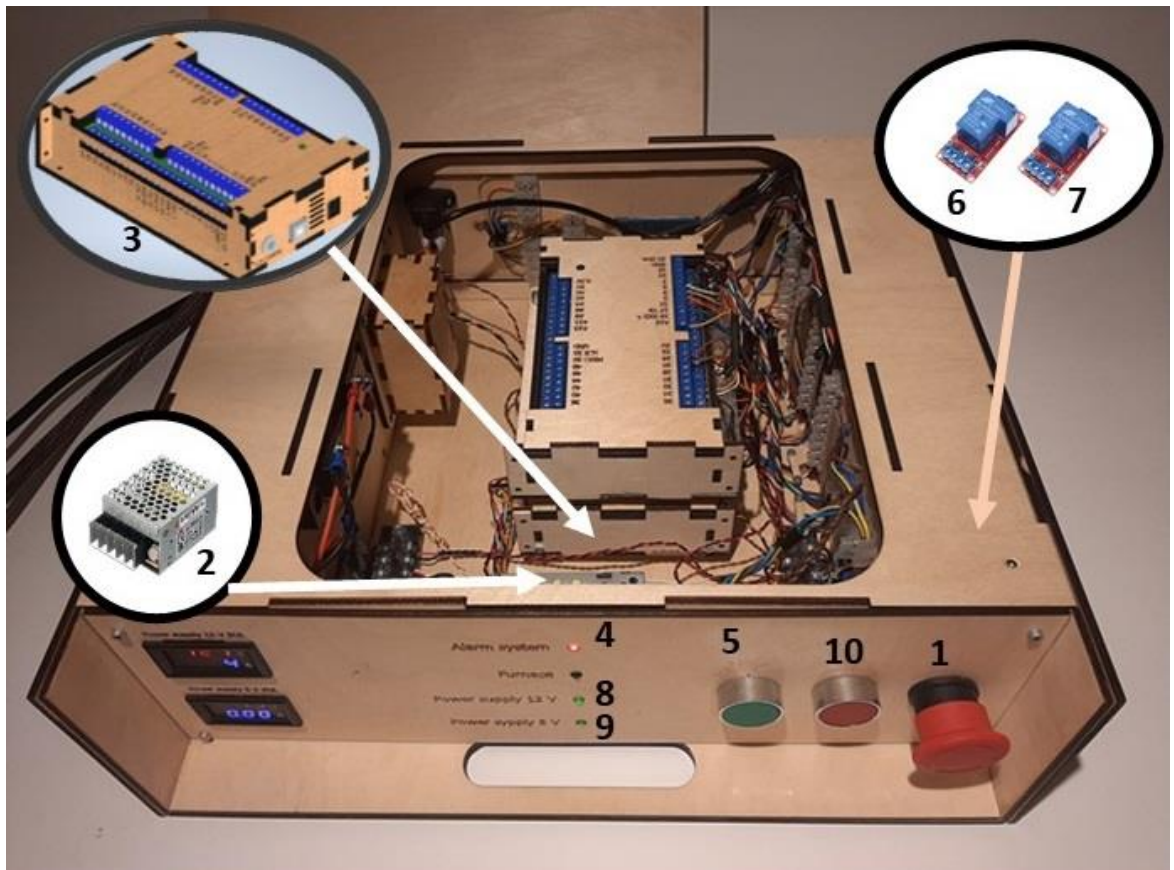


Рис. 19 – система аварійного відключення;

Коли блок живлення під напругою – система аварійного відключення вже працює: на мікроконтролер 3 вже подаються 5V, а мікроконтролер запалює сигнальний світлодіод 4. Для включення основної системи необхідно натиснути на зелену кнопку 5. Тоді мікроконтролер подає високі сигнали на реле 6 та 7, що замикають лінії 220V, які йдуть на БЖ 5V та БЖ 12V основної системи. Про роботу реле сигналізують світлодіоди 8 та 9. Планується, що ПЛК буде керувати резистивним нагрівачем. Керування буде виконуватися за допомогою реле, що буде контролювати подачу напруги на нагрівальну спіраль. Оскільки спрацьовувати реле буде дуже часто – для уникнення постійного клацання та зниження швидкості зношування, реле буде використано не електромеханічне, а твердотільне. Для неаварійного вимкнення проекту необхідно натиснути на червону кнопку 10.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

33

2.2.2.1 Захисний RC-ланцюг

Кнопки вмикання та вимкнення працюють на апаратних перериваннях. Апаратне переривання – зупинка роботи основної програми, спричинене зміною напруги на певному піні мікроконтролера (на кожному мікроконтролері Arduino є лише декілька пінів, з якими можна працювати на перериваннях) та призводить до обробки переривання (виконання блоку коду, що записано як дію при перериванні). Основна властивість переривання полягає у тому, що системне ядро мікроконтролера не робить циклічної перевірки рівня напруги на піні переривання (як це відбувається при основній роботі з більшістю пінів) і не витрачає на це час. Але щойно рівень напруги на піні змінюється (цифровий сигнал) – мікроконтролер миттєво отримує про це сигнал, буквально кидає всі справи, обробляє переривання і тільки потім повертається до виконання основної частини коду, яку він щойно перервав [22].

При роботі електромеханічних реле в одній системі з перериваннями часто буває так, що «стікаючі токи», що формуються при замкненні/розімкненні механічних контактів реле впливають на коректність уловлювання мікроконтролером сигналів переривання. У такому випадку часто бувало так:

1. При натисканні зеленої кнопки без фіксації, для включення проекту, короткочасно змінюється логічний сигнал на піні апаратного переривання мікроконтролера аварійної системи відключення.
2. Мікроконтролер обробляє переривання: посилає високі сигнали на обидва реле, що замикають лінію 220V, подаючи напругу на блоки живлення 5V та 12V основної системи, а також – подає високі сигнали на два індикаційних світлодіоди, розташованих на передній панелі ПЛК;
3. При замкненні механічних контактів, як пояснював спеціаліст компанії Arduino.ua, в реле виникають «стікаючі токи», що якимось чином

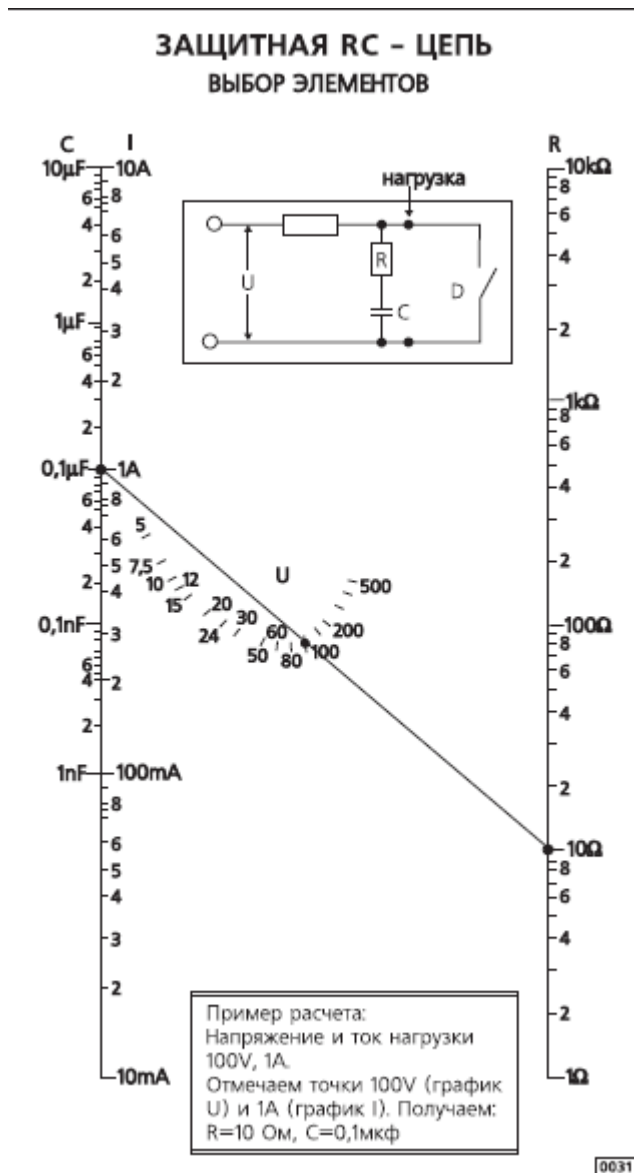


Рис. 20 – залежність параметрів іскрогасного RC-ланцюга (опору резистора R та ємності конденсатора C), в залежності від напруги U та сил струму I в силовому ланцюзі реле;

Для реле, що керує подачею напруги 220V на блок живлення 5V 20A, основної системи керування, необхідно встановити конденсатор, номіналом 0,2нФ та резистор, опором 8,2Ом. Для реле при блоці живлення 12V 30A, конденсатор має бути на 0,25мФ, а резистор – 18Ом. Також, під час придбання радіокомпонентів необхідно вказати, що вони мають бути придатні для роботи при 220V.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Обидва RC-ланцюга розпаяні на єдиній макетній платі (Рис. 21). На виходах ланцюгів встановлено клемні колодки, для зручного під'єднання, паралельно контактам 220V на відповідних блоках живлення.

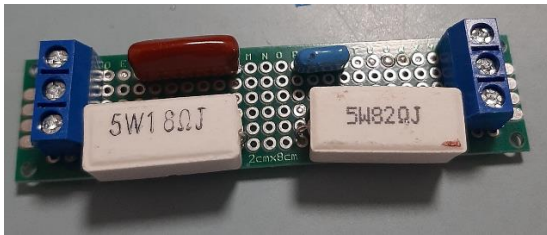


Рис. 21 – два RC-ланцюга: для реле блоків живлення 5V 20A та 12V 30A;

2.2.3 Драйвер для сервоприводів DM1500

В бакалаврському проекті була виконана робота по створенню маніпулятора (Рис. 22, а) [24] зі стандартним типорозміром радіолюбительських приводів. Встановлені першими, на маніпулятор, аналогові сервоприводи MG995 (Рис. 22, б) [24] мали наступні характеристики: обертовий момент 10 кг/см, 0.13 с/60 градусів і живилися від 5V до 6V. Обертового моменту даної моделі виявилось недостатньо, тож були встановлені нові аналогові сервоприводи – Springrc SM-S4315M (Рис. 22, в) [25].

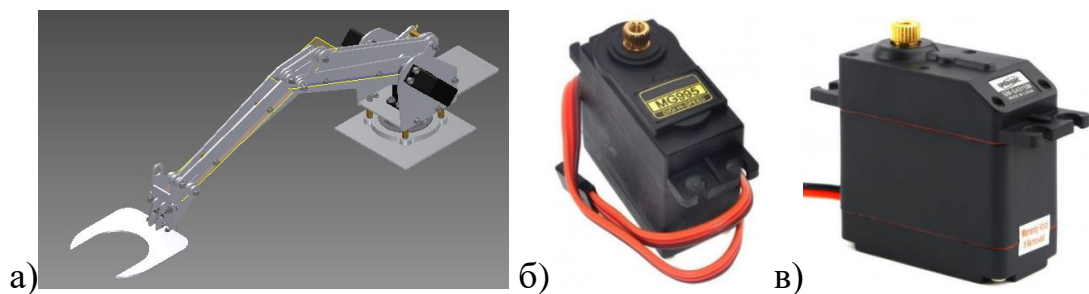


Рис. 22 – Сервоприводи маніпулятора: а) – бакалаврський проект маніпулятора в Autodesk Inventor, під стандартний типорозмір сервоприводів; б) – аналоговий сервопривід MG995 (10 кг/см); в) – аналоговий сервопривід Springrc SM-S4315M (15 кг/см);

Нова модель виявилася достатньо потужною та видавала обертовий момент 15кг/см при живленні 6V. Тепер алюмінієвий маніпулятор міг не тільки утримувати свою вагу в крайніх положеннях робочої зони, а і переміщувати невеликі об'єкти.

Нова проблема виплила в методиці керування аналоговими сервоприводами. В програмі задається певний цільовий кут, формується ШИМ сигнал, що передається на сервопривід. Але програма ніколи не знає, в якому положенні насправді знаходиться сервопривід: чи дістався він цільового кута, з якою швидкістю він це зробив, в якому положенні він знаходиться при запуску програми. Проблема полягає в тому, що в маніпуляторі два сервопривода мають працювати разом. Тобто, недостатньо забезпечити вихід робочого органу в певне положення з якоюсь точністю. Необхідною умовою є проходження вантажем на маніпуляторі певної траєкторії, а для цього сервоприводи мають одночасно починати роботу, та одночасно виходити в цільове положення. На практиці виходило так, що один сервопривід ставав у своє положення значно швидше, ніж інший. Це робило траєкторію переміщення вилки маніпулятора схожою на дуги, але ніяк на прями. Для розв'язання цієї задачі необхідно було мати програмні можливості, які не могли забезпечити аналогові сервоприводи.

Рішення було знайдено у використанні досить нових, для спільноти радіолюбителів, цифрових сервоприводів DM1500 (Рис. 23, а) [26]. Ці сервоприводи мають обертовий момент 15кг/см. Рекомендоване живлення для максимальної швидкості роботи складає 12V. Для керування DM1500 через Arduino, необхідно використовувати драйвер (Рис. 23, б) [27].

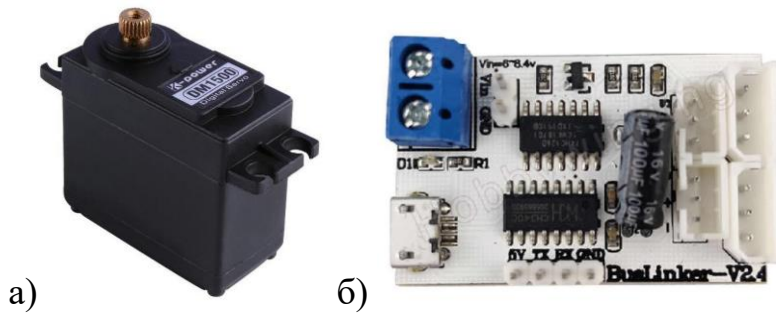


Рис. 23 – Елементи цифрового керування роботом: а – цифровий сервопривід DM1500; б – драйвер цифрових сервоприводів;

Цифрові сервоприводи дозволяють контролювати величезну кількість параметрів, деякі з них можуть бути дуже корисними для даного проекту, наприклад:

- встановлення цільового кута сервопривода;
- можливість запросити від сервоприводу його поточний кут та кутовий момент;
- встановлення швидкості повороту;
- контроль реальної напруги живлення;
- контроль температури сервоприводу;

Для роботи декількох сервоприводів достатньо єдиного драйвера. Сервоприводи підключаються паралельно до драйвера (Рис. 24). Кожен цифровий сервопривід зв'язується із драйвером через напівдуплексний багатоточковий послідовний інтерфейс з рівнями TTL за допомогою свого, унікального для проекту, ID. Щойно придбані сервоприводи можуть мати однакові ID. Перевірка їх налаштувань, а також – тестування сервоприводів відбувається у програмі DYNAMIXEL Wizard 2.0 [28], з для чого необхідно підключити систему до комп'ютера через USB-UART перехідник.

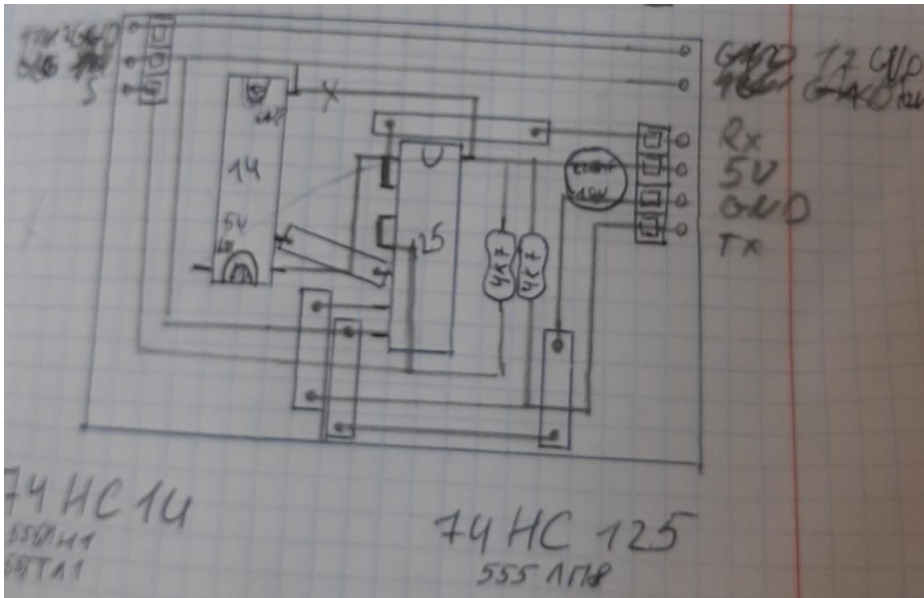


Рис. 25 – електрична схема драйверу для сервоприводів DM1500, на базі чіпів 74HC14 та 74HC125;

Готовий драйвер (Рис 26, а): складається з наступних компонентів

- плата драйверу, розпаяна вручну;
- клемні колодки для підключення керуючих контактів з Arduino (TX, RX, 5V, GND);
- клемні колодки для підключення потужного 12V живлення драйверів (12V, GND);
- клемні колодки підключення самих сервоприводів;
- дроти, що виводять контакти плати на клемні колодки, роз'єми та вольтметр (Рис. 26, б);
- вольтметр, який вимірює напругу живлення сервоприводів;
- роз'єм на 2 контакти, в який можна подати живлення сервоприводів (те саме, що і у відповідні клемні колодки);
- роз'єм на 4 контакти, через який можна під'єднати сервоприводи (те саме, що і у відповідні клемні колодки);
- корпус драйверу, спроектований у САПР Autodesk Inventor та вирізаний із фанери 4мм на лазерному верстаті з ЧПУ;

шановні інженери запевнили мене, що такої проблеми точно не буде із вихідними контактами драйверу, а значить – я можу розмістити сервоприводи хоч у ста метрах від драйверу.

2.2.4.3 Проблема 3: освоєння бібліотеки DynamixelServo, некоректне відпрацювання кутів

Для роботи зі складними електронними компонентами, такими як: рідкокристалічний екран (LCD), датчики, аналогові сервоприводи, мотори постійного струму та інше, зручно використовувати створені бібліотеки, які значно спрощують програму, піднявши рівень мови програмування. Не винятком були і цифрові сервоприводи DM1500, для роботи з реєстрами пам'яті яких, компанія-виробник – Dynamixel, пропонувала бібліотеку DynamixelServo.

Все працювало як годинник: призначення сервоприводу нового ID, встановлення швидкості обертання, зчитування моментів, напруги та температури. Винятком була робота з кутами: як відправка цільових кутів, так і отримання поточних – давало геть незрозумілі результати.

Рішення перше: після ретельного вивчення коду бібліотеки було встановлено, що величини кутів мають надсилатися в радіанах. Така інформація призвела до проведення нової серії експериментів та перетворила хаотичні результати на більш упорядковані. Виявилось, що програміст, автор бібліотеки, вважав, що $1 \cdot \pi$ радіан – це один радіан. Тож при подачі на сервопривід цільового кута 1 радіан, ротор обертався на π радіан, тобто на 180 градусів. При подачі цільового кута у розмірі 0,5 – на 90 градусів і так далі.

Рішення друге: в спеціально створеному класі обертової координати робота, що зберігав у своїх полях інформацію про основні дані сервоприводу був написаний спеціальний метод (функція). Єдиною задачею цього методу

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

було переведення одиниць розміру: загальновідомі радіани (π радіан = 180 градусів) у «радіани програміста» (1 радіан = 180 градусів).

Після введення таких змін, робота з бібліотекою DynamixelServo була успішно освоєна.

2.2.4.4 Проблема 4: допустима довжина кабелів між Arduino та сервоприводами

Єдиними варіантами підключення, що працювали бездоганно були дві короткі схеми:

- 1) сервоприводи, короткий кабель, драйвер, короткий кабель, конвертер USB2.0-UART, комп'ютер;
- 2) сервоприводи, короткий кабель, драйвер, короткий кабель, Arduino Mega;

При спробі збільшити довжини кабелю на драйвер або від Arduino Mega, або – від сервоприводів, це призводило до того, що DM1500 переставали працювати.

Експериментальним шляхом було встановлено максимально допустимі довжини кабелів лінії підключення приводів: Arduino Mega, кабель 150мм, драйвер, кабель 600мм, сервоприводи DM1500. При чому, збільшення кількості механічних контактів на шляху сигналу – значно скорочувало допустиму довжину усієї електричної лінії. Унаслідок чого, довелося забути про використання зручного роз'єму на драйвері, а підключатись через клемні колодки (це не зменшило кількість механічних контактів але, чомусь, працювало краще) тож кабель, що виходив з ПЛК йшов прямо до сервоприводів та при транспортуванні ПЛК – просто стирчав із задньої панелі.

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

2.3 Проектування та виготовлення пульта керування ПЛК

При роботі над проектом були розглянуті п'ять способів керування ПЛК:

- записати увесь цикл роботи в програму;
- за допомогою комп'ютера, що безпосередньо під'єднаний до ПЛК;
- з комп'ютера по локальній мережі;
- з комп'ютера через Wi-fi;
- керування спеціально створеним пультом;

Записування циклу роботи в програму – найпростіший шлях.

Експериментально підбираються необхідні координати кожного механізму у певний період часу та вносяться в окремо створену частину програми (клас). Переваги у простоті повністю анулюються відсутністю можливості втручання в роботу комплексу (за виключенням від'єднання від мережі).

Для керування напряму з комп'ютера необхідно запрограмувати певні команди в кодах та по мірі роботи відправляти ці команди в консоль. Цей метод досить нескладний, проте незручний у використанні та не надто наочний. Для більшої наочності можна використати спеціальні візуалізатори, для яких створюється окрема програма. Програма-візуалізатор працює як посередник, який перекладає прийняті від людини команди у коди, зрозумілі машині, та відправляє їх на мікроконтролер через під'єднаний USB кабель. Перевага такого методу полягає в можливості створення віртуального пульта керування на самому комп'ютері, що можна легко модернізувати: додати кнопки-тумблери або екрани виведення інформації та інше. Недоліком такої системи є необхідність постійного задіяння комп'ютера. Також, значною перешкодою у створенні такої програми, при роботі над цим дипломним проектом (через обмеження часу), була необхідність освоєння геть невідомої та непростой області програмування.

Для керування проектом з комп'ютера **по локальній мережі** необхідно під'єднати до мікроконтролера основної системи ПЛК модуль ENC28J60

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

(Рис. 28, а) [31]. Даний модуль та комп'ютер мають бути під'єднані до однієї локальної мережі. Для написання програми використовується бібліотека UPEthernet. А для керування мікроконтролером по мережі Wi-fi необхідно встановити у проект інший модуль - ESP8266 (Рис. 28, б) [32].

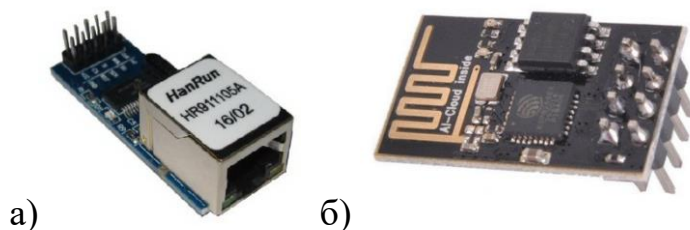


Рис. 28 – Модулі для Arduino: а – модуль ENC28J60 для керування по локальній мережі Ethernet; б – модуль ESP8266 для керування по Wi-fi;

Пульт керування – це, фактично, винесення необхідних функцій програми на фізичні кнопки. Створення пульта керування позбавляє необхідності задіяти комп'ютер, який буде постійно прив'язаний до проекту та має простіший спосіб «спілкування» з ПЛК (що є важливим для інженера – слабкого програміста).

2.3.1 Аналоги панелей керування на прикладі пультів для промислових роботів

Перед розробкою нового пульта керування було вивчено ряд аналогів та створений перелік вимог, таких як: необхідні функції/кнопки, форма пульта, ергономічні особливості розміщення компонентів та інше.

2.3.1.1 A05B-2518-C204 Fanuc. Японія

Першим аналогом став пульт керування від японської компанії Fanuc (Рис. 29) [33].

Дана модель має наступні конструктивні особливості:

- Прямокутна витягнута форма;
- Тримається у лівій руці, керування відбувається – правою;

- У лівому верхньому куті розташований тумблер з ключем – система безпеки у вигляді обмеження доступу до керування;
- У правому верхньому куті розміщена кнопка аварійної зупинки;
- У верхній частині пульта розміщений екран;
- Панель кнопок розділена на дві групи: права група представляє собою функціональні кнопки (x+, x-, y+, y- і так далі), ліва група – цифри, для введення точних координат та налаштувань;



Рис. 29 – пульт керування A05B-2518-C204 Fanuc;

2.3.1.2 Пульт АВВ. Швеція, Швейцарія

Модель пульта, створений шведсько-швейцарською компанією АВВ представлено на Рис. 30 [34]



Рис. 30 – пульт компанії АВВ;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Конструктивні особливості:

- Тримається лівою рукою;
- Кнопка аварійної зупинки розміщена у правому верхньому куті;
- Основним елементом керування є великий сенсорний екран;
- У правій частині пульта розміщені функціональні кнопки та джойстик;
-

2.3.1.3 Контролер компанії КУКА. Німеччина

Німецька компанія КУКА – всесвітньо відомий виробник роботів для автоматизації складів. Тож представник пультів від цієї компанії (Рис. 31) [35] було взято за останній аналог у даній роботі.



Рис. 31 – модель пульта керування компанії КУКА;

Конструктивні особливості:

- Пульт тримається лівою рукою;
- Кнопка аварійної зупинки виконана з фіксацією та розміщена у правому верхньому куті майже квадратного пульта;
- По центру верхньої частини пульта розміщений тумблер з ключем;
- Основний інтерфейс панелі керування виконано у вигляді великого сенсорного екрану;
- Незначна кількість функціональних кнопок розташовані по обидві сторони від екрану;
- На правій бічній стороні пульта розташований потенціометр (чи тумблер обертання);

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

2.3.2 Проект пульта для ПЛК

В межах магістерської роботи був спроектований (Рис. 32) та виготовлений (Рис. 33) пульт керування для ПЛК. Габаритні розміри пульта 200x200x60. Ергономіка пульта спирається на розглянуті промислові аналоги.

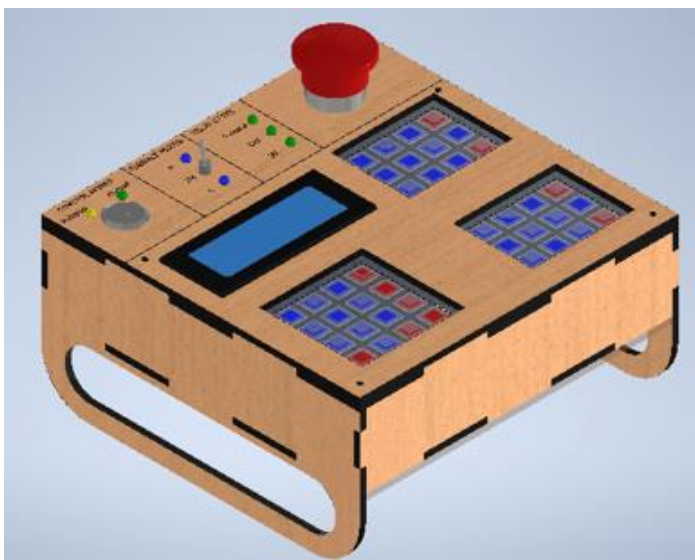


Рис. 32 – проект пульта в САПР Autodesk Inventor;

Візуалізація сану програми виконується LCD, 16x4 символи. Три матричні клавіатури можуть бути запрограмовані будь-яким чином, та при проектуванні планувалося, що дві праві – будуть містити функціональні кнопки, а клавіатура під дисплеєм міститиме цифри для введення точних координат.

Маркування кнопок заплановано в конструкції шляхом встановлення ламінованого аркушу із надрукованими між двома фанерними деталями верхньої сторони пульта. На Рис. 32 цей аркуш можна побачити як сіру, напівпрозору плівку.

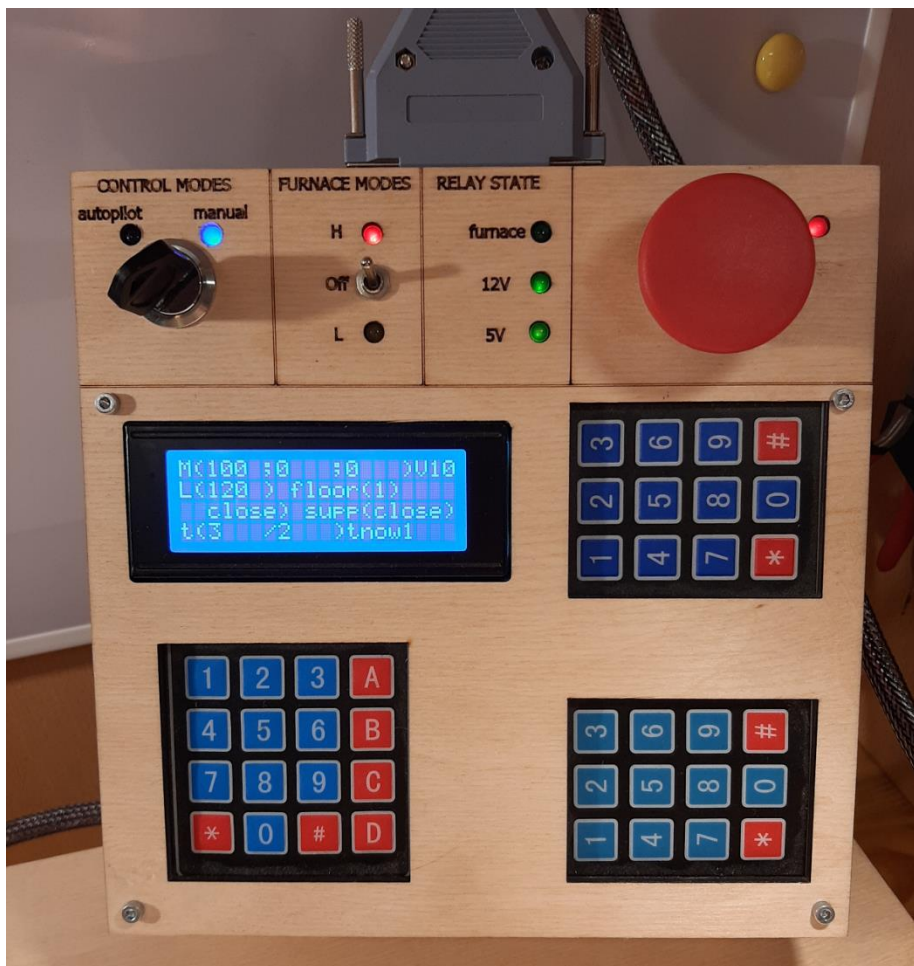


Рис. 33 – пульт ПЛК;

У верхньому лівому куті розміщений трьохпозиційний тумблер з перемикачем, положення якого визначають режим керування: автопілот, доступ закрито, ручне керування. Трьохпозиційний тумблер в зоні «FURNACE MODES» (режими печі) включає один з двох температурних режимів нагрівача печі: H (high, висока температура) та L (low, низька температура). Світлодіоди, зверху та знизу тумблера, спрощують візуальний контроль: який режим увімкнений. Блок світлодіодів «RELAY STATE» сповіщають про стани реле: світлодіод горить – реле замкнено.

У правому верхньому куті верхньої панелі пульта розташована кнопка аварійної зупинки. Червоний світлодіод поряд з нею ілюструє те, що на систему аварійної зупинки подано живлення. На відміну від кнопки аварійної зупинки на ПЛК (з фіксацією), на пульт обрана кнопка без фіксації.

Пояснюється це тим, що на ПЛК при аварійному відключенні механічно розривається лінія 220V. Тягнути високовольтний дрiт на пульт – недоцiльно та не надто безпечно. Тож при натисканнi великої червоної кнопки на пультi, на певний пiн (в програмi налаштований на роботу з апаратним перериванням) системи аварiйного вiдключення подається високий сигнал. Тож щойно сигнал змiнюється iз низького на високий – усi процеси аварiйної системи припиняються, програма розмикає реле, що контролюють роботу блокiв живлення основної системи та увесь проект вимикається. Для повторного вклучення проекту необхідно натиснути зелену кнопку на переднiй панелi ПЛК.

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

3 Розділ 3. Програмування

Оскільки дана дипломна робота призначена для захисту ступеня магістра в інженерній спеціальності, а не у спеціальності програміста – в даному розділі не буде детальної інформації, стосовно програми, написаної для ПЛК.

3.1 Інтегроване середовище розробки

Виконуюча програма мікроконтролера має бути написана у спеціальному інтегрованому середовищі на певній мові програмування, далі перетворена на машинний код та завантажена у пам'ять Arduino.

«Інтегроване середовище розробки (ICP, англ. Integrated development environment або англ. IDE) — комплексне програмне рішення для розробки програмного забезпечення. Зазвичай, складається з редактора початкового коду, інструментів для автоматизації складання та наладки програм.» [36]

3.1.1 Arduino IDE

Arduino IDE – це інтегроване середовище розробки для Windows, MacOS та Linux, призначена для створення та завантаження виконуючих програм на Arduino та Arduino-сумісні плати [37]. Розповсюджується дане програмне забезпечення безкоштовно, можливе встановлення як англійською, так і російською (українська версія – відсутня).

У Arduino IDE входять наступні програми, необхідні для створення та завантаження програми на Arduino:

- **Редактор коду** – текстовий редактор для створення і редагування початкового коду програми [38];

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

- **Компілятор** – програма, що перетворює текст, написаний мовою програмування, у набір машинних кодів [39]. Компілятор працює у парі із невеличким кодом (завантажувачем), що знаходиться на мікроконтролері Arduino, який дозволяє встановлювати нову прошивку без використання зовнішнього приладу (програматора);

У Arduino IDE надзвичайно зручно встановлювати нові бібліотеки та створювати невеликі програми або проекти. Дане середовище розробки дозволяє створювати проекти, що складаються з декількох файлів програм та нерідко використовується і у складних проектах. Однак, основна функція Arduino IDE – просте написання не надто складної програми людиною, що тільки вчиться програмувати або має небагато знань у цій галузі.

3.1.2 VSCode

Складнішим в освоєнні та більш функціональним середовищем розробки, що використовувався при програмуванні ПЛК, є Visual Studio Code.

VSCode – редактор початкового коду, розроблений Microsoft для Windows, Linux та macOS [40]. Розповсюджується безкоштовно, має багатомовний інтерфейс користувача та підтримує низку мов програмування. Дана програма має підсвічування синтаксису, навігацію по коду [41], підтримку Git та інші інструменти підвищення ефективності написання коду, які ще належить вивчити.

Git – розповсюджена система керування версіями програми або проекту.

Протягом розвитку програмного проекту система Git дає можливість створення проміжних копій або взагалі – цілих гілок розвитку проекту. Це означає, наприклад, що перед початком створення нового розділу або перед зміною якоїсь частини програми розробник може створити комміт – повну

копію усієї роботи та у будь який момент повернутися до вихідної точки. Або якщо декілька розробників мають різні задачі, вони створюють так звані «гілки» розвитку проекту, успішні гілки, з дозволу головного програміста, об'єднують із головною гілкою, а невдалі – видаляють. При чому розробка окремої гілки ніяк не впливає на проект, а отже – і на роботу команди, поки вона не завершиться успіхом та не буде «злита» (об'єднана) – з головною.

Варто наголосити, що сам по собі VSCode є лише редактором коду. Для перетворення його у повноцінну IDE, що перетворить програму, написану на C++ у машинний код та завантажить на мікроконтролер Arduino, необхідно встановити спеціальний плагін (розширення для VSCode) – Platformio.

Отже, для написання програмного проекту для ПЛК, для розроблюваного комплексу, зручніше використовувати VSCode. Але при освоєнні нових бібліотек, спочатку використовувалася Arduino IDE для освоєння нового функціоналу, а потім вже виконувалась робота по підключенню бібліотеки до проекту у VSCode.

3.2 Об'єктно-орієнтовне програмування

Об'єктно-орієнтовне програмування – це один із підходів написання програми (існує, наприклад, ще функціонально-орієнтовне програмування), який полягає у розділенні задачі на класи, що мають певні особисті процеси (які не стосуються інших класів) та функції, викликаючи які можна фз цим класом спілкуватися з програми [42].

В об'єктно-орієнтовному програмуванні є три основні принципи, які обумовлюють суть самого підходу до створення програми: інкапсуляція, наслідування та поліморфізм [43].

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Інкапсуляція – поєднання даних та алгоритмів роботи з цими даними в єдине ціле. В ООП даними являються поля об'єкту, а алгоритмами – методи об'єкту.

Наслідування – властивість об'єктів створювати нові об'єкти, що повністю копіюють поля та методи свого батька та мають свої, додаткові, поля і методи.

Поліморфізм – властивість об'єктів-родичів вирішувати подібні проблеми різними способами. Можна в коді прописати метод, який буде по різному виконаний в залежності від того, який із родинних об'єктів візьметься його виконувати.

3.3 Патерни в проекті

Патерни в програмуванні – це розповсюджені шаблонні способи розв'язання задач. На відміну від бібліотек, патерн неможливо просто вставити в програму. А на відміну від алгоритмів, патерн – не чітка послідовність дій, а описання рішення на високому рівні. Реалізація патерна може значно відрізнятись у двох різних програмах [44].

В залежності від призначення, патерни поділяються на:

- Породжуючі (гнучке створення об'єктів без внесення в програму зайвих залежностей);
- Структурні (пропонують різні способи побудови зв'язків між об'єктами);
- Поведінкові (допомагають реалізувати ефективну комунікацію між об'єктами);

При програмуванні ПЛК використовувались наступні патерни програмування:

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Посередник (також відомий як: Intermediary, Controller, Mediator) [45] — це поведінковий патерн проектування, використовуючи який можна зменшити пов'язаність великої кількості класів між собою. Досягається це завдяки створенню класу-посередника, який містить в собі усі зв'язки між основними класами (Рис. 34, а).

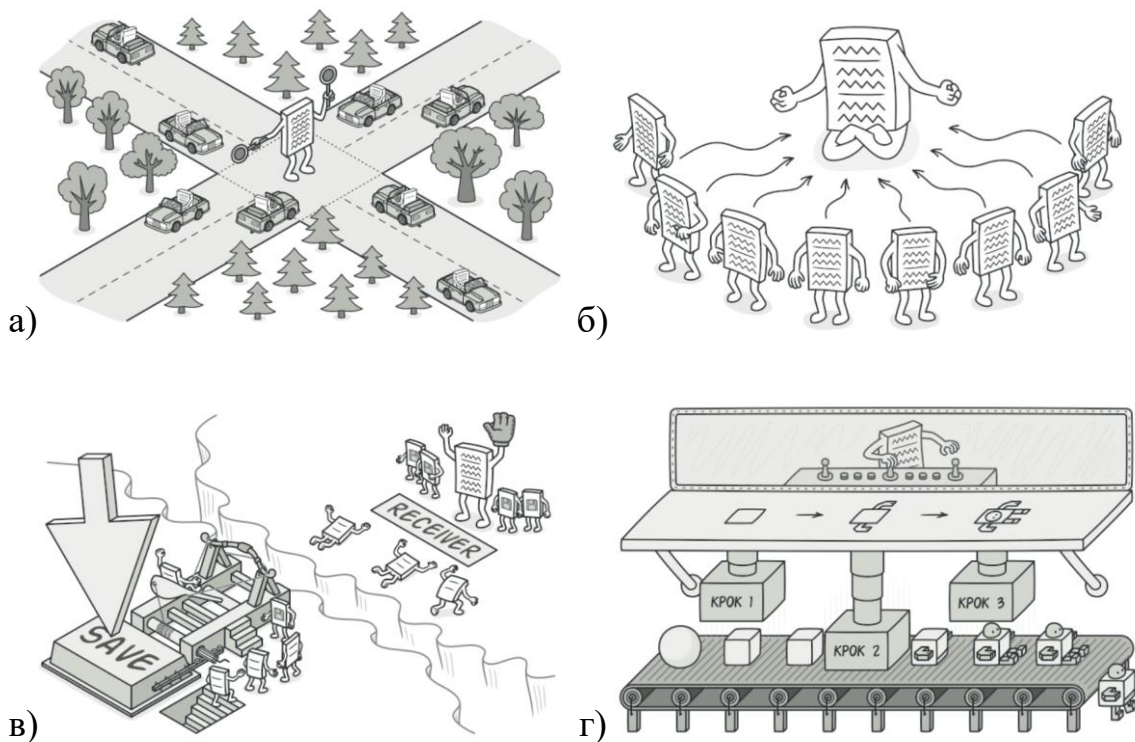


Рис. 34 – ілюстрації роботи патернів програмування: а – Посередник; б – Одинак; в – Команда; г – Будівельник;

Одинак (також відомий як: Singleton) [46]— це породжуючий патерн проектування, використання якого гарантує, що клас має лише один екземпляр. Клас надає глобальну точку доступу до себе: вплив на об'єкт в одній частині програми гарантує змінення – усіх інших, в якому б блоці програми вони б не знаходились (Рис. 34, б).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Команда (Також відомий як: Дія, Транзакція, Action, Command) [47] — це поведінковий патерн проектування, який перетворює запити на об'єкти, дозволяючи передавати їх як аргументи під час виклику методів (Рис. 34, в).

Будівельник (також відомий як: Builder) [48] — це породжуючий патерн проектування, що дає змогу створювати складні об'єкти крок за кроком. Будівельник дає можливість використовувати один і той самий код будівництва для отримання різних відображень об'єктів (Рис. 34, г).

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

4 Розділ 4. Конструкція печі

4.1 Основна ідея печі

Основна ідея печі була описана ще в бакалаврському проекті [49]. Заготовки перед спіканням завантажуються в графітові контейнери, які потім відправляються в піч роботом. Піч представляє собою трубу, всередині якої ходить шток. Шток, разом забезпечує переміщення контейнерів всередині колони печі.

За технологічними операціями, піч можна поділити на три зони, що стоять одна на одній:

- Верхня зона – зона спікання, в ній розташовані нагрівальний елемент (спіралі резистивного нагрівання або індуктор, який розігріває графітовий контейнер), та термопари;

- Середня зона має двері, через які завантажуються нові контейнери. Щойно завантажений контейнер проходить стадію попереднього нагрівання від сусідніх: верхнього, що знаходиться в нагрівачі та нижнього який охолоджується після завершення процесу спікання;

- Нижня зона – місце, де контейнер із щойно спеченими деталями охолоджується, передаючи частину свого тепла новому, щойно завантаженому, контейнеру ;

4.2 Початок проекту

Коли робота над проектом тільки починалася (фірмою НДЦ «Синтез», у 2017 році), скетч проекту печі був створений САПР КОМПАС і представляв собою цільний комплекс, що складався з колони печі, двох дверей, що висувалися з печі, двох вертикальних штоків та двох конвеєрів (Рис. 35).

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

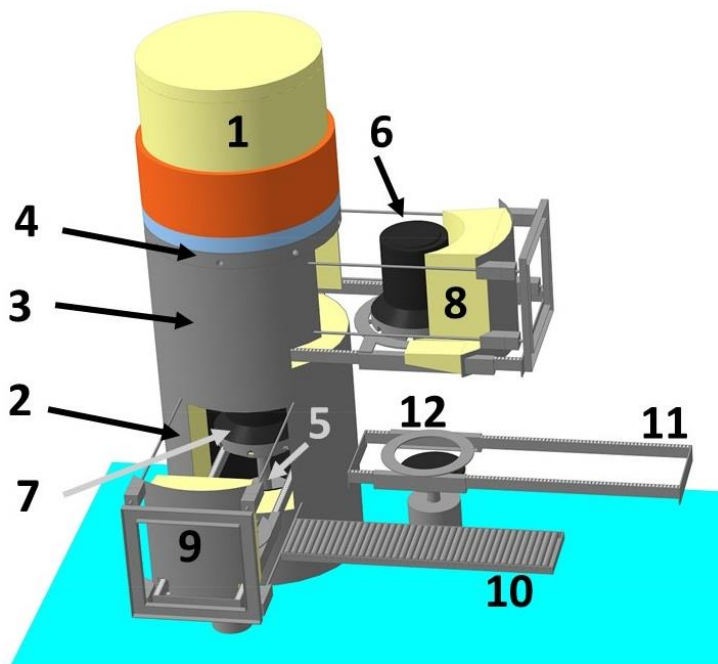


Рис. 35 – загальний вигляд першого проекту печі, виконаний у САПР КОМПАС;

Після завершення спікання виконуються наступні дії:

1. В зоні спікання 1 знаходиться гарячий контейнер, в зоні охолодження 2 знаходиться теплий контейнер, в зоні попереднього прогрівання 3 знаходиться контейнер, що нагрівався від сусідніх двох;
2. Штифти 4 входять в колону печі та блокують гарячу банку в зоні спікання;
3. Це дає можливість штоку 5 опустити попередньо нагрітий контейнер 6 та теплий контейнер 7 на двері 8 та 9, відповідно;
4. Обидві двері відчиняються. Теплий контейнер відправляється на конвеєр 10. Двері 9 зачиняються;
5. Шток 5 підіймається до гарячого контейнеру та утримує його над штифтами. Штифти висуваються з колони печі;
6. Шток 5 опускає гарячий контейнер на перший ярус;
7. Двері 8 відчинені. По конвеєру 11 під'їжджає шток 12 та піднімає новий, холодний, контейнер на двері 8;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

59



Рис. 36 – конструкції підйомників: а – ножичний; б – прямий гідравлічний;

На початку роботи над конструкцією самої печі для проведення експериментів був створений картонний макет (Рис. 37, а), замість ферми були використані бамбукові шпажки, а у замість промислових напрямних – меблеві. З тією самою метою були виточені на токарному верстаті контейнери з дерева (Рис. 37, б).

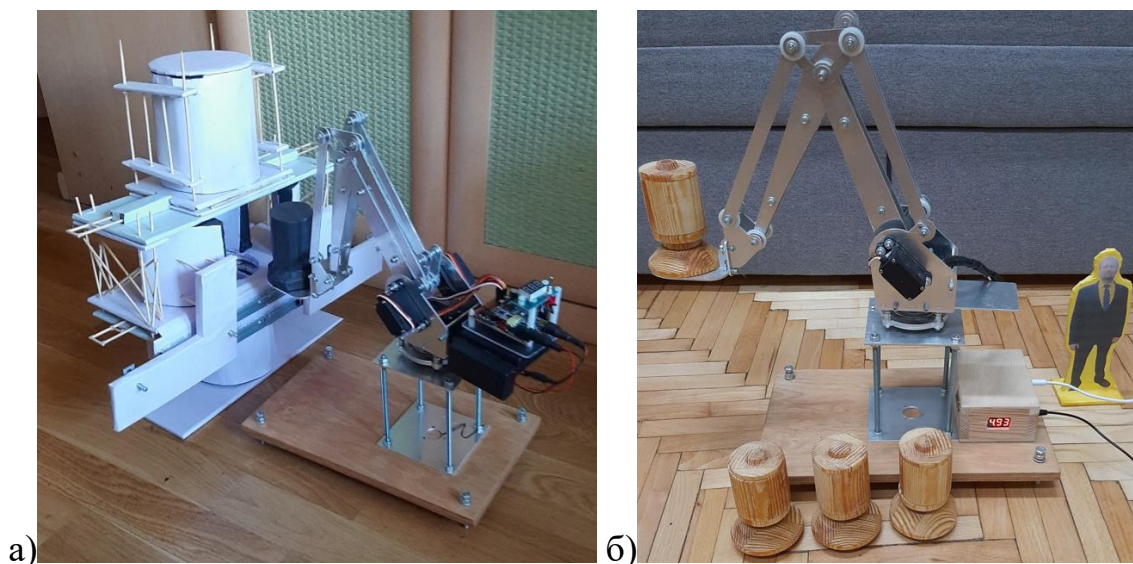


Рис. 37 – макети: а – картонний макет печі; б – дерев'яні контейнери;

Завдяки створенню паперово-дерев'яних макетів було прийнято важливе рішення: піч має складатися з окремих модулів, які встановлюються на спільну ферму. Модульність печі спрощує виготовлення, транспортування,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

монтаж, обслуговування та ремонт (у разі поломки можна замінити окремий модуль). Тож вихідний проект печі було розбито на наступні модулі:

- Нагрівач з кришкою, яку у разі чого можна замінити іншою (закладена можливість модернізації конструкції печі для спікання під тиском);
- Модуль штифтів, які тимчасово триматимуть контейнери, протягом маніпулювання контейнерами перед початком нового циклу спікання;
- Модуль дверей, напрямні яких розташовуються поза пічкою;
- Модуль цільної труби (для зони охолодження контейнерів);

В результаті було створено, у САПР Autodesk Inventor, ескізну модель (без уточнення конструктивних деталей, елементів та вузлів) (Рис. 38), яка була представлена на плакаті, розміщеному на сайті британського університету міста Хаддерсфілд [52] авторами з трьох університетів: Університет Хаддерсфілду, Київський національний університет імені Тараса Шевченка та НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».

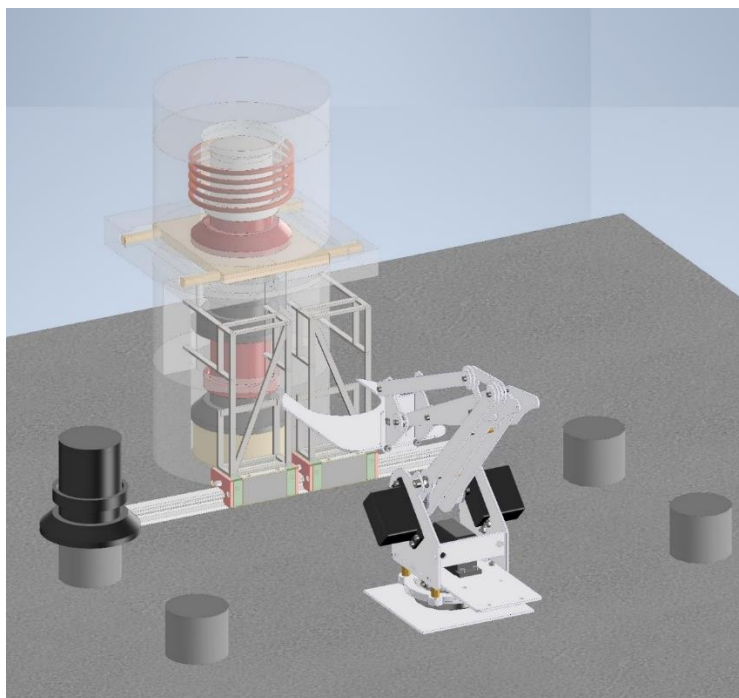


Рис. 38 – ескізна модель печі;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

62

4.3 Технологічний цикл

Контейнер із вже готовими деталями, який щойно пройшов процес спікання позначимо як «білий». Контейнер, який встиг охолонути – «чорний». «Червоний» контейнер попередньо прогрітий, а «синій» контейнер – новий (Рис. 39)

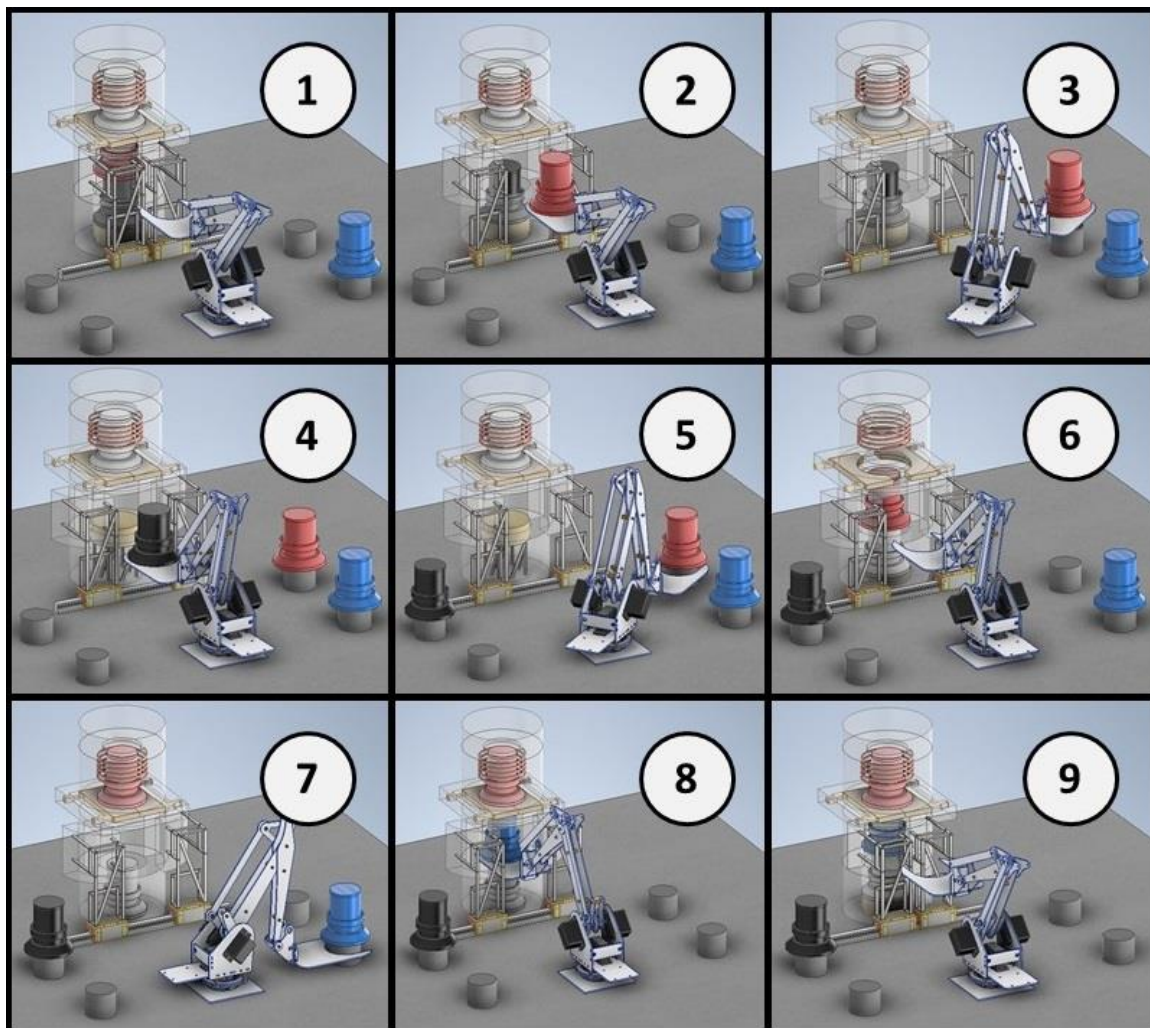


Рис. 39 – технологічний цикл перестановки контейнерів між двома процесами спікання;

Технологічний цикл, представлений на Рис. має наступні етапи:

1. Завершився процес спікання. Двері відкриваються;
2. Маніпулятор дістає прогрітий «червоний» контейнер з печі;
3. Поки маніпулятор відставляє «червоний» контейнер, шток підіймає до дверей – «чорний», який віддав частину свого тепла «червоному»;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

63

4. Маніпулятор дістає з печі «чорний» контейнер із спеченими деталями та відставляє його для остаточного охолодження;
5. Поки маніпулятор тягнеться за «червоним» контейнером, шток підіймається, забирає з собою «білий» контейнер, який щойно після спікання та має дуже високу температуру. Шток опускає «білий» контейнер донизу;
6. Маніпулятор ставить «червоний» контейнер всередину колони печі, на «білий»;
7. Поки маніпулятор бере новий контейнер – «синій», шток із «білим» контейнером підіймають «червоний» у робочу зону печі. Штифти фіксують контейнер в гарячій зоні, а шток із «білим» - опускаються донизу;
8. Маніпулятор встановлює «синій» контейнер всередину колони печі;
9. Двері зачиняються, шток підпирає контейнери один до одного, для кращої теплопередачі в новий, «синій», контейнер. Починається процес спікання;

4.4 Основні вимоги до конструкції

Виготовлення прототипу автоматизованої системи печі переслідує наступні задачі:

1. Демонстрація ідеї промислової печі на виставках та конференціях;
2. Спікання порошків алюмінію для відпрацювання технологічного циклу;
3. Проведення експериментів: вимірювання температур у різних зонах, вимірювання енергетичних витрат на один цикл, дослідження гнучкості комплексу;

Виходячи з поставлених задач, сформульовані наступні вимоги до конструкції:

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

1. Мінімальна вага не втрачаючи ілюстративність комплексу (згідно задачі 1, комплекс буде періодично перевозитись, тож вимога сформульована для зменшення витрат на транспортування);
2. Комплекс повинен мати модульну структуру та містити всі основні частини майбутньої печі (згідно задачі 1, комплекс має ілюструвати основні концепції промислової печі);
3. Температура в печі має досягати 700 °С (згідно задачі 2);
4. Конструкція має враховувати можливість легкого встановлення різних датчиків для проведення експериментів (згідно задачі 3);

4.5 Конструктивне рішення 1: труби, токарні деталі та зварювання. Autodesk Inventor

Враховуючи те, що контейнер буде виготовлюватись з графіту на токарних чи карусельних верстатах (в промисловому розмірі), а також, що більшість нагрівачів також мають циліндричну форму – основна геометрична форма печі буде кругом. Внутрішня і зовнішня стінки представляють собою стандартні нержавіючі труби, які базуються на «млинці» - плоскі деталі, виготовлені на токарному верстаті. Між трубами закладається теплоізоляція – каолінова вата.

Нагрівач виготовляється самостійно та має наступну конструкцію (Рис. 40):

1. Внутрішня трубка з борсилікатного стекла 1 встановлюється на дно 2, виготовлене на токарному верстаті зі сталі;
2. Борсилікатне скло обмазується пічною глиною 3, після чого намотується нагрівальна проволока 4, поверх якої, для ізоляції, знову намазується глина;
3. Для запобігання викришуванню глини, поверх неї обмотується керамічна тканина 5;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

4. На дно базується зовнішня нержавіюча труба 6 та приварюється;
5. Нагрівальна проволочка виводиться з труби у керамічних трубках 7;
6. Проміжок між нагрівачем та трубою заповнюється каоліновою ватою 8;
7. Нагрівач закривається графітовою кришкою 9;

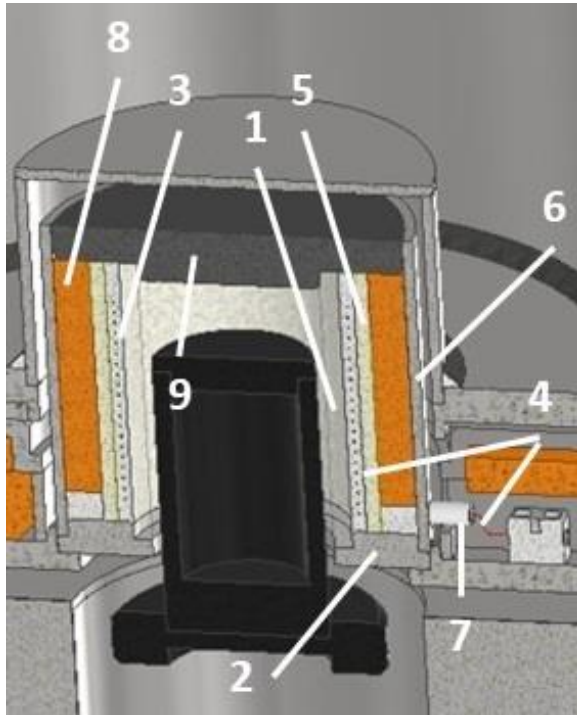


Рис. 40 – Саморобний нагрівач;

Конструкція задовольняє вимогу модульності та збирається наступним чином (Рис. 41, а): на раму 1 встановлюється модуль 2 з роз'ємом 3 для під'єднання живлення нагрівача 4 через керамічний клемник 5. Нагрівач накривається кришкою 6, в яку встановлюються термопари. Узагальнюючи, комплекс представляє з собою раму, на яку встановлюються модулі (Рис. 41, б): основа нагрівача, нагрівач, кришка, двері, труба першого поверху (зона охолодження).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

66

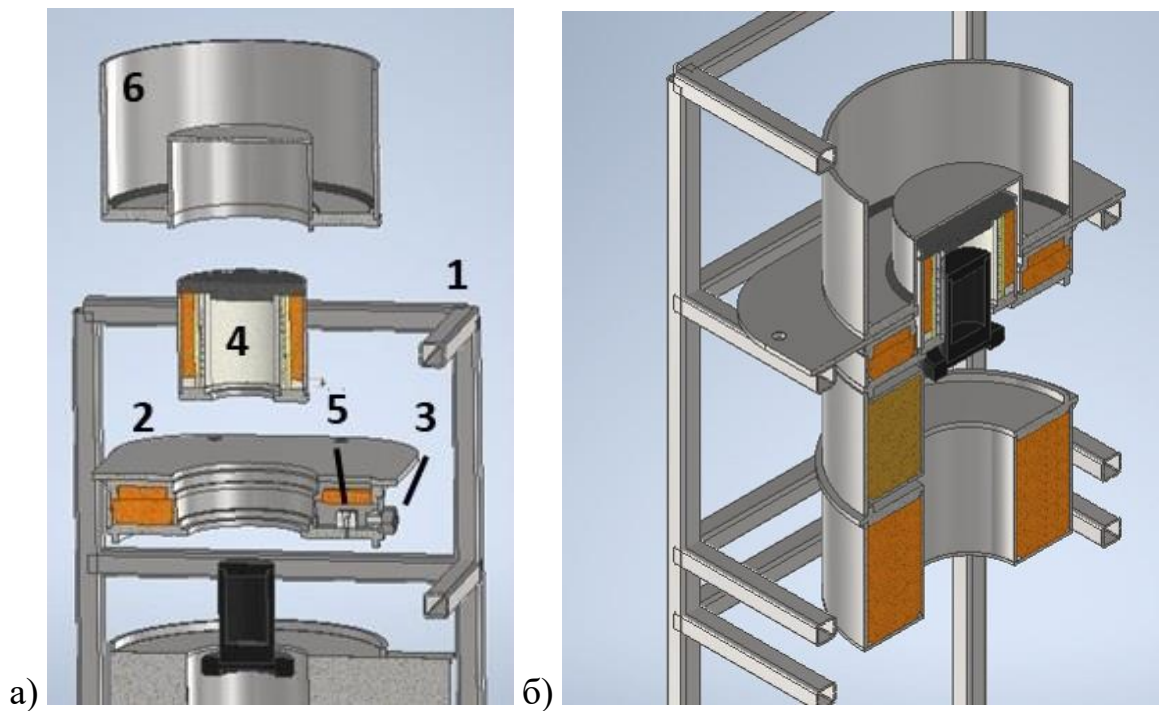


Рис. 41 – Конструкція з труб та токарних деталей: а – послідовність збірки частини печі; б – загальний вид проекту;

Перші суттєві складності виникли при спробі закріпити піч, зовнішня стінка якої – труба, на сталеву раму: на циліндрі складно робити кріпильні отвори. Разом із складністю кріплення модулів на раму, не виконується вимога: «враховувати можливість легкого встановлення різних датчиків для проведення експериментів».

Після визначення конструкції, як недоцільної, було виявлено що і вимога мінімальної ваги – забута. Піч із сталеву рамою, трубами із нержавіючої сталі та виточеними сталевими «млинцями» має величезну вагу. Вартість декількох перевезень такого комплексу порівняна із витратами на його виготовлення.

4.6 Конструктивне рішення 2: конструкційний профіль та листові деталі. SolidWorks

Ідею створення прототипу автоматизованої установки для спікання керамічних матеріалів на основі конструкційного профілю та листових деталей було запозичено протягом роботи в компанії VOT-UA [53], що являє

4.7 Бібліотеки для SolidWorks

Перед початком проектування в SolidWorks, були створені бібліотеки, які можуть знадобитися в подальшому.

Бібліотека конструкційних профілів

Для полегшення проектування рамних конструкцій в SolidWorks існує спеціальний розділ: «Зварні деталі». Користуючись інструментом «Конструкція» в розділі «Зварні деталі», можна натягувати профілі на елементи ескізів/3D ескізів, створюючи стержні рами. Але в стандартних бібліотеках SolidWorks нема бібліотеки конструкційних профілів, тож її довелося створити, відмалювавши деякі конструкційні профілі та розмістивши їх у необхідній структурі папок (Рис. 43).

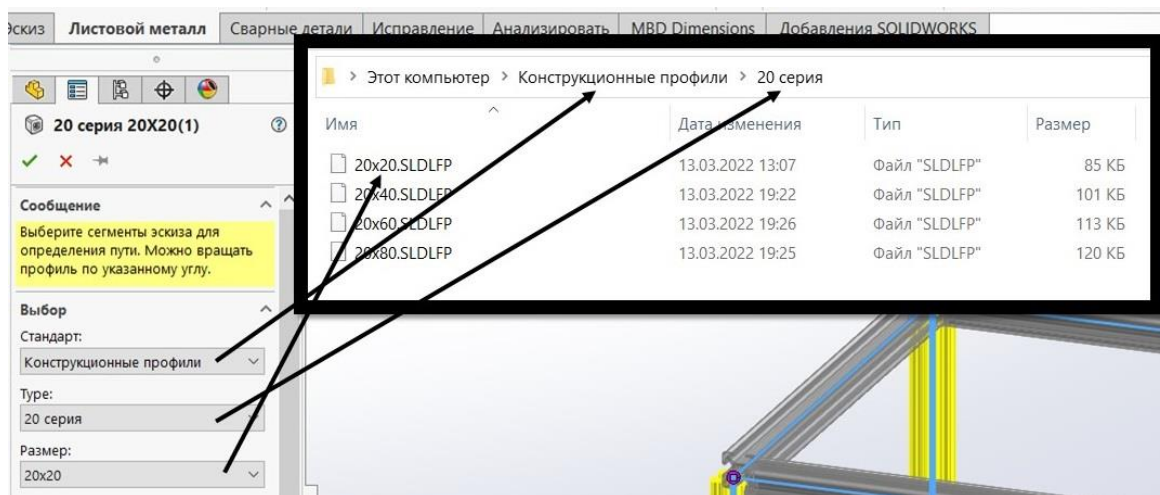


Рис. 43 – необхідна структура папок для збереження нового стандарту профілів в бібліотеку зварних конструкцій SolidWorks.

При виборі типу профілю, при користуванні інструментом з розділу «Зварні деталі» - «Конструкція», необхідно заповнити три поля з випадючими варіантами: **Стандарт**, **Тип** (Type, англ. – тип, на Рис. 43) та **Розмір**.

Структура папок має бути відповідною:

- Папка1 – папка, яку ми вкажемо при налаштуванні розташування бібліотеки дещо згодом;
- Папка1.1 (знаходиться в Папка1) – назва **Стандарту**;
- Папка1.1.1 (знаходиться в Папка1.1) – назва **Типу**;
- Безпосередньо, ескіз профіля – назва **Розміру**;

Для того, щоб додати Папку1 в бібліотеку необхідно перейти в **Інструменти > Параметри**. У лівій частині вікна, що відкриється, обрати пункт **Розташування файлів**, у списку «Відобразити папки для» - обрати **Профілі зварних деталей** (Рис. 44) та **Додати** вашу папку зі стандартами профілів у список.

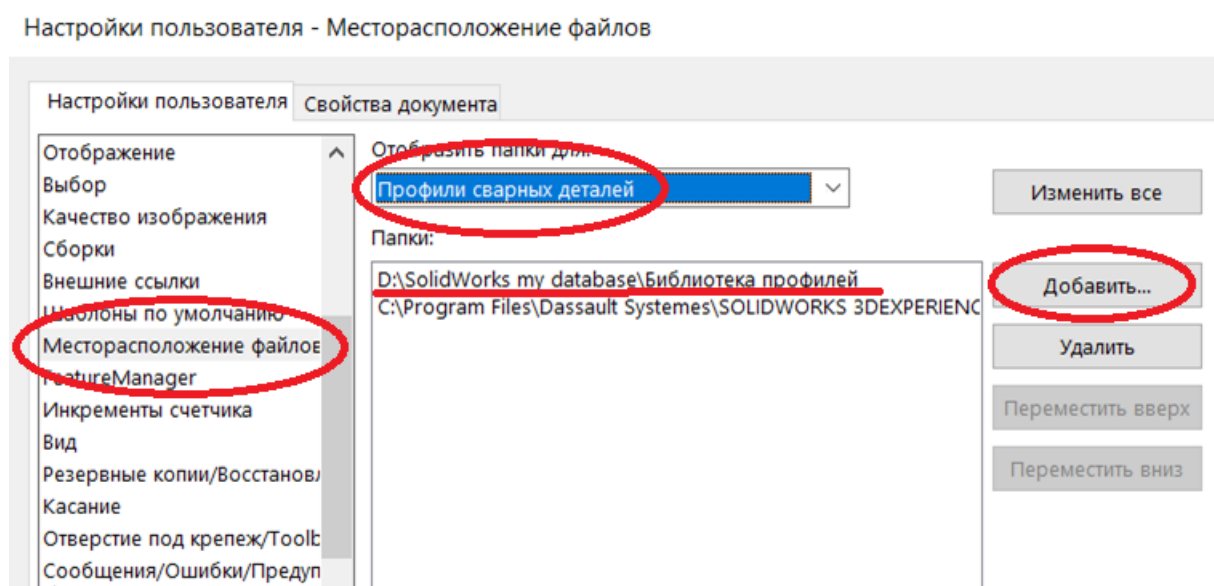


Рис. 44 – Додавання папки з профілями в бібліотеку профілів зварних з'єднань;

Створення бібліотечного ескізу перерізу профіля [57]:

- 1) Відкрити нову деталь;
- 2) Створити новий **Ескіз1**, в якому намалювати профіль (Рис. 45, а);
- 3) Вийти з режиму «Ескіз»;
- 4) Зберегти новий профіль:

- Виділити **Ескіз1**, натиснувши на нього один раз лівою кнопкою миші і дереві конструювання FeatureManager (Рис. 45, б);
- Виберіть Файл > Зберегти як;
- Введіть назву профіля та збережіть у форматі SLDLFP (Рис. 45, в);

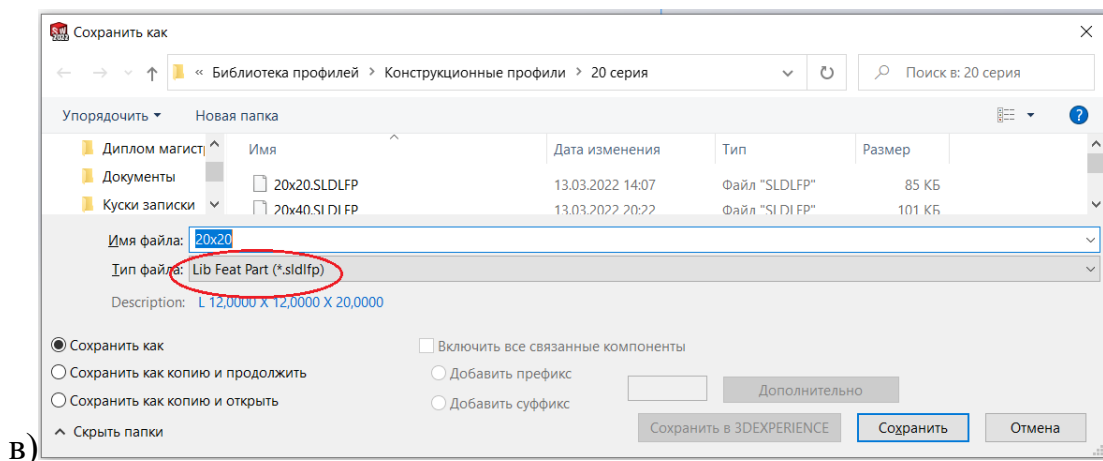
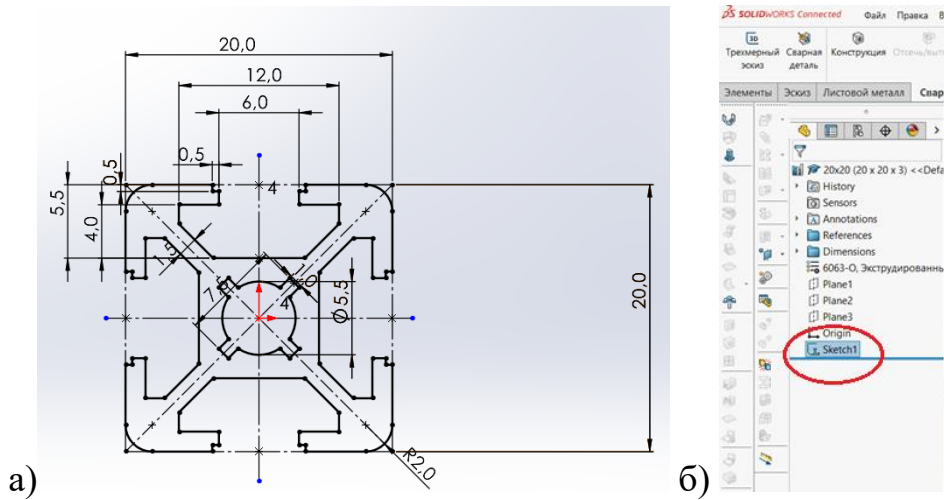


Рис. 45 – основні етапи збереження нового профіля в необхідному форматі: а – намалювати профіль; б - виділити Ескіз1 в дереві конструювання FeatureManager; в – зберегти Ескіз1 в форматі Lib Feat Part (*.sldlfp);

В результаті створення нової бібліотеки, проектування та редагування рами з конструкторського профілю значно полегшується. Створивши Ескіз/3D Ескіз, можна підставляти різні профілі, протягом проектування, легко створювати нові ланки, редагувати типи стиків ланок (Рис. 46). Стає можливим отримувати достатньо точне значення ваги верстата/устаткування,

проектами, щоб зараз не витратити час на моделювання усієї можливої кількості конфігурацій. В результаті отримуємо певну кількість збірок, що зберігаються як одна збірка (Рис. 48, б), які можна швидко вставляти в проекти не витрачаючи час на підбір метизів, фіксування гайок у певних положеннях (що, час від часу, буває складним, якщо робити це прямо у проекті).

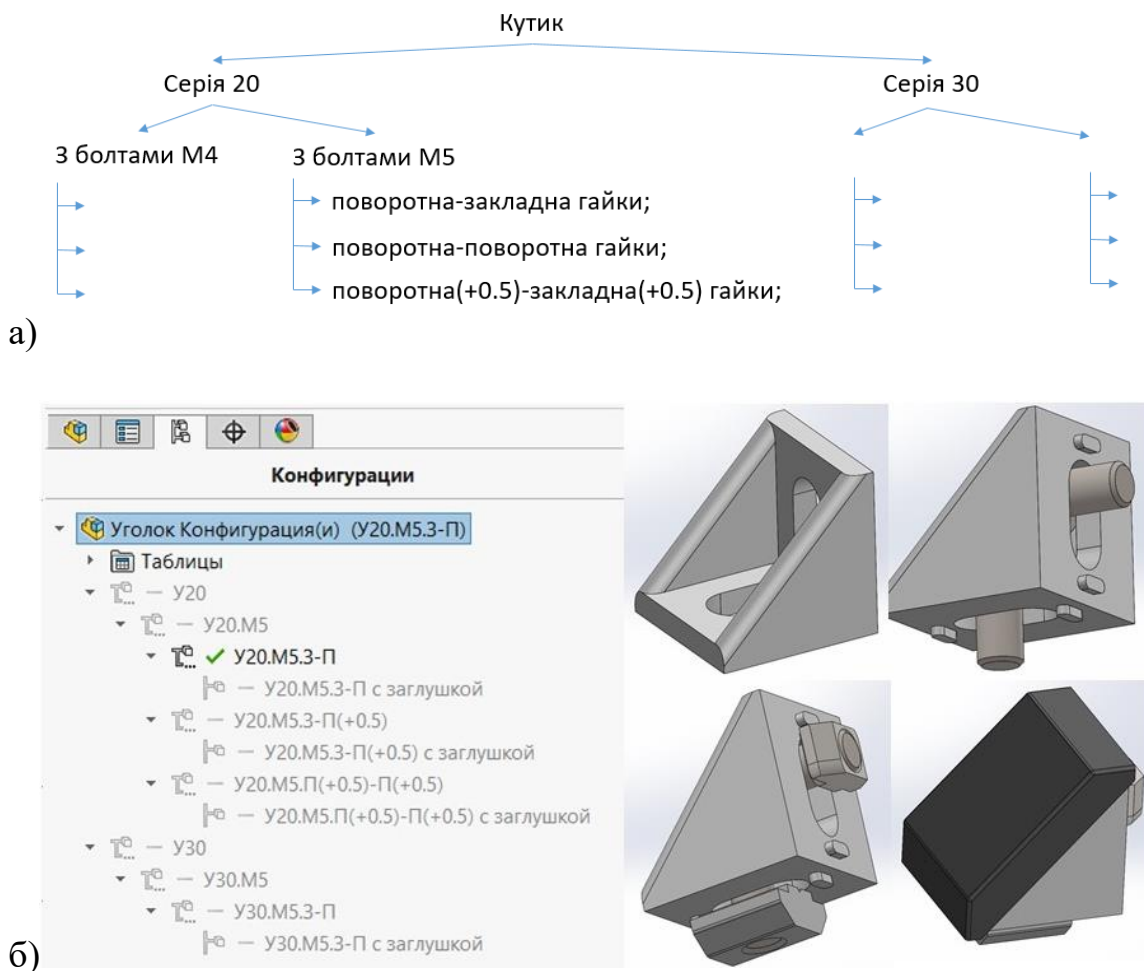


Рис. 48 – створення бібліотеки кутиків для конструкційних профілів: а – деревовидна структура можливих конфігурацій; б – конфігурації збірки в SolidWorks;

Великі кутники використовуються для більшої жорсткості рам. Вони дещо вужчі за малі: великий кутник серії 20 має розміри 38x38x18мм. Для невеликих рам такі комплектуючі можуть бути незамінними, якщо поверх

кутника треба ще закріпити листову деталь, щоб вона не виходила за межі профіля.

Створена бібліотека великих кутників (Рис. 49) має таку саму структуру: кутник серії (20, 30, 40), болт (М5, М4, ...), гайки (закладна-поворотна, поворотна-закладна, поворотна-поворотна), наявність заглушки.

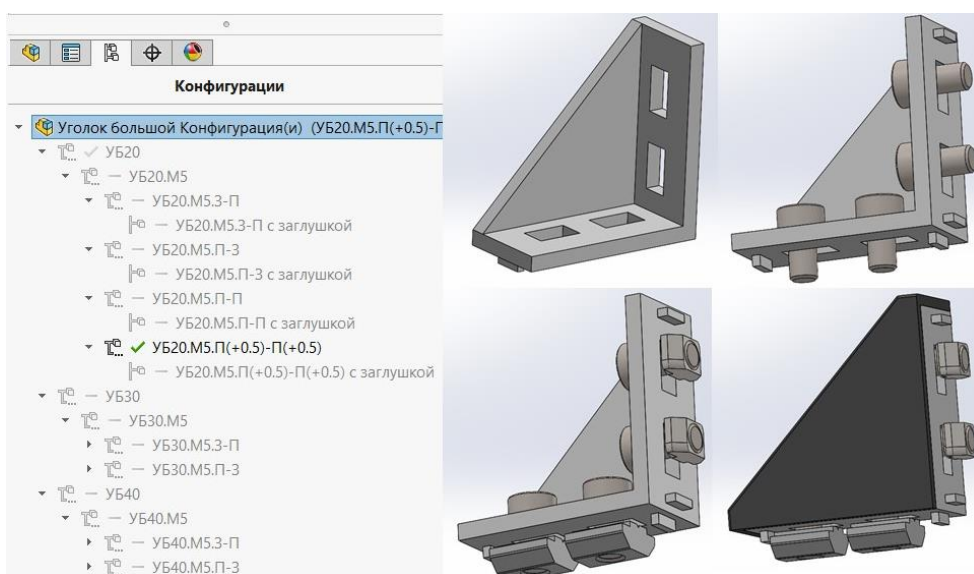


Рис. 49 – бібліотека великих кутників для конструкційних профілів;

4.7.1 Модуль 1. Кришка з нагрівачем

Прийнято рішення нагрівач не виготовляти, а придбати вже готовий. Покупний нагрівач складається зі спеціальних ізолюючих керамічних цеглинок, які поєднуються між собою, утворюючи гнучкий нагрівальний мат. Всередині керамічного мату прокладається нагрівальна пружина (Рис. 50, а) [58]. Спроектвана у SolidWorks модель нагрівача (Рис. 50, б) використовується у проекті але ще буде уточнена, після придбання конкретної моделі.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

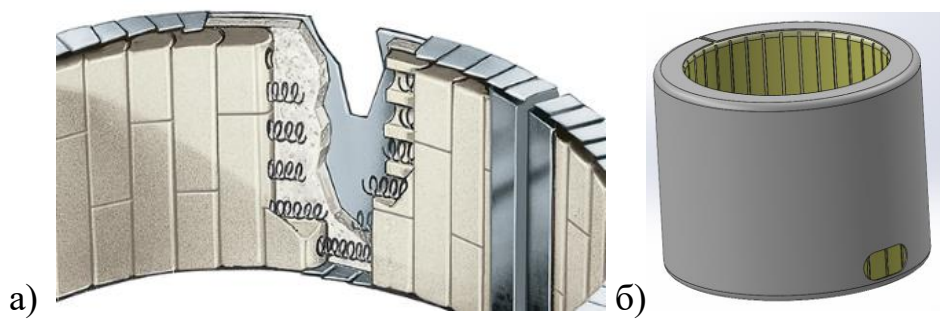


Рис. 50 – Нагрівач: а – будова нагрівача; б – модель у SolidWorks;

Починається збірка модуля із встановлення нагрівача (1) (Рис. 51) у внутрішню стінку (2) (розгортка якої представлена у Додатку 1). Нагрівач притискається до внутрішньої стінки кришкою (3), після чого даний вузол встановлюється на нижню торцеву кришку (4).

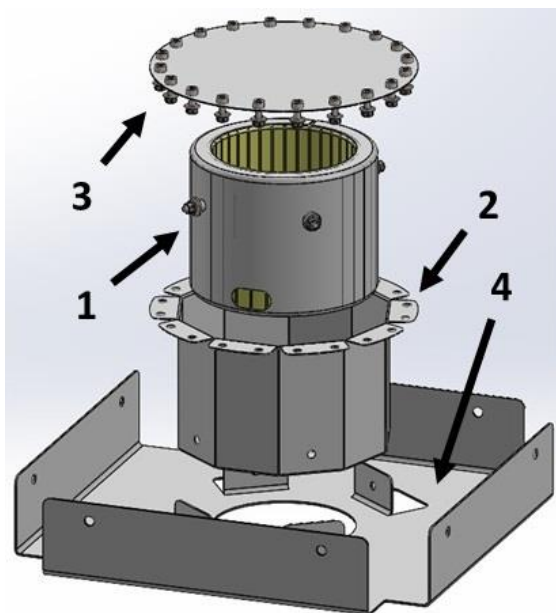


Рис. 51 – Встановлення нагрівача;

Зовнішня стінка виготовляється із зігнутої листової деталі (Рис. 52) та армується конструкційним профілем, який закріплюється великими кутниками (розгортка у Додатку 2).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

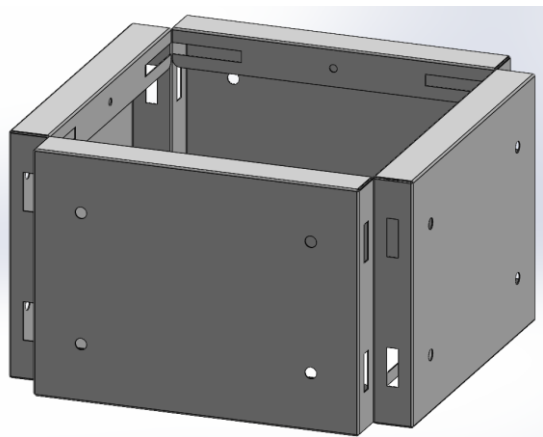


Рис. 52 – загальний вид зігнутої листової деталі стінки;

Основними вузлами Модуля 1 є нижня торцева кришка з нагрівачем, зовнішня стінка та верхня торцева кришка (Рис. 53, а). Загальний вигляд Модуля з нагрівачем представлено на Рис. 53, б.

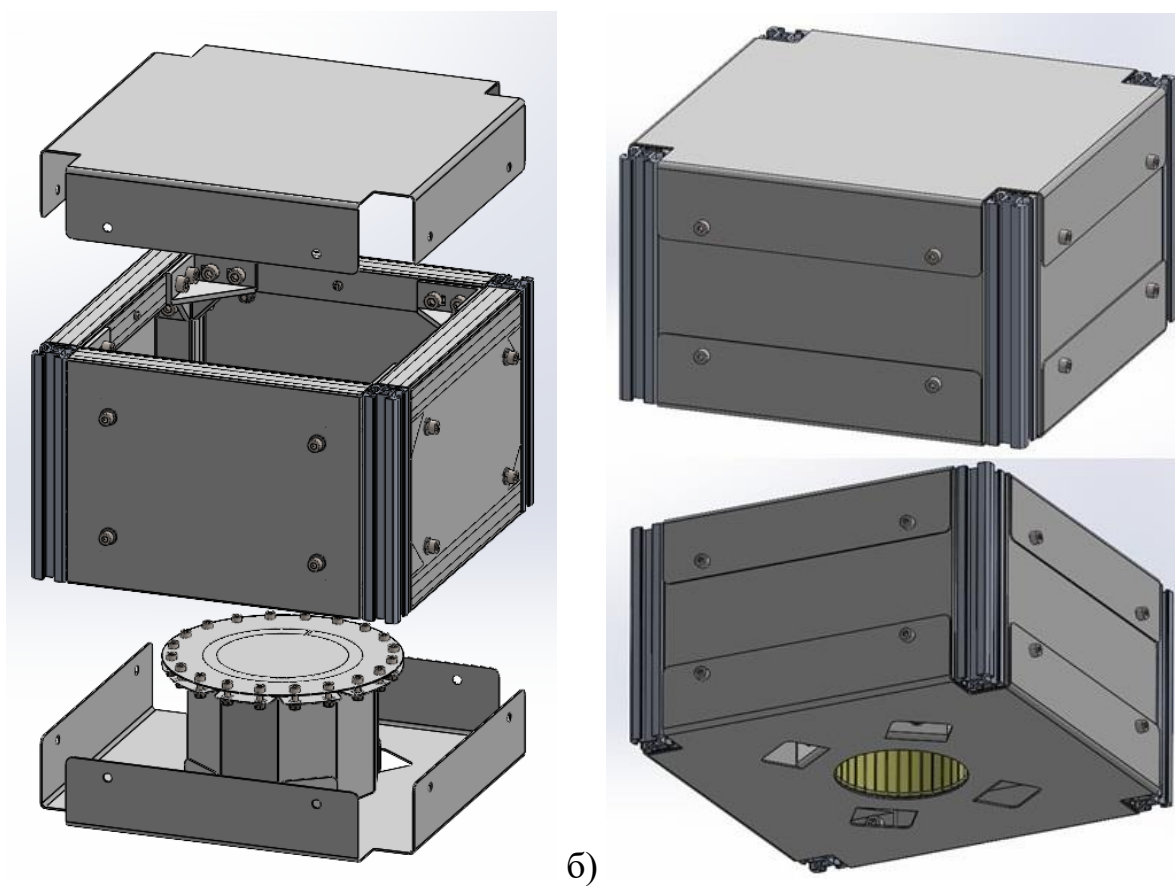


Рис. 53 – Модуль 1 (з нагрівачем); а) – збірка Модуля; б) – загальний вигляд;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

77

4.7.2 Модуль 2. Двері

У першому виконанні, Модуль дверей було виготовлено у вигляді двох пів-стінок (Рис. 54, а). Згідно основним принципам конструкції, модуль дверей складається двох торцевих кришок, які кріпляться болтами до бонок, встановлених на стінки модуля (Рис. 54, б). Зовнішні та внутрішні стінки зігнуті з єдиної листової деталі (розгортка представлена в Додатку 3).

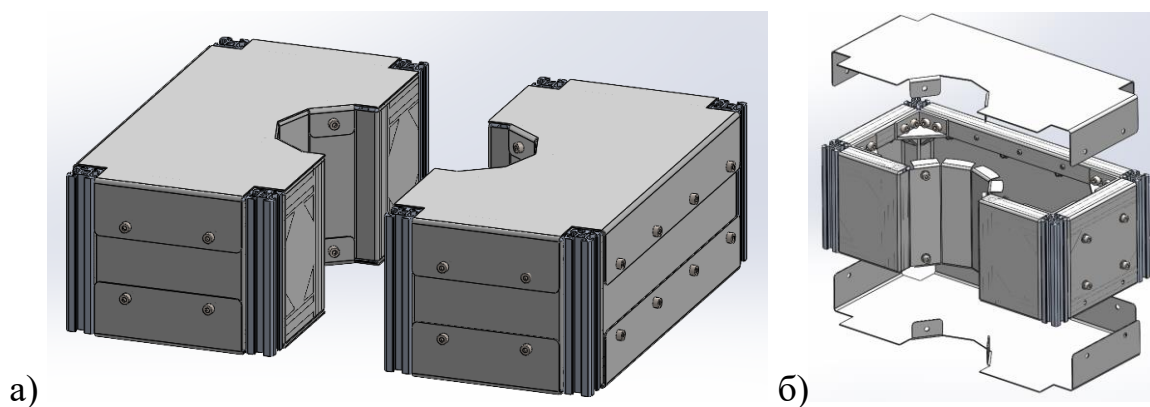


Рис. 54 – Двері з двох пів-стінок: а – загальний вигляд двох дверей; б – взрив-схема;

Недоліком такого виконання є те, що при відкриванні дверей холодне повітря проходить по всім гарячим поверхням внутрішньої стінки. Такий недолік відсутній у другій конструкції: є нерухома колона, частина якої виконана як двері (Рис. 55, а).

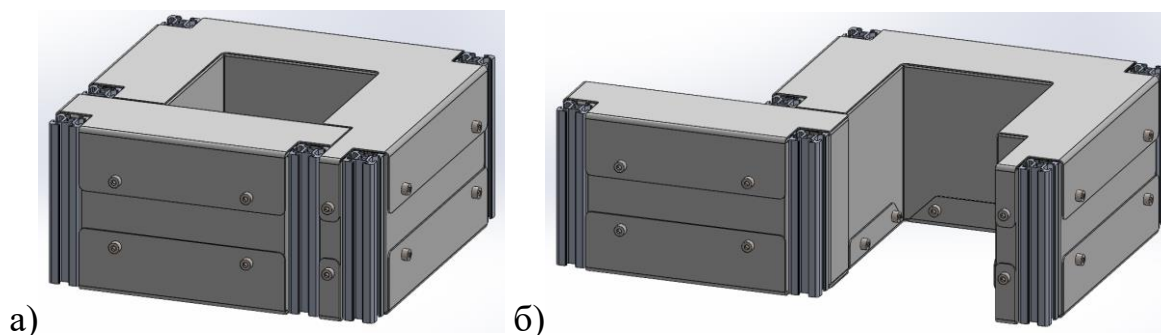


Рис. 55 – загальний вигляд Модуля2: а – із закритими дверима; б – з відкритими дверима;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При відкриванні двері не створюється наскрізний потік повітря (Рис. 55, б). Крім того, маса рухомої частини знижується в декілька разів, що впливатиме при підборі напрямних та приводу.

Стінки колони для дверей так само виготовляються з єдиної листової деталі (розгортка представлена у Додатку 4). Внутрішня стінка виконана не у формі восьмикутника, а – квадрата, що полегшує процес збірки.

Спершу згинається частина деталі, яка утворює зовнішню стінку та армується конструкційним профілем (Рис. 56, а). Після чого згинається внутрішня стінка та закріплюється на рамі (Рис. 56, б). Для забезпечення доступу до гвинтів, у корпусі виготовлено спеціальні отвори, крізь які можна дістати шестикутником до шліців.

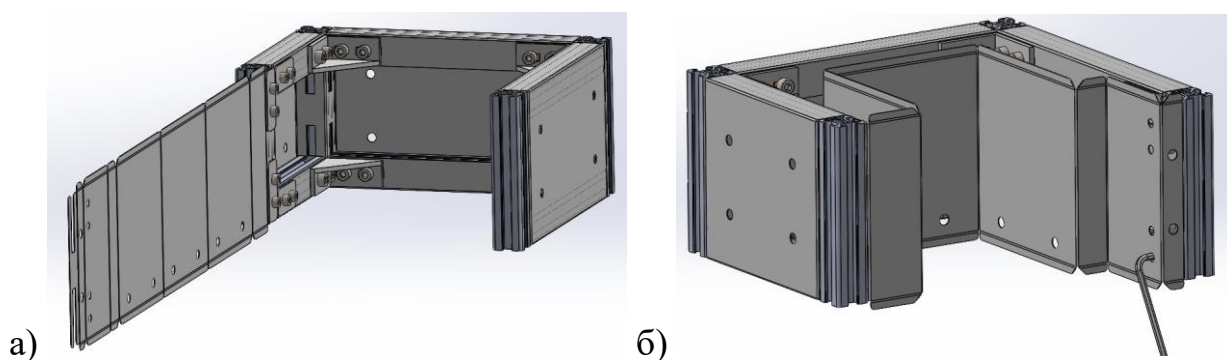


Рис. 56 – Етапи збірки стінок Модуля 2: а – кріплення рами до зовнішньої стінки; б – згинання та кріплення внутрішніх стінок шестикутником, крізь спеціально передбачені отвори;

4.7.1 Модуль 4. Колона печі

Модуль із цільною стінкою розташовується знизу колони печі. У цьому модулі знаходиться контейнер, протягом охолодження після процесу спікання та теплоізолювана частина штоку. Модуль спроектовано у двох варіантах: з круглою стінкою (Рис. 57, а), та з квадратною (Рис. 57, б),

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

79

розгортки внутрішніх стінок яких представлені у Додатку 5 та Додатку 6, відповідно.

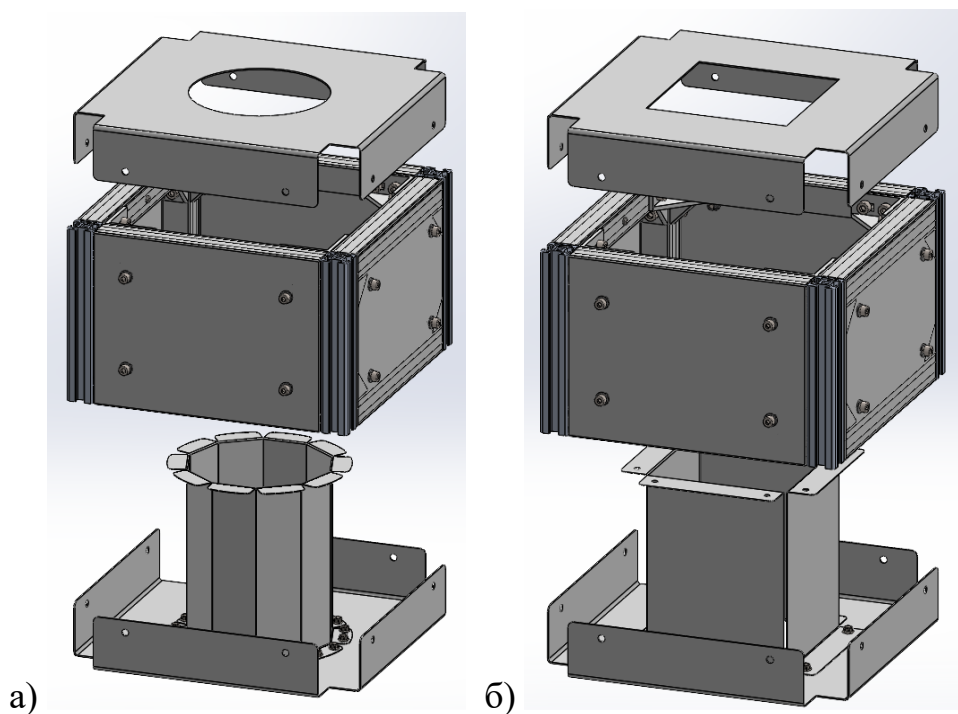


Рис. 57 – Колона печі внутрішньою стінкою: а – кругла стінка; б – квадранта стінка;

Результатами проведених експериментів з моделями в САПР SolidWorks стали наступні висновки:

- Усі внутрішні стінки робити квадратними;
- Внутрішню стінку модуля з нагрівачем робити квадратною, також;
- Двері виконувати в форматі: «колонна з рухомою стінкою»;

4.7.2 Модуль 3. Штифти

Після завершення процесу спікання, гарячий контейнер має утримуватись всередині нагрівача, поки відбуваються маніпуляції по переміщенню попередньо нагрітого та охолодженого контейнерів. Для цього необхідно розробити модуль, що міститиме штифти, які саме, триматимуть гарячий контейнер.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

80

Рух штифтів – лінійний, отже потрібен відповідний привод. Передача гвинт-гайка має величезну редукцію, яка не є необхідною в даній задачі. Передача рейка-шестерня не дуже розповсюджена в системах такого розміру, що ускладнює задачу підбору комплектуючих. Зубчасто-ремінна передача часто використовується в сучасних верстатах з ЧПУ, тож з неї і почався процес проектування.

В якості штифтів використані круглі напрямні. Опори напрямних мають розташовуватись поза колоною печі, для уникнення перегріву. В якості опор використані лінійні підшипники серії SCS. Дві напрямні необхідно зв'язати між собою. Для цього можна використати опори типу SHF (Рис. 58, а) або – SK (Рис. 58, б).

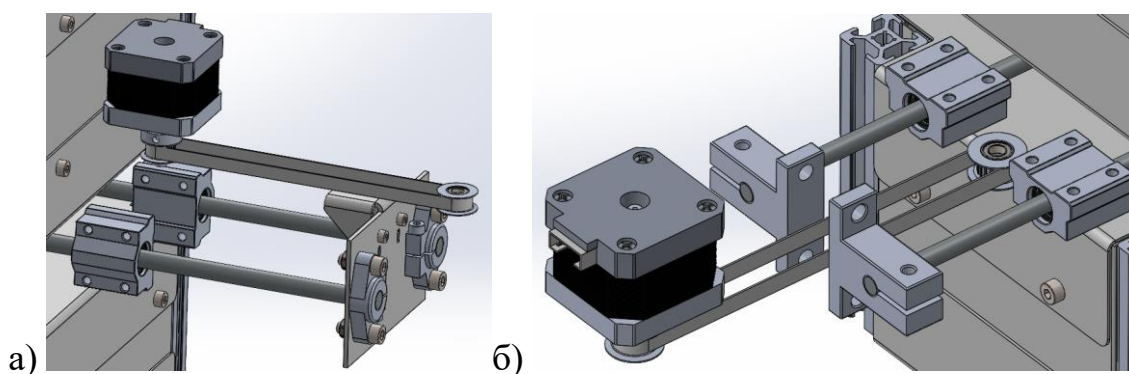


Рис. 58 – Варіанти компоновок вузла штифтів: а – з опорами SHF; б – з опорами SK;

Для порівняння обох варіантів між собою була створена спільна збірка (Рис. 59). Конструкція з опорами SHF виявилася компактнішою. Габарити вузла штифтів важливі, оскільки під ними буде розташований модуль з дверями, а ці двері мають вільно відчинятись. Крім того, плоскі опори зручніше зв'язуються пластиною. Повернути опори SK на закріпити їх на горизонтальній пластині неможливо, оскільки вони будуть заважати дверям відчинятися.

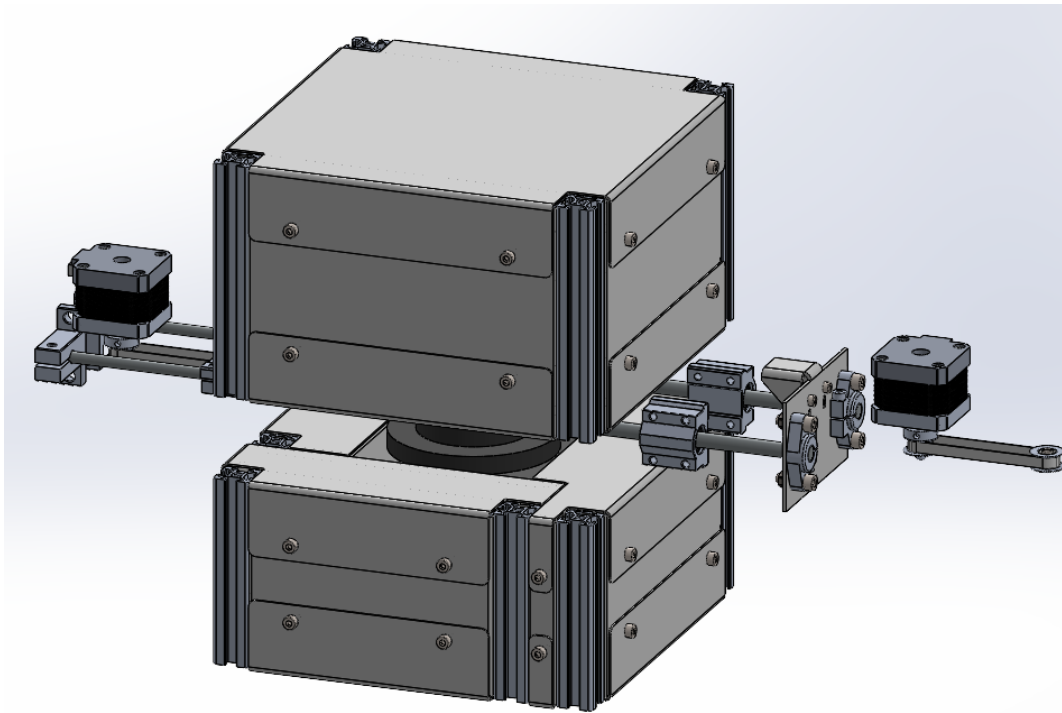


Рис. 59 – Збірка з різними варіантами елементів конструкції вузла штифтів;

Основна проблема: як поєднати напрямні з фіксатором ременя. Був варіант створення горизонтальної площини, як представлено на Рис. 60, а. Проте, таке рішення не здається привабливим. В результаті була спроектована горизонтальна пластина, до якої кріпилися напрямні без використання стандартних опор (Рис. 60, б).

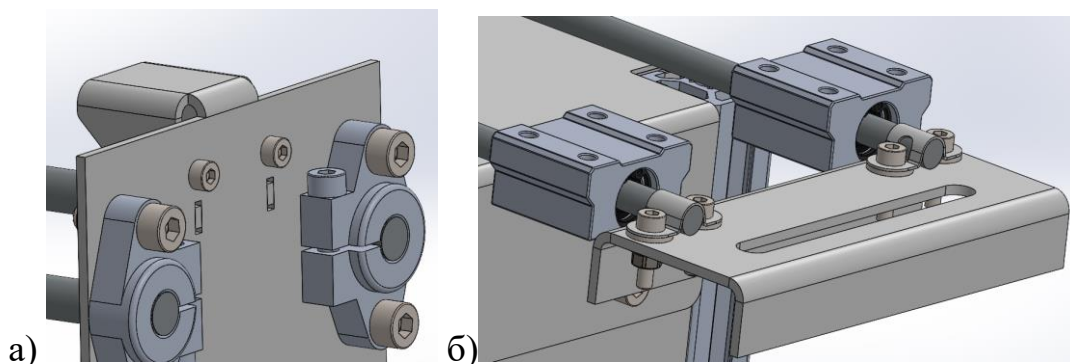


Рис. 60 – Конструктивні рішення для фіксації ременя привода до напрямних: а – додатковий вигнутий елемент; б – нове рішення пов'язання напрямних між собою;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На цьому етапі розробки були представлені консультанту з конструкторської частини, резолюція якого була: «Навіщо такі складні листові деталі?». З його допомогою було синтезоване нове конструктивне рішення, націлене на прості листові деталі.

4.8 Конструктивне рішення 3: конструкційний профіль та прості листові деталі. SolidWorks

В попередній конструкції недоліками були складні листові деталі та відсутність єдиної рами. В новій конструкції спочатку збирається рама (Рис. 61, а). Алюмінієві кутики (Рис. 61, б) із бонками (клепальні гайки) під великий потай (Рис. 61, в) кріпляться на раму за допомогою поворотних гайок, утворюючи каркас модуля (Рис. 61, г).

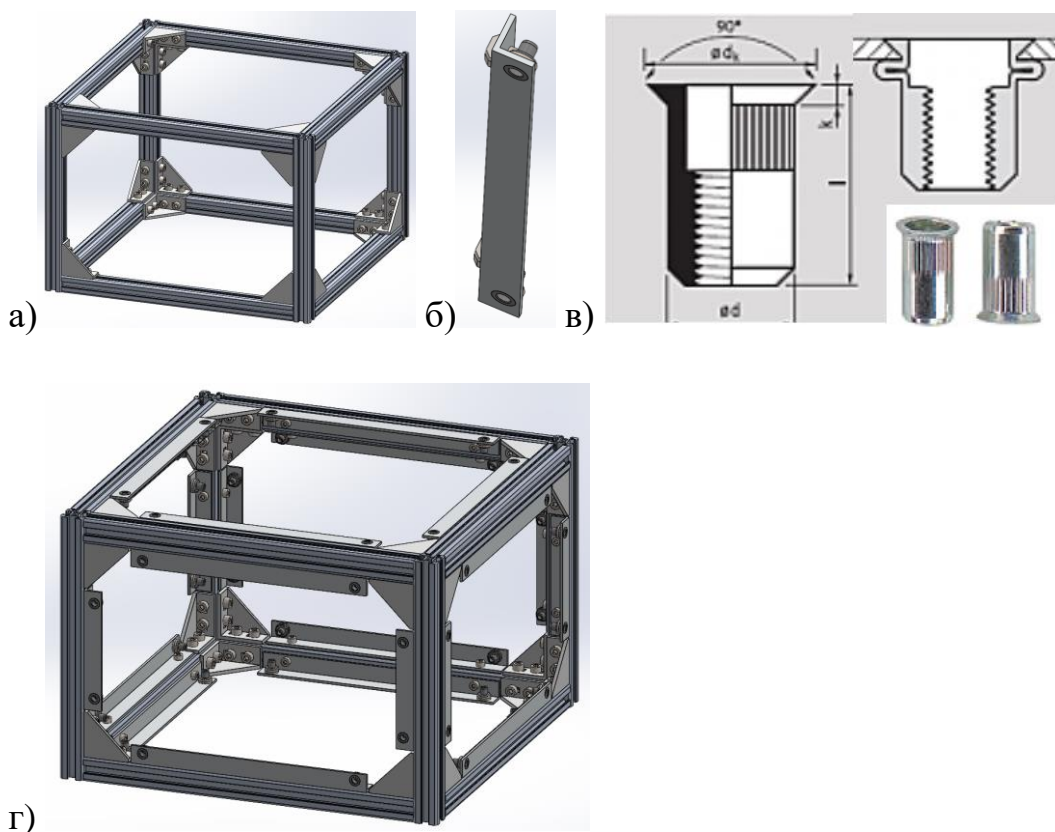


Рис. 61 – Основні елементи конструктивного рішення: а – рама; б – алюмінієвий кутик з бонками та поворотними гайками; в – бонка під великий потай; г – каркас, на який можна закріплювати листи стінок болтами;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

4.8.1 Модуль 1. Кришка за нагрівачем

В новій конструкції модуль з нагрівачем представляє собою раму, з плоскими кришками з кожної сторони, що кріпляться гвинтами до бонок, встановлених на алюмінієві кутики (Рис. 62).

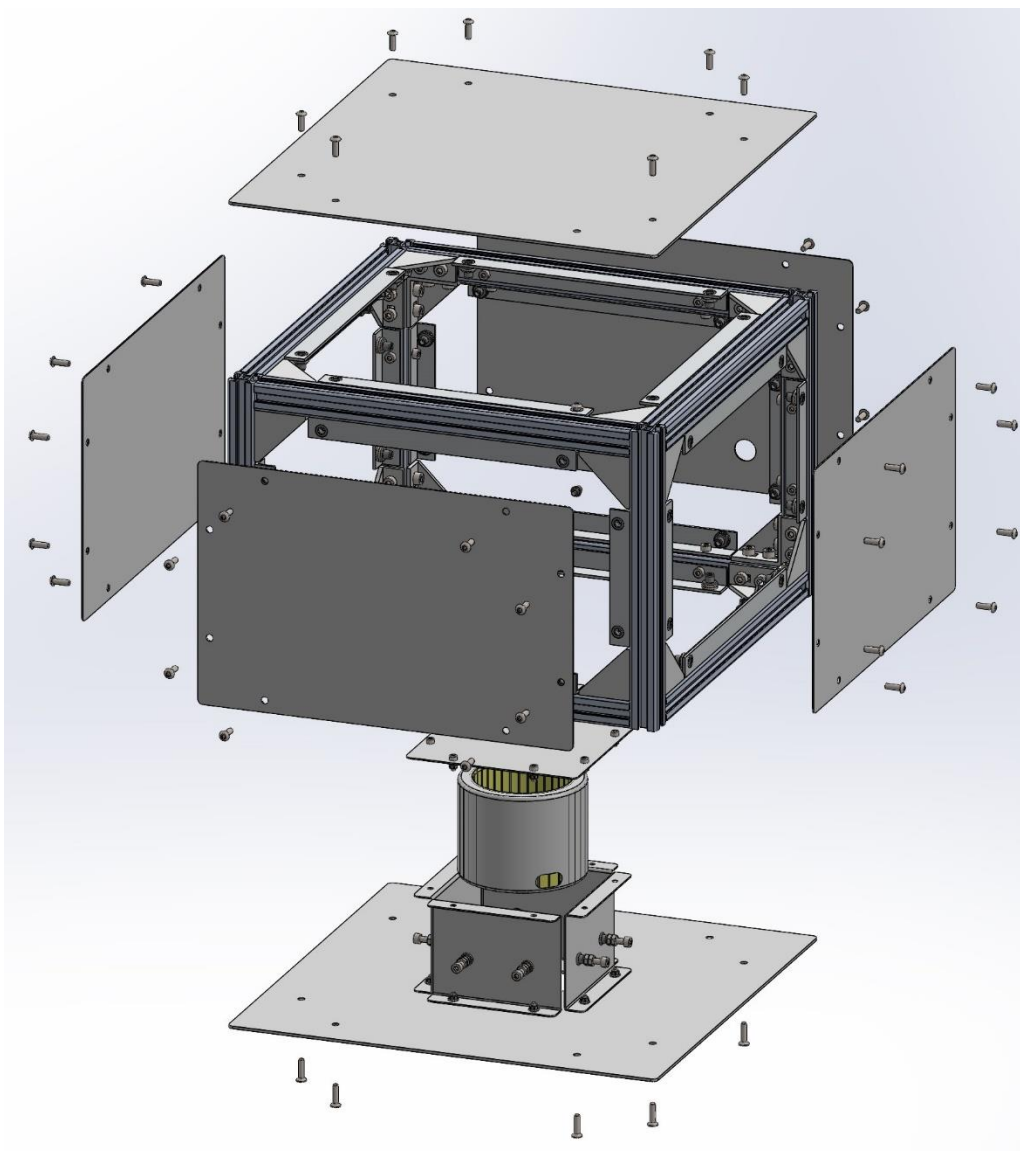


Рис. 62 – Вибух-схема Модуля 1 (кришка з нагрівачем);

Окремо збираються рама та нижня торцева кришка з внутрішньою стінкою та нагрівачем. Нагрівач центрується спеціальними гвинтами, які вкручуються у бонки, що розташовані на внутрішній стінці. На задню кришку встановлюються роз'єм живлення нагрівача та авіаційні роз'єми GX16.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

84

4.9 Модуль 2. Двері

Колона під двері збирається окремо (Рис. 63). Рама являється не тільки каркасом стінок, а і опорою для напрямних, по яким будуть їздити двері (Рис. 64).

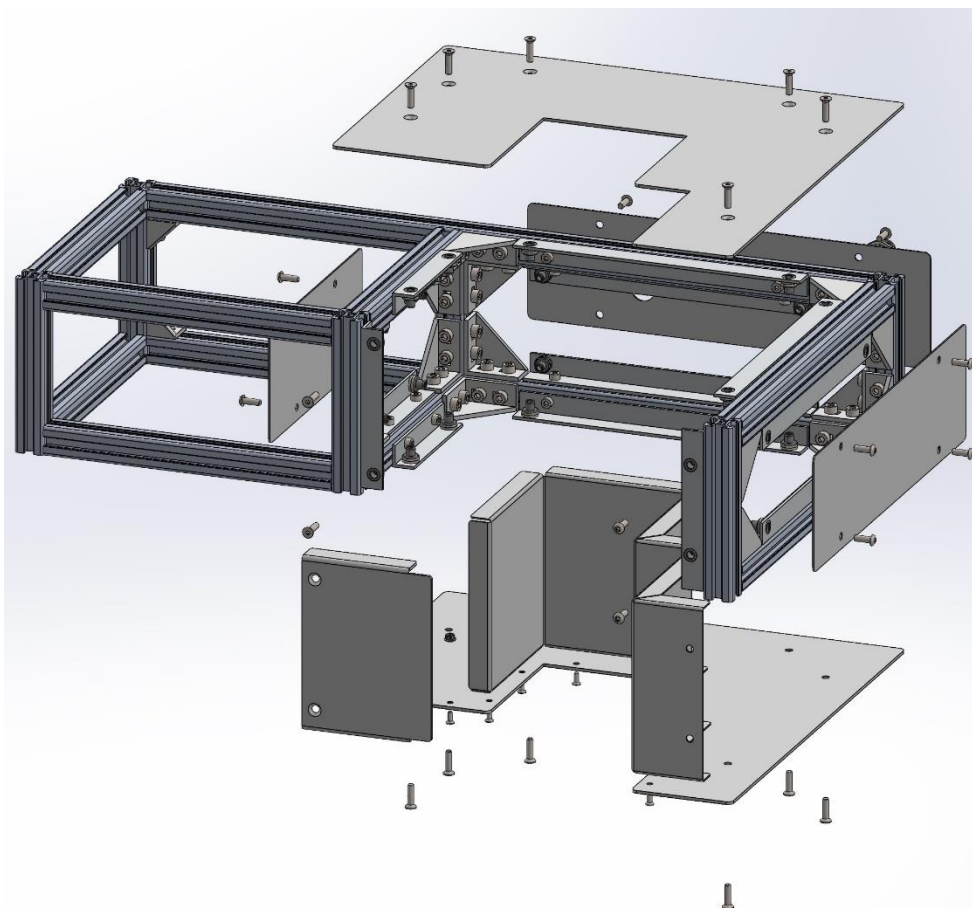


Рис. 63 – Вибух-схема колони під двері;

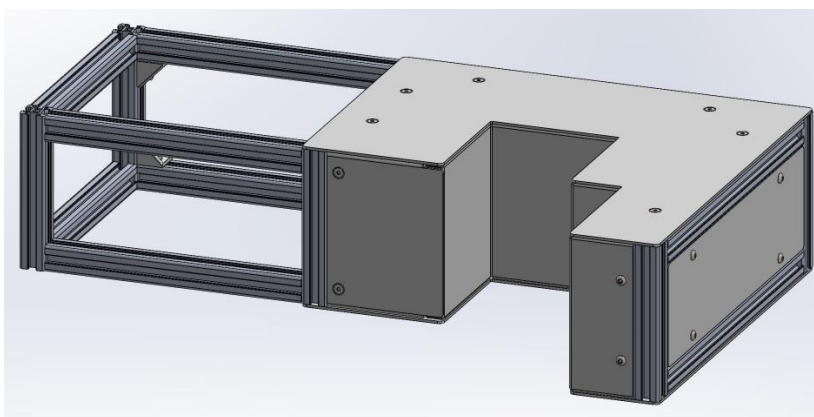


Рис. 64 – Загальний вигляд колони під двері. Рама поза колоною – опора для напрямних дверей;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

85

Двері мають просту будову та кріпляться на плоский каркас-раму (Рис. 65, а). Рама в дверях буде використовуватись для кріплення до напрямних. Стінка дверей виконана без отворів та кріплень для зменшення зазору між дверями та колоною (Рис. 65, б).

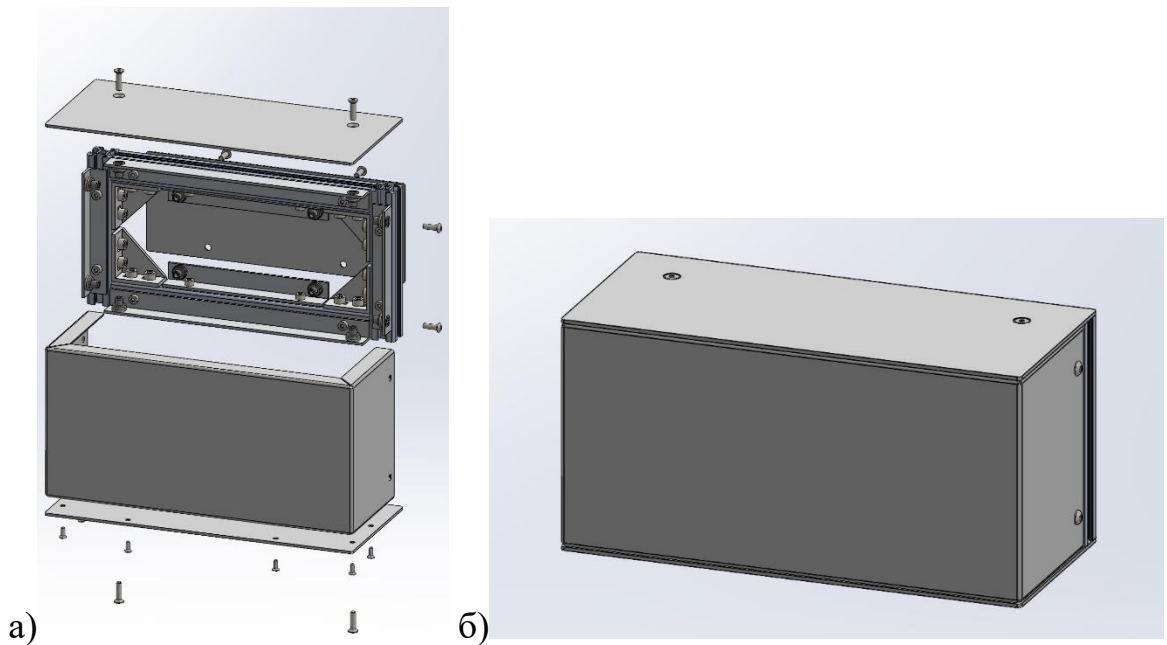


Рис. 65 – Двері Модуля 2: а - вибух-схема; б – двері у зібраному стані;

Розміри дверного отвору при відкритих дверях, більші за розміри внутрішньої стінки колони (Рис. 65, а), з метою полегшення завантаження контейнера. В закритому стані колона з дверима мають стандартні, для проекту, габарити (Рис. 65, б)

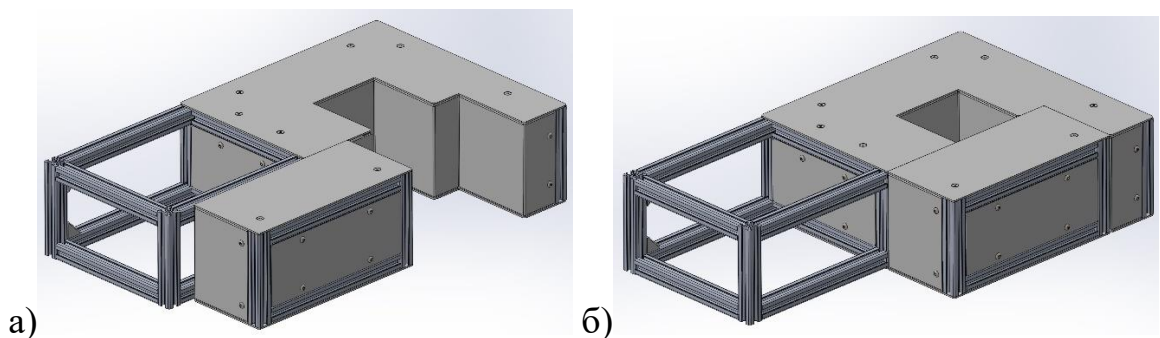


Рис. 65 – Модуль 2 (двері): а – двері відчинені; б – двері зачинені;

4.10 Модуль 3. Штифти

Під штифти спроектована окрема частина колони (Рис. 66, а). Через вимоги до **мінімальної висоти** модуля, разом із необхідністю забезпечити **відступ 5-10мм** між штифтами та контейнером, притиснутим до модуля з нагрівачем (Рис. 66, б), бічні стінки з листових деталей – відсутні. Рама виготовлена з конструкційного профілю 20x40 (серія 20). На подовжену нижню торцеву кришку будуть спиратися лінійні підшипники (Рис. 66, в).

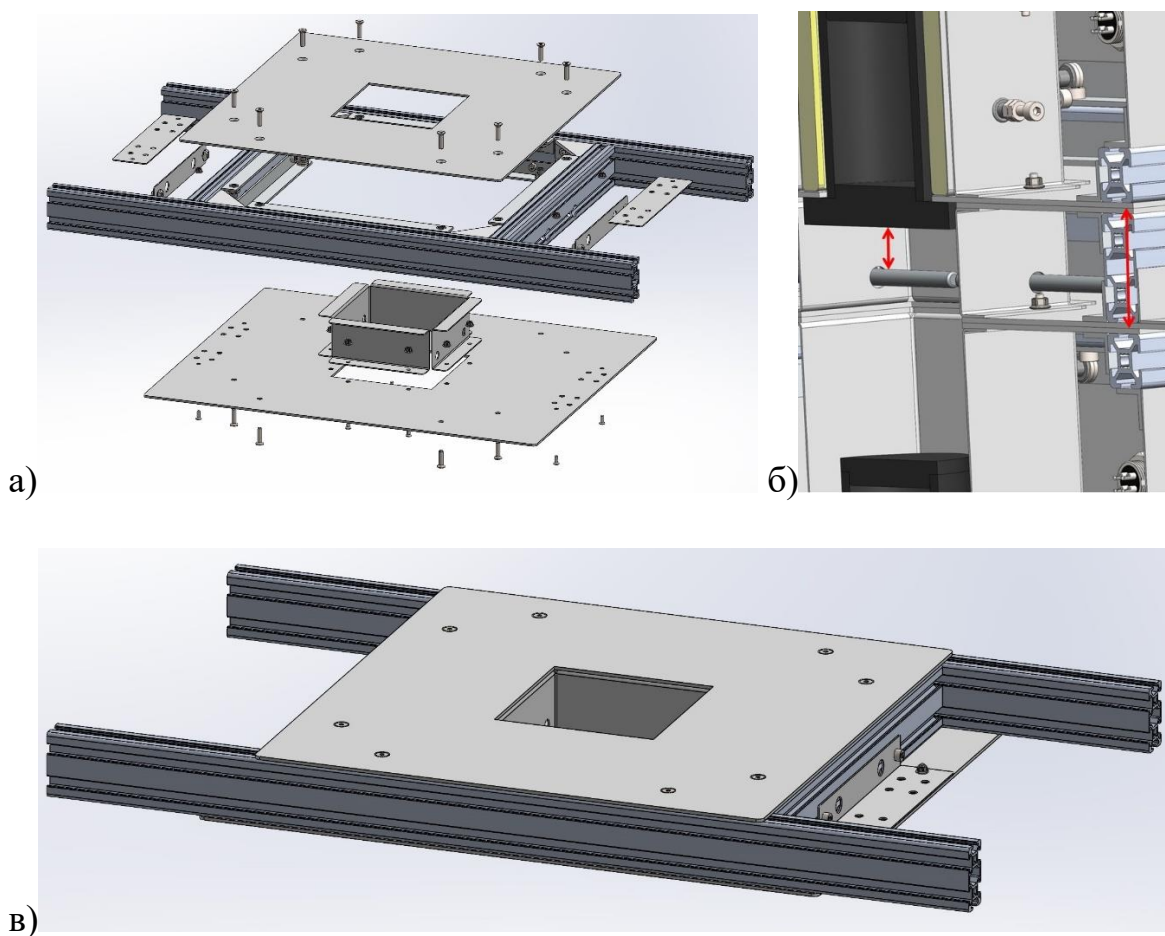


Рис. 66 – Колона під штифти: а – вибух-схема; б – умови по висоті модуля: відстань між штифтами та контейнером 5-10мм, висота колони під штифти має бути мінімальна; в – загальний вигляд;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

87

Обертальний рух двигуна у поступальний – штифтів перетворюється кривошипно-шатунним механізмом (Рис. 67, а). Кривошип збирається із двох пластин, поєднаних латунними стойками. Пластина-шатун, по якій ковзає підшипник кривошипа, одночасно являється перемичкою, що зв’язує обидва штифти (круглі напрямні) (Рис. 67, б).

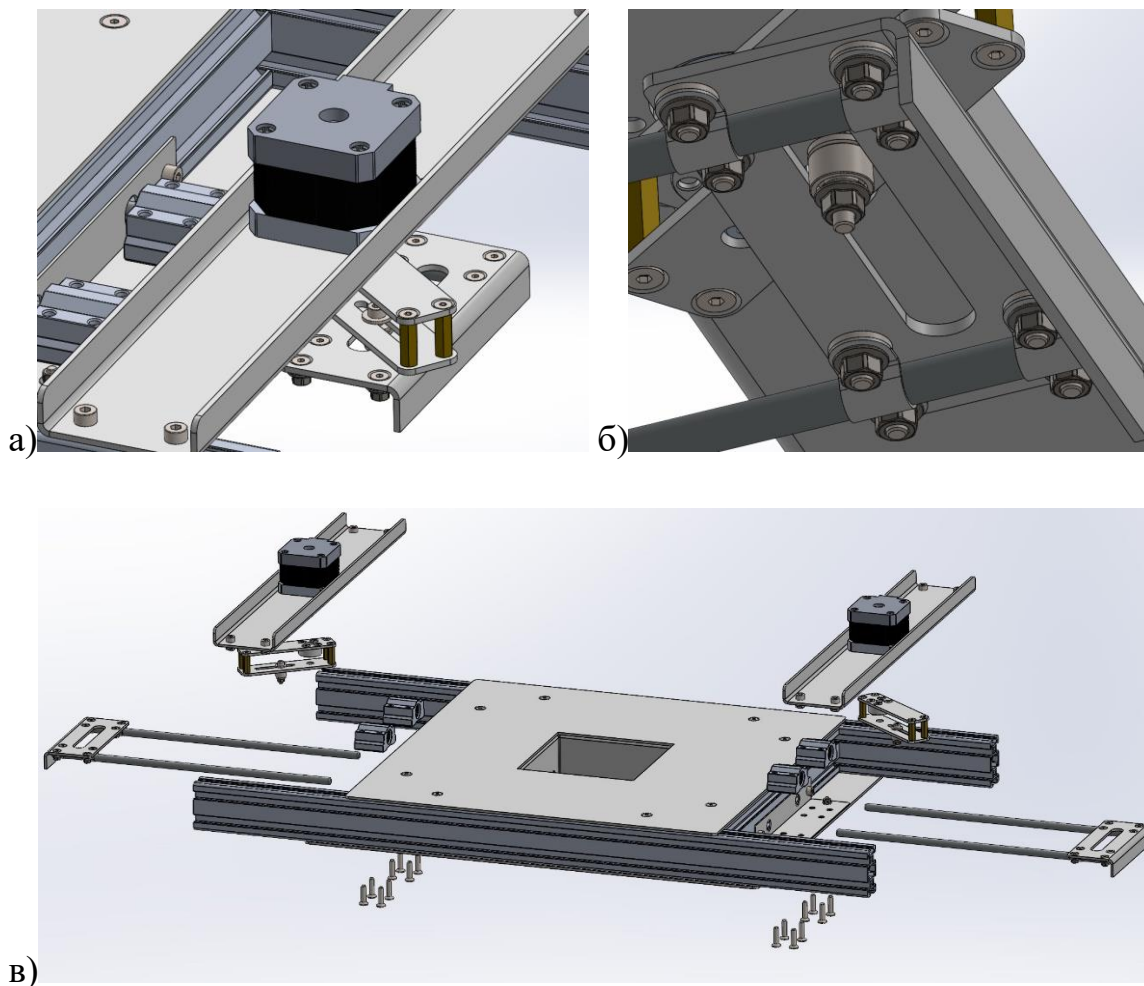


Рис. 67 – Модуль 3 (штифти): а – кривошипно-шатунний механізм; б – шатун-перемичка, що пов’язує два штифти (круглі напрямні) між собою в єдину конструкцію; в – вибух-схема встановлення штифтів та приводів на колону;

Лінійні підшипники кріпляться на торцеву кришку колони болтами М4х16 в потай. В підшипники вставляються штифти, об’єднані пластиною-шатунном. Двигуни кріпляться на пластини із ребрами жорсткості. Привід із кривошипом базується на рамі колони та кріпиться за поворотними гайками.

Конструкція кривошипа дозволяє регулювати його розрахункову довжину, шляхом переміщення підшипника (що штовхає шатун) вздовж пазу в нижній пластині кривошипа.

Положення пластини, на якій кріпиться двигун, можна змінювати, переміщаючи її вздовж профіля 20x40. Таким чином, механізм можна відрегулювати під необхідний хід штифтів, а також їх кінцеві положення у відкритому (Рис. 68, а) та закритому (Рис. 68, б) стані.

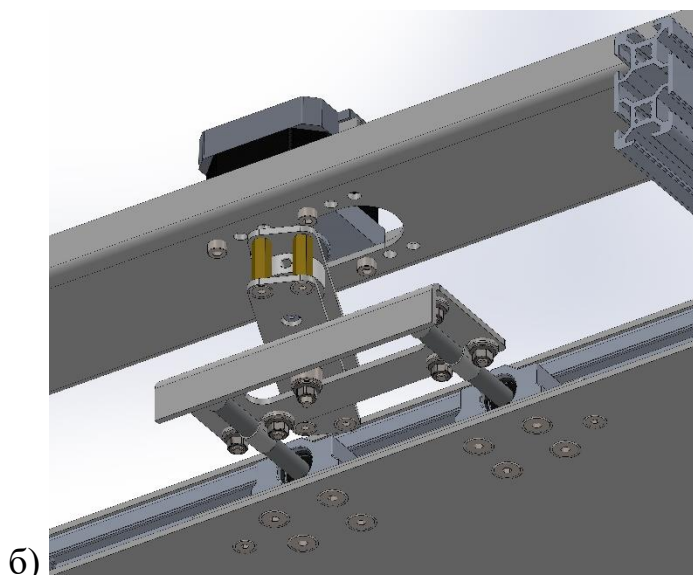
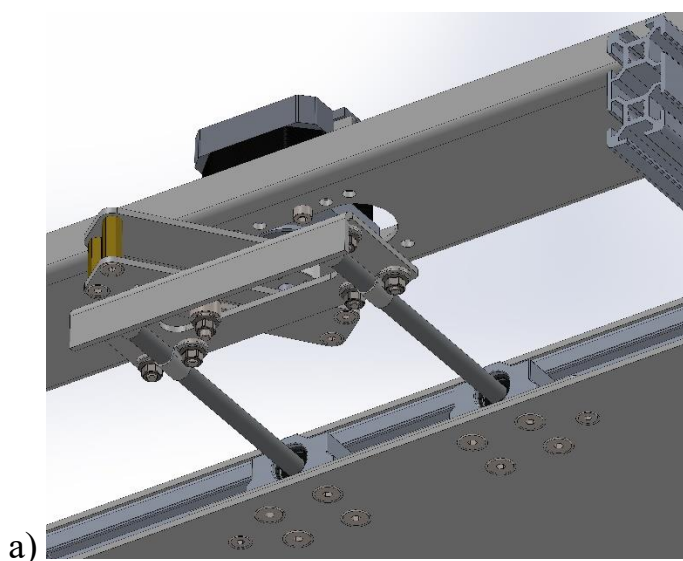


Рис. 68 – Положення штифтів: а – відкриті, контейнер може вільно переміщуватись штоком печі; б – закриті, контейнер спирається на штифти;

4.11 Модуль 4. Колона печі

Цільна колона печі розташовується в нижній частині комплексу. В колоні буде знаходитись теплоізолюваний шток, який підійматиме контейнери між усіма модулями. Конструкція колони така сама, як і модуля нагрівача (Рис. 69). Відмінність лише у висоті модуля та внутрішньої стінки.

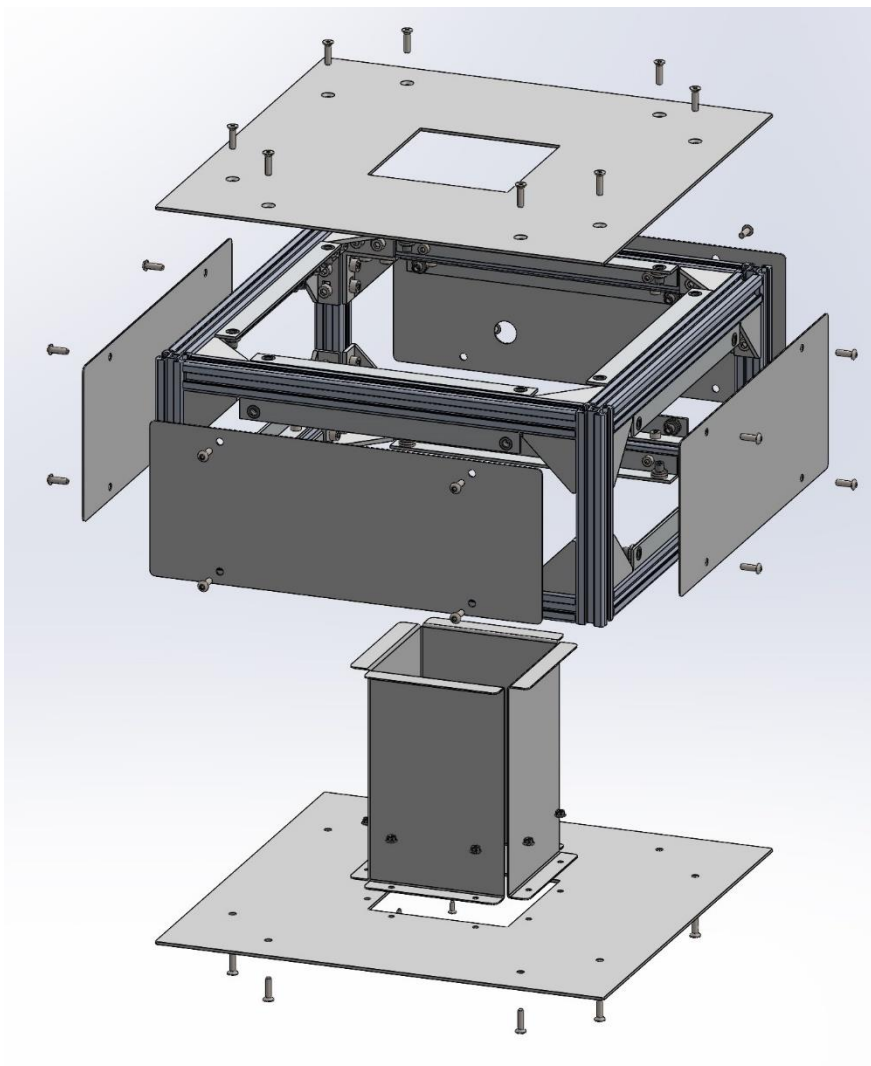


Рис. 69 – вибух-схема Модуля 4 (колона);

Оскільки піч створюється для проведення експериментів – в колону печі будуть встановлені термопари. Задня стінка також має отвори під два авфакційні роз'єми GX16, куди будуть виведені контакти термопар.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

90

4.12 Загальний вигляд колони печі

Зібрана піч (Рис. 70) представляє собою набір окремих модулів, які встановлюються одне на одного. Рами модулів виконані з конструкційного профілю, що дозволяє легко встановлювати датчики, механізми та пристрої.

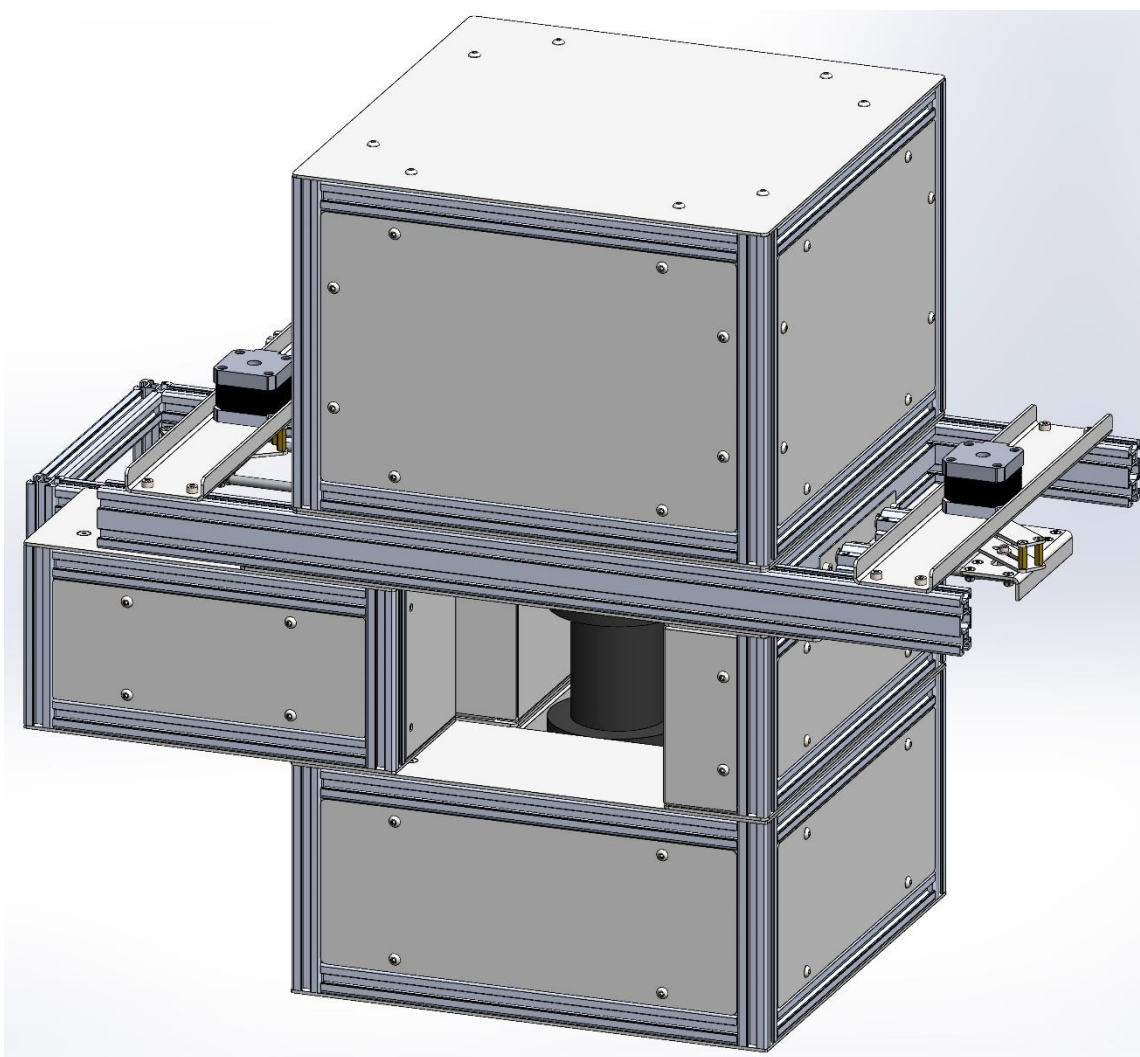


Рис. 70 – Загальний вид колони печі;

Габаритні розміри прототипу 670x320x546мм, розрахована маса – 13,3 кілограми.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

91

Порівняльний аналіз

Переважає більшість промислових печей, розглянутих у Розділі 1, мають наступні суттєві недоліки:

1. Технологічний цикл складається з нагрівання (8-16 годин), самого процесу спікання (1-8 годин) та охолодження (18-24 години). Враховуючи необхідність витрати робочого часу на розігрівання та охолодження, новітні розробки по зменшенню часу спікання до 15-30 хвилин, не суттєво впливають на собівартість та продуктивність виготовлення кераміки;
2. Теплова енергія тіла, що охолоджується, просто втрачається – що знижує як економічність, так і екологічність виробництва;

Говорити про конкретні показники печі, що розробляється, неможливо без проектування комплексу промислового рівня. Для чого, в свою чергу, необхідно спочатку виготовити прототип. Проте, планується, що за рахунок попереднього прогрівання контейнера на другому ярусі, від остигаючого контейнера – на першому та контейнера у зоні спікання (на третьому ярусі), будуть отримані такі переваги:

1. Енергетичні – близько 25% енергії остигаючого контейнеру повторно використовується для попереднього прогрівання. Внаслідок чого знижується собівартість виготовлення кераміки;
2. Скорочення часу технологічного циклу – по-перше, одночасно із спіканням, частково проходять етапи охолодження та прогрівання, по-друге, остаточний нагрів контейнеру займатиме близько 2-3х годин (завдяки попередньому прогріванню). В результаті чого знижується собівартість виготовлення кераміки, підвищується продуктивність та екологічність пічного комплексу;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		92

Висновки

В рамках даної магістерської роботи виконані наступні пункти:

1. Розроблено прототип автоматизованого комплексу для спікання керамічних матеріалів із підвищеною енергоефективністю та продуктивністю;
2. Спроектовано в САПР Autodesk Inventor та виготовлено такі елементи комплексу: ПЛК, пульт для ПЛК, модуль мікроконтролера Arduino Mega, драйвер для сервоприводів DM1500;
3. В САПР SolidWorks спроектовані модулі печі: Модуль 1 (кришка з нагрівачем), Модуль 2 (двері), Модуль 3 (штифти), Модуль 4 (цільна колона);
4. Для електромеханічних реле системи аварійного вимикання ПЛК підібрані іскрогасні ланцюги RC-типу;
5. Протягом написання частини програми для ПЛК, отримані навички програмування на C++ за принципами об'єктно-орієнтовного програмування;

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

Використані джерела

- [1] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/sabe-forni/product-191048-2124589.html>.
- [2] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/sabe-forni/product-191048-1943008.html>.
- [3] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/idrocalor-srl-italy/product-198566-2184623.html>.
- [4] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/materials-research-furnaces/product-167957-1723090.html>.
- [5] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/materials-research-furnaces/product-167957-1723059.html>.
- [6] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/materials-research-furnaces/product-167957-1723059.html>.
- [7] [В Інтернеті]. Available:
<https://www.directindustry.com/prod/materials-research-furnaces/product-167957-1723059.html>.

furnaces/product-167957-1723059.html.

[8] [В Интернетe]. Available:

<https://www.linn-high-therm.de/ru/produkcija/podrobnaja-informacija/frh-3-200-2000-1250.html> .

[9] [В Интернетe]. Available:

<https://www.linn-high-therm.de/ru/produkcija/podrobnaja-informacija/pech-serii-fbv-300x300-300-1700-s.html>.

[10] [В Интернетe]. Available:

<https://www.thermaltek.com/technical-ceramics-glass/>.

[11] [В Интернетe]. Available:

<https://www.linn-high-therm.de/ru/produkcija/podrobnaja-informacija/pech-serii-ks-3-1340-vac.html>.

[12] [В Интернетe]. Available:

<https://www.directindustry.com/prod/ceradel-industries/product-68368-1043559.html>.

[13] [В Интернетe]. Available:

<https://thermcraftinc.com/components-within-gas-fired-industrial-furnace/>.

[14] [В Интернетe]. Available:

<https://www.hkfurnace.com/furnace/roller-continuous-furnace>.

[15] [В Интернетe]. Available:

<https://www.shiraishidenki.co.jp/eng/product/>.

[16] [В Інтернеті]. Available: <https://shopee.com.my>.

[17] [В Інтернеті]. Available:

<https://www.givemetheanswer.com/flow-free/courtyard-pack/11x11-solutions/>.

[18] [В Інтернеті]. Available: <https://grabcad.com/>.

[19] [В Інтернеті]. Available:

https://shops.mercatos.net/kupit/Arduino-Mega-2560_24659170.html#delivery_to=RU.

[20] [В Інтернеті]. Available:

<https://amperka.ru/product/ac-dc-rs-15-5>.

[21] [В Інтернеті]. Available:

<https://arduino.ua/prod1767-1-channel-5v-30a-high-power-relay-module-for-arduino>.

[22] [В Інтернеті]. Available:

<https://alexgyver.ru/lessons/interrupts/>.

[23] [В Інтернеті]. Available: <https://ldsound.ru/relay-without-spark/>.

[24] С. О. Попов, Маніпулятор для завантаження високотемпературної печі, Київ, 2020.

[25] [В Інтернеті]. Available:

<https://arduino.ua/prod3977-servoprivod-mg995-s-neprerivnim->

vrashheniem-na-360.

- [26] [В Интернетe]. Available:
<https://arduino.ua/prod398-servoprivod-springrc-sm-s4315m-15kg>.
- [27] [В Интернетe]. Available: <https://arduino.ua/prod3842-k-power-cifrovoi-servo-privod-dm1500-ttl-15-kg>.
- [28] [В Интернетe]. Available: <https://arduino.ua/prod3963-ttlusb-adapter-dlya-upravleniya-servoprivodom-sovmestima-s-arduino>.
- [29] [В Интернетe]. Available:
https://emanual.robotis.com/docs/en/software/dynamixel/dynamixel_wizard2/.
- [30] [В Интернетe]. Available:
<https://arduino.ua/prod2499-usb-uart-perehodnik-na-pl2303ta-s-kabelem>.
- [31] [В Интернетe]. Available:
<https://arduino.ua/prod1365-konverter-usb2-0-uart-na-ch340g>.
- [32] [В Интернетe]. Available: <http://mypractic.ru/urok-63-lokalnaya-set-ethernet-modul-enc28j60-ego-podklyuchenie-k-plate-arduino.html>.
- [33] [В Интернетe]. Available: <https://arduino.ua/prod980-wifi-modyl-esp8266>.
- [34] [В Интернетe]. Available:
https://pl.wiautomation.com/fanuc/drives-motors-circuits-protection/A05B2518C204?utm_source=shopping_free&utm_medium=

organic&utm_content=PL203555&gclid=Cj0KCQjwvqeUBhCBARIsA
Odt45bTIFWkL1tmM888T26VzqnMlhcOUvABgG9vRYwNejVJ41LH
3KDIh-saAtaBEALw_wcB.

[35] [В Интернете]. Available:

https://library.e.abb.com/public/d6f68ade0cb24d6aa0fe79220321d187/IRC5_ROB0295EN-Rev.D.pdf .

[36] [В Интернете]. Available: <https://www.pngwing.com/ru/free-png-tdqzh>.

[37] [В Интернете]. Available:

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B8.

[38] [В Интернете]. Available: <https://arduino-ide.com/>.

[39] [В Интернете]. Available:

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80_%D0%B8%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BA%D0%BE%D0%B4%D0%B0.

[40] [В Интернете]. Available:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80>.

					МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

- [41] [В Интернетe]. Available: https://ru.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_Code.
- [42] [В Интернетe]. Available: <https://code.visualstudio.com/docs/editor/editingevolved>.
- [43] [В Интернетe]. Available: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%.
- [44] [В Интернетe]. Available: https://vschol.ru/TurboPascal/gl10/gl10_1.html#:~:text=%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%2D%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D.
- [45] [В Интернетe]. Available: <https://refactoring.guru/ru/design-patterns/what-is-pattern>.
- [46] [В Интернетe]. Available: <https://refactoring.guru/uk/design-patterns/mediator>.
- [47] [В Интернетe]. Available: <https://refactoring.guru/uk/design->

patterns/singleton.

[48] [В Интернете]. Available: <https://refactoring.guru/uk/design-patterns/command>.

[49] [В Интернете]. Available: <https://refactoring.guru/uk/design-patterns/builder>.

[50] [В Интернете]. Available:
<https://technopodjem.com.ua/produkcija/podemniki/nozhnichnye-podemniki/jelektricheskij-nozhnichnij-podemnik-imer-im-12122#gallery-1>.

[51] [В Интернете]. Available:
<https://www.hkfurnace.com/furnace/vertical-vacuum-calcining-furnace>.

[52] [В Интернете]. Available: <https://research.hud.ac.uk/institutes-centres/materials/results-sub-section/>.

[53] [В Интернете]. Available: <https://www.bot-ua.com/>.

[54] [В Интернете]. Available: <https://www.bot-ua.com/stranica-tovara/laserbot-750-%D1%81%D0%BE2-40%D0%B2%D1%82-600x600%D0%BC%D0%BC> .

[55] [В Интернете]. Available: <https://www.bot-ua.com/stranica-tovara/laserbot-820-40-ruida>.

[56] [В Интернете]. Available: <https://www.bot-ua.com/stranica-tovara/laserbot-lb2000-60-%D0%B2%D1%82>.

[57] [В Интернете]. Available:

https://help.solidworks.com/2020/russian/SolidWorks/sldworks/t_Weldments_Creating_a_Custom_Profile.htm.

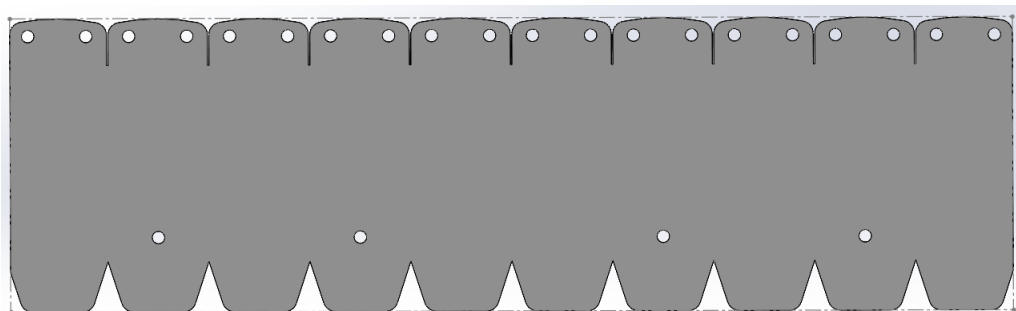
[58] [В Интернете]. Available:

<https://www.tempco.com/Products/Electric-Heaters-and-Elements/Band-Heaters/Ceramic-Band-Heaters.htm>.

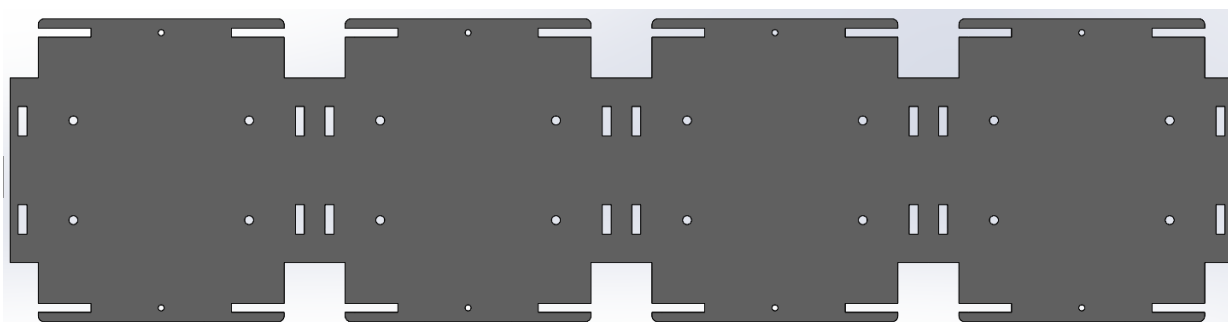
					МВ01-МН.ДПМ001.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

Додатки

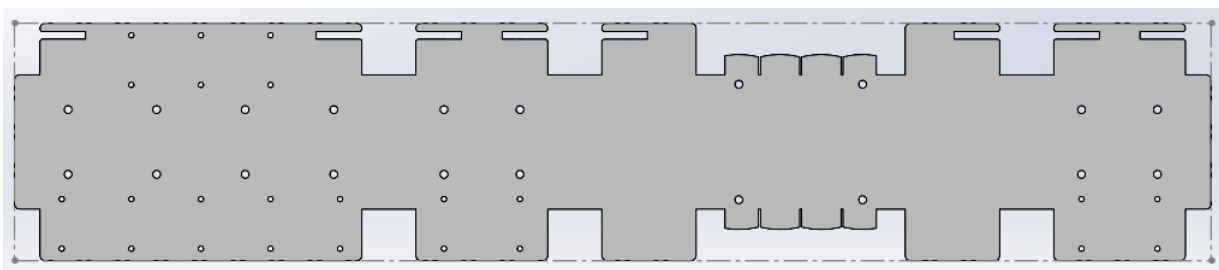
Додаток 1. Розгортка внутрішньої стінки Модуля з нагрівачем;



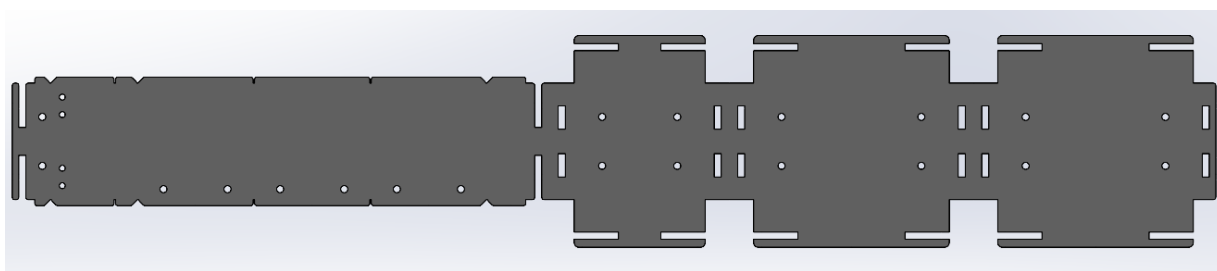
Додаток 2. Розгортка зовнішньої стінки Модуля з нагрівачем;



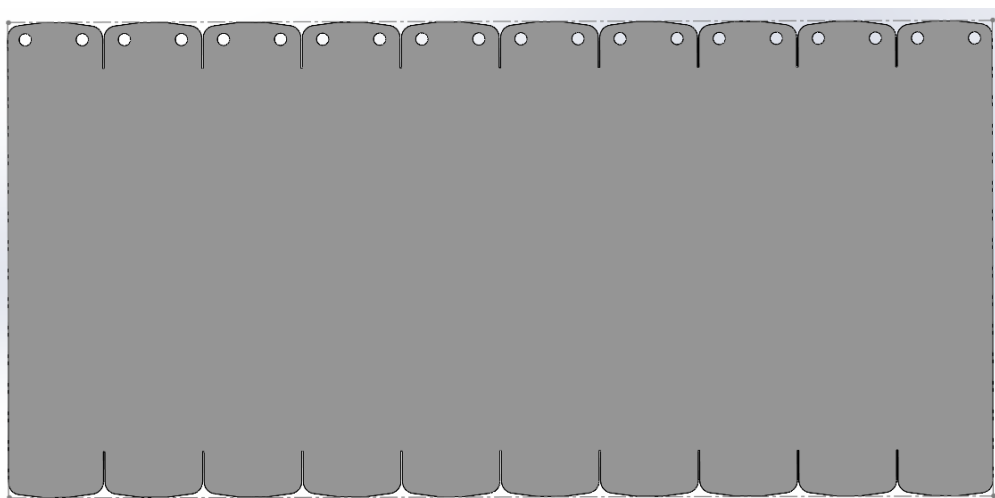
Додаток 3. Розгортка стінки для однієї з дверей пів-стінок;



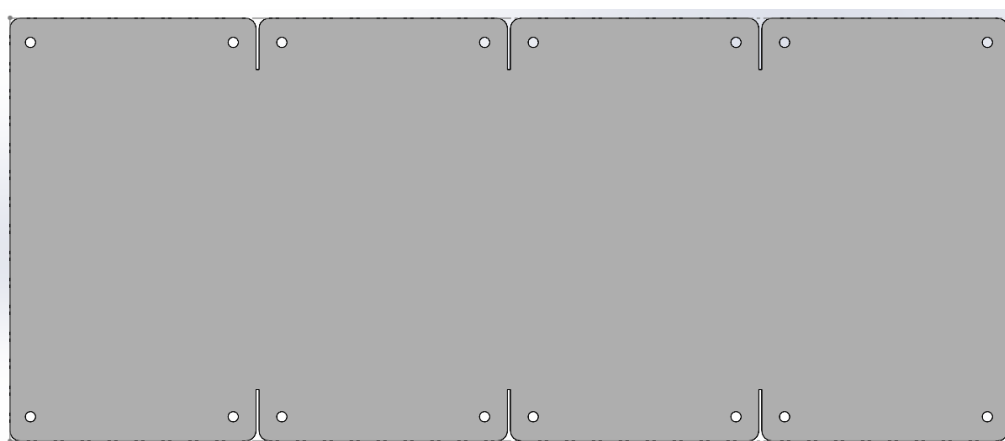
Додаток 4. Розгортка колони під двері;



Додаток 5. Розгортка круглої внутрішньої стінки колони печі;



Додаток 6. Розгортка квадратної внутрішньої стінки колони печі;



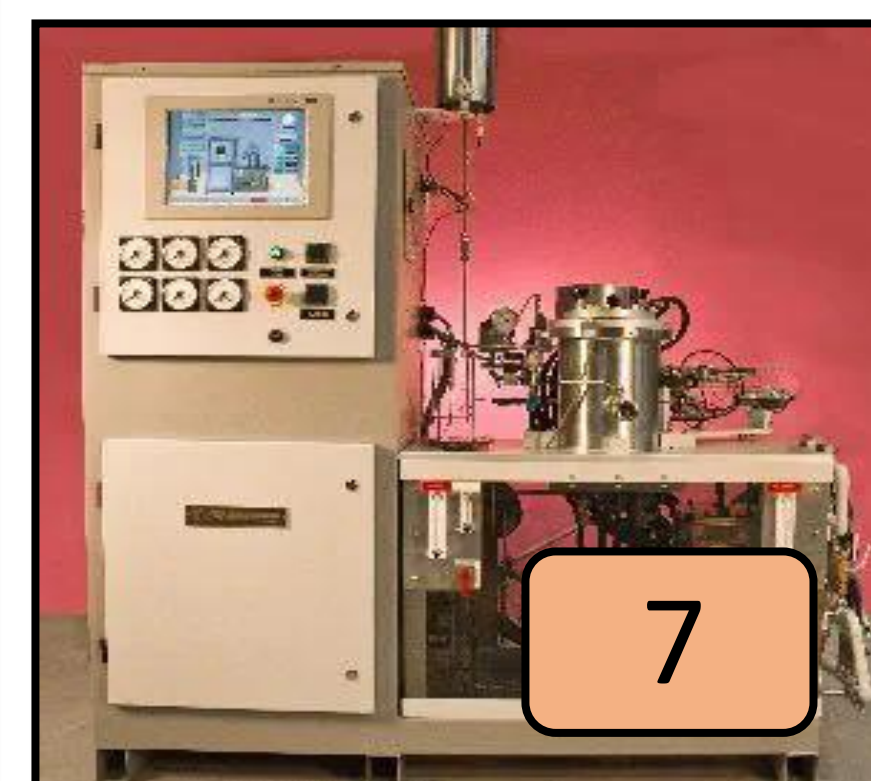
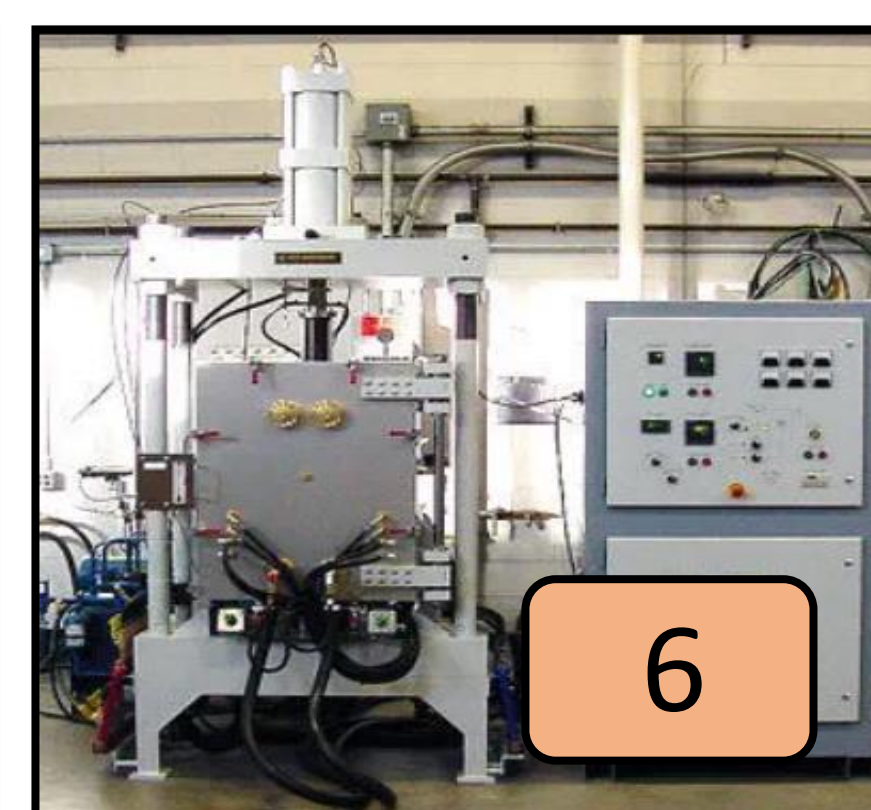
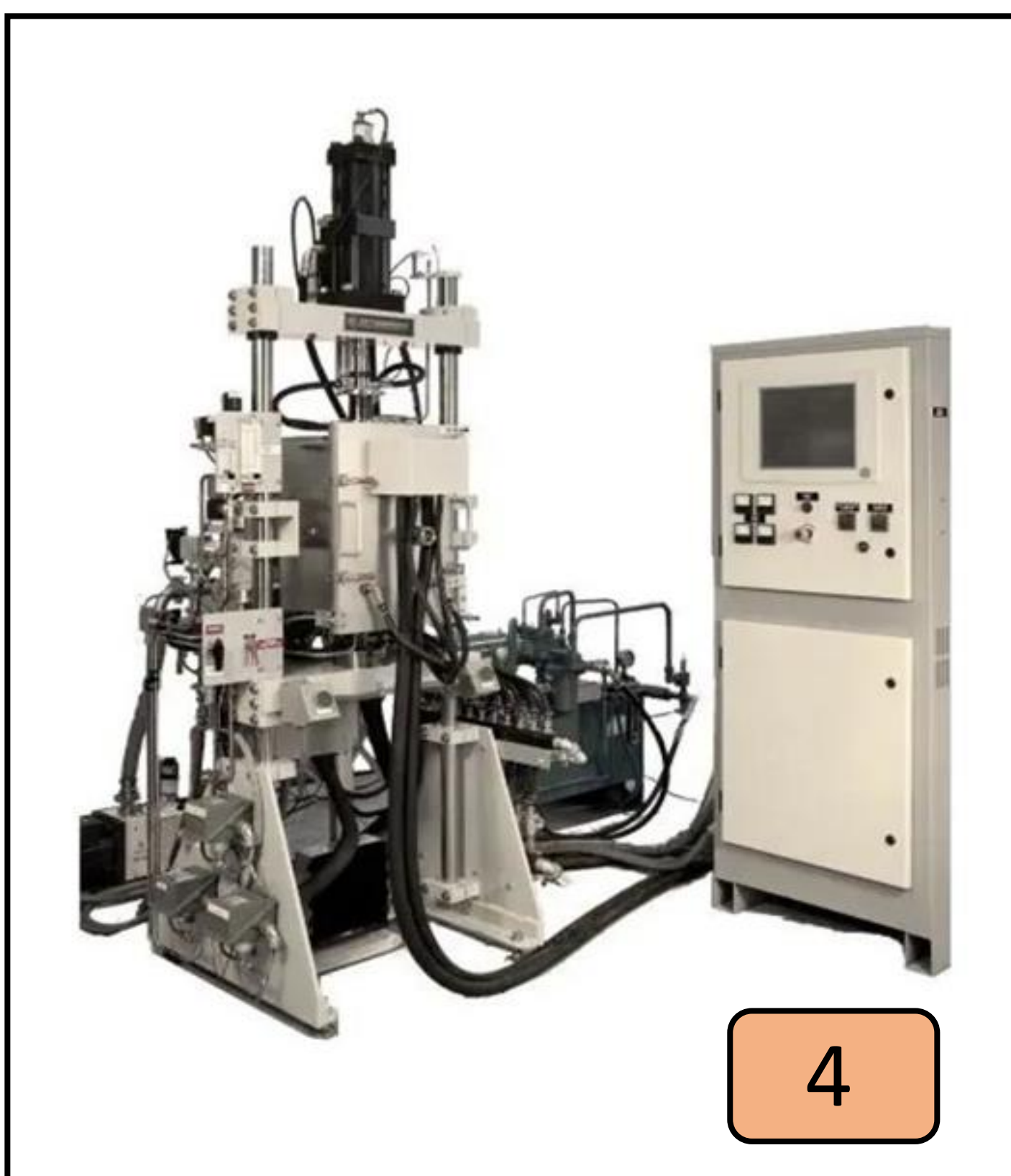
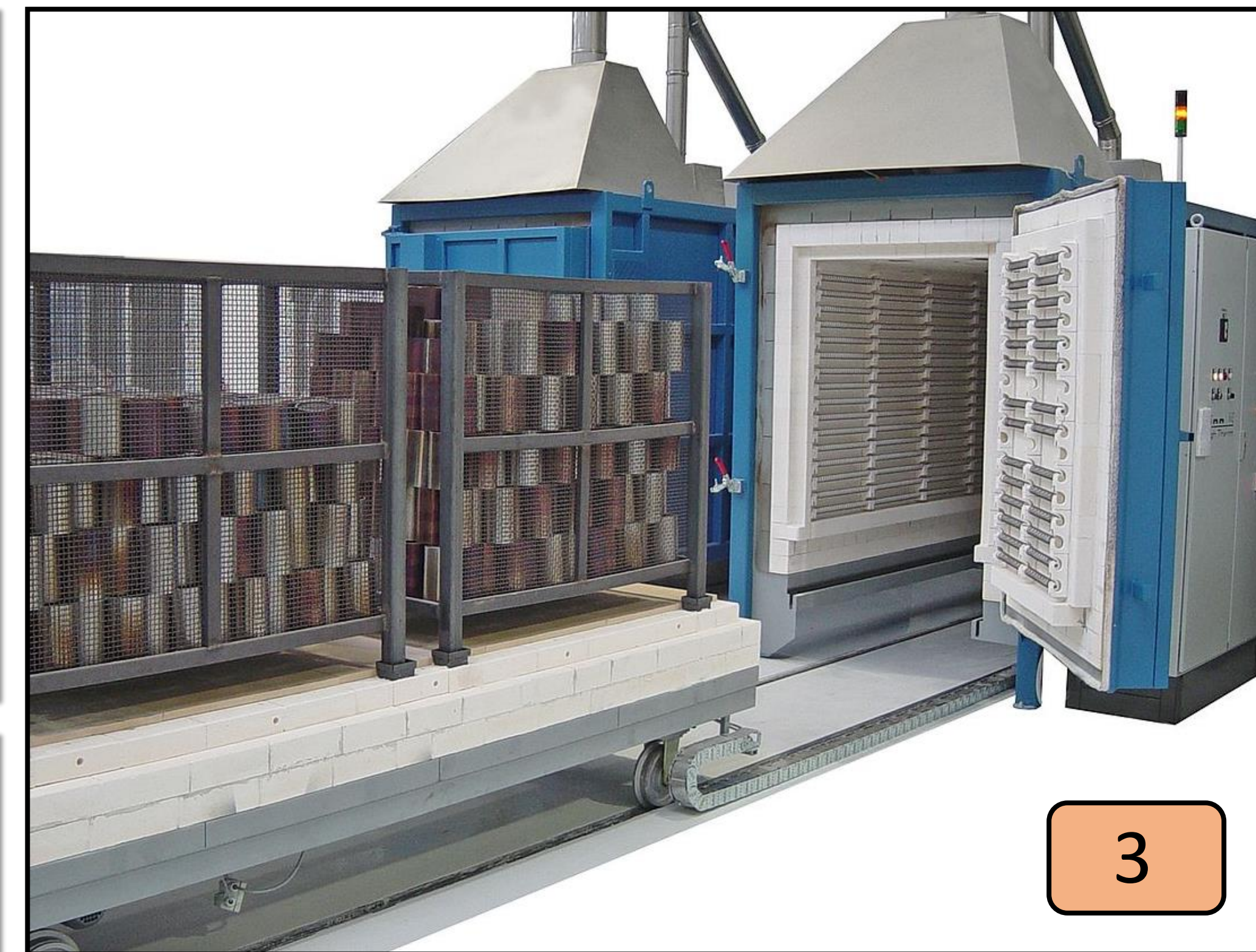
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МВ01-мн.ДПМ001.00.000ПЗ

Лист

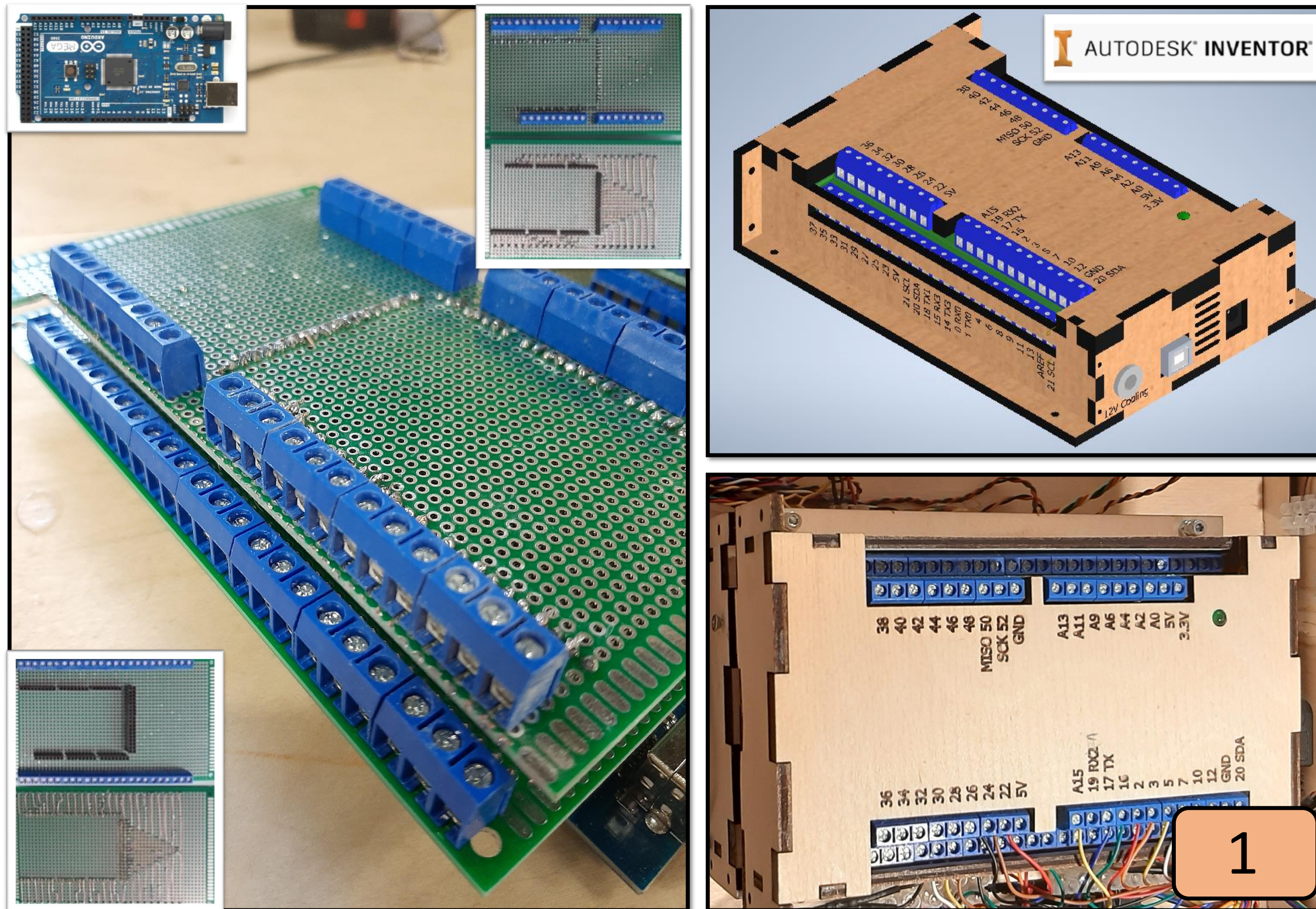
103

Плакат 1. Огляд конструкцій високотемпературних печей



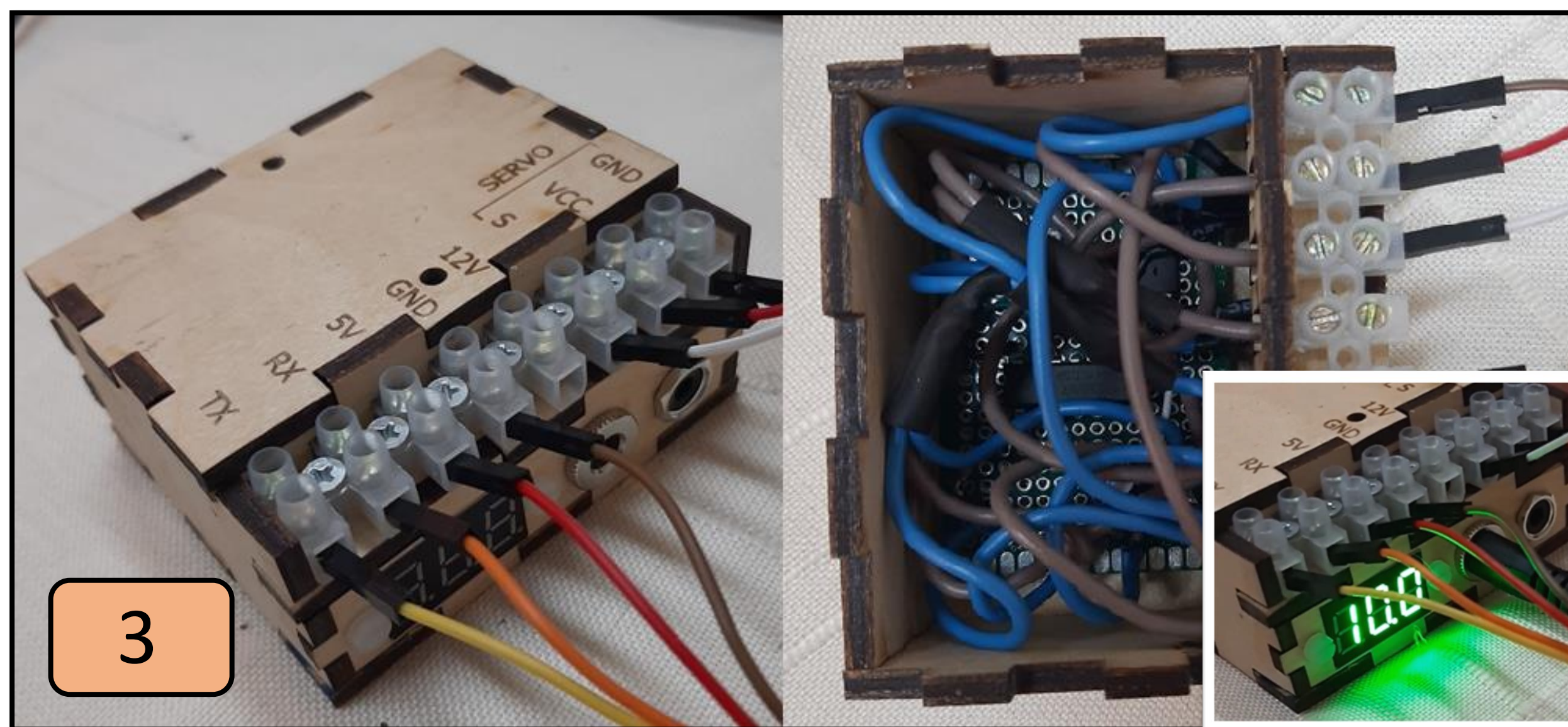
Назва печі	1. Піч штовхаючого типу. Німеччина	2. Агломераційна піч MOTORS-E.V.E.-10. Італія	3. Піч з рухомим подом серії КК-Н. Німеччина	4. Механічна випробувальна піч. США	5. Камерна піч із нижнім завантаженням. Німеччина	6. Піч гарячого пресування. США	7. Паяльна лабораторна піч. США	8. Камерна піч з циліндровим муфелем. Німеччина
Джерело тепла	Електричний опір	електричний опір, газ	Електричний опір	Електричний опір	Електричний опір	Електричний опір	Електричний опір	Електричний опір
Атмосфера	H2 та Ar	циркуляція повітря,	повітря	ваккум	Ar, H2, N2	ваккум, контрольована атмосфера, інертний газ	водень, інертний газ, ваккум	Повітря, ваккум
Максимальна температура	2500°C	450°C	1340°C	2,600 °C	1700°C	2,600 °C	2500°C	1100°C; при роботі у ваккумі - 700°C

Плакат 2. Електроніка в проекті



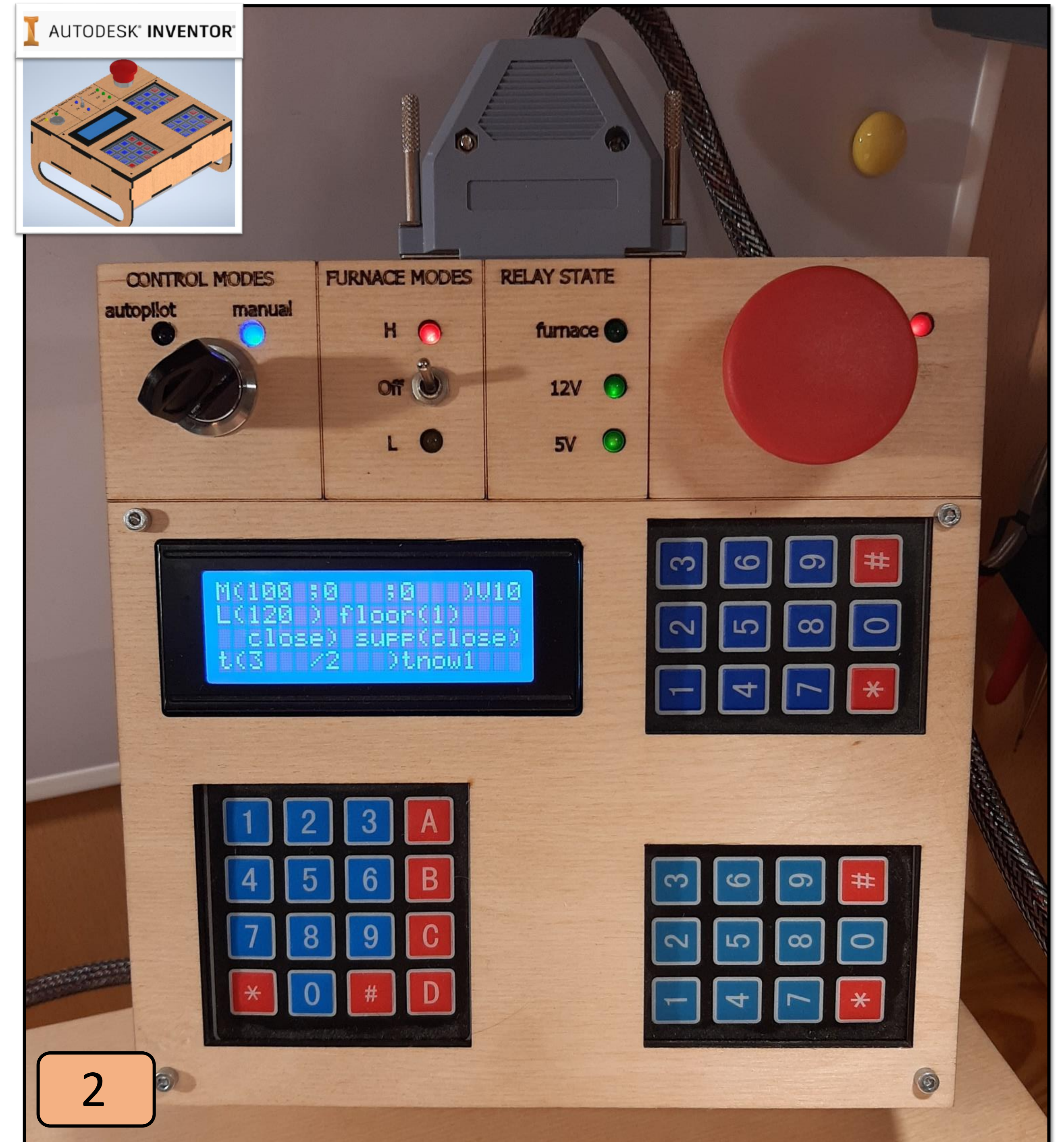
1. Модуль мікроконтролера

- Через дві плати-шилди виводить усі контакти Arduino Mega 2560 на клемні колодки;
- Має активну систему повітряного охолодження, що складається з двох вентиляторів, встановлених в нижній частині корпусу;



3. Драйвер для сервоприводів DM1500

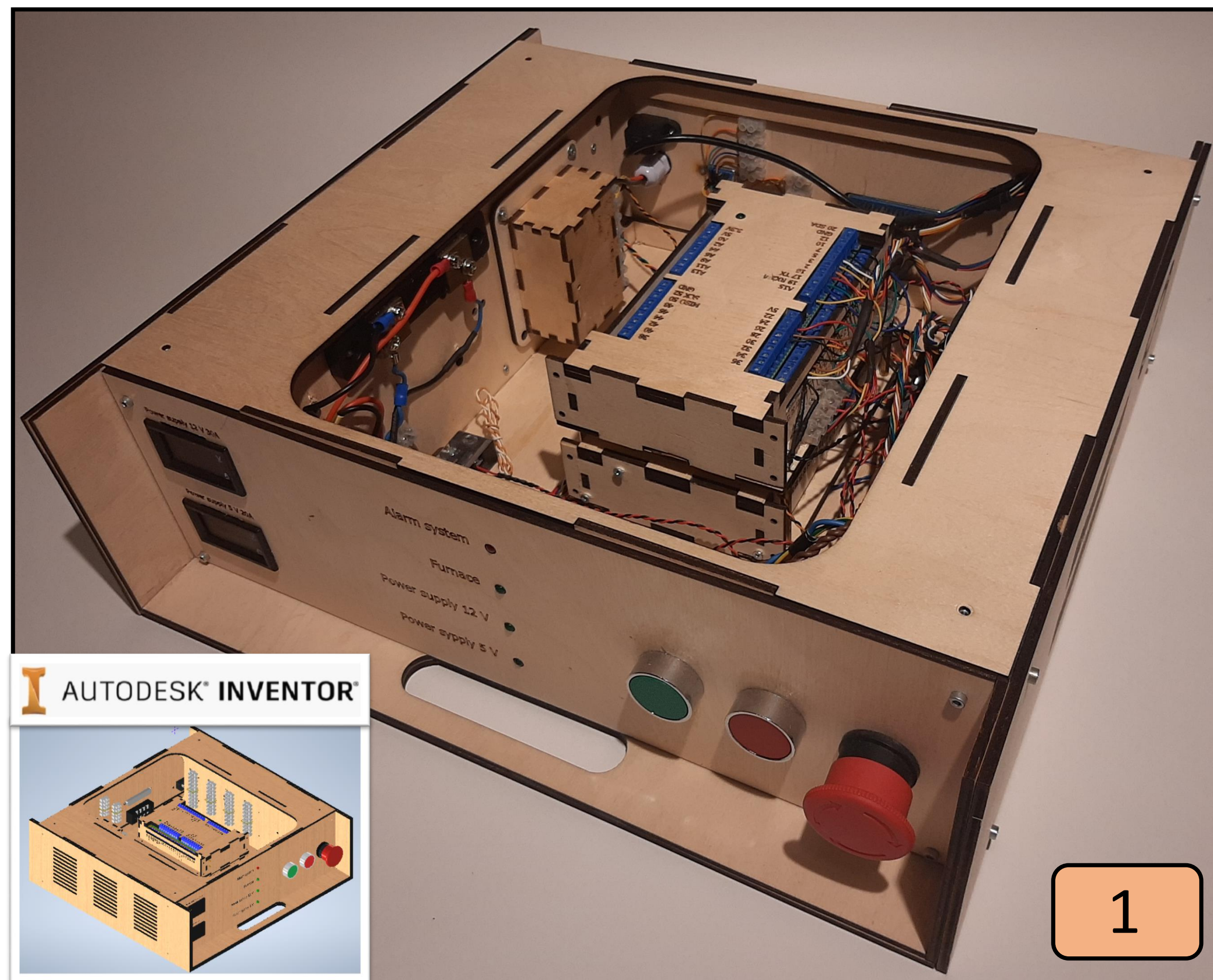
- Вольтметр, що вимірює напругу живлення сервоприводів;
- Роз'єми живлення та підключення сервоприводів;



2. Пульти керування

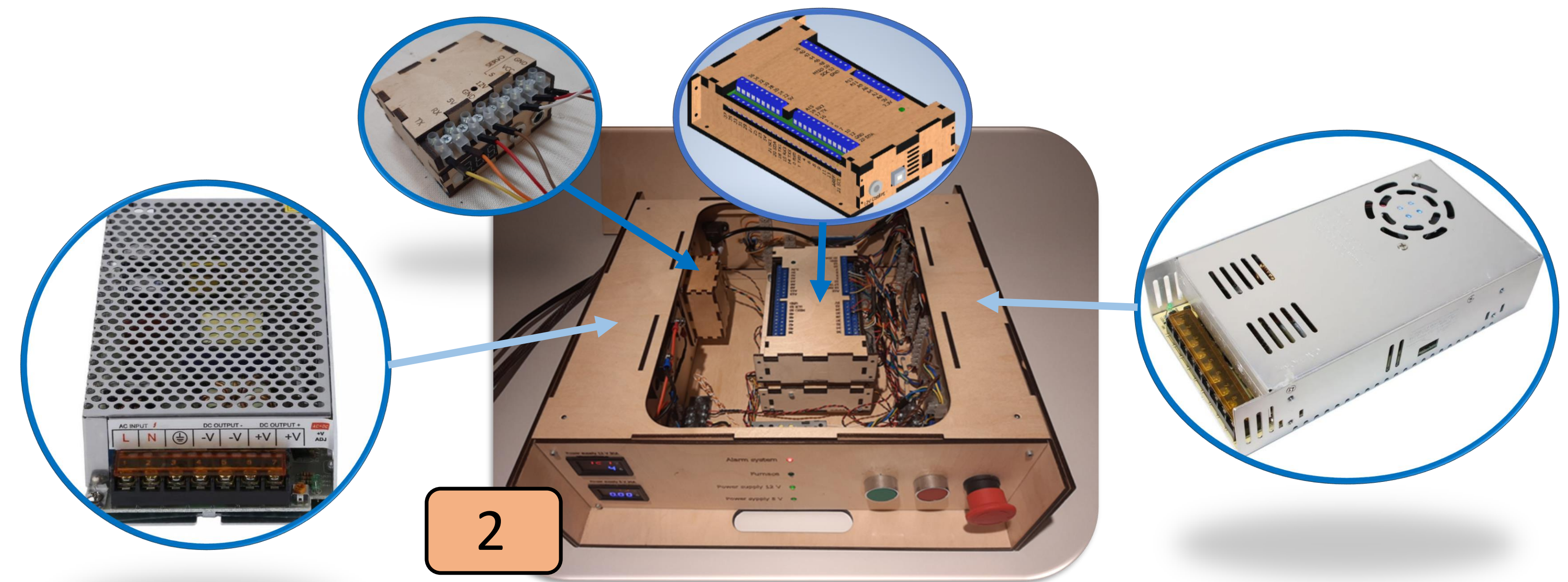
- Трьохпозиційний тумблер з ключем, положення якого визначають режим керування: автопілот, доступ закрито, ручне керування;
- Трьохпозиційний тумблер в зоні «FURNACE MODES» (режими печі) включає один з двох температурних режимів нагрівача печі: H (high - висока температура) та L (low - низька температура);
- Блок світлодіодів «RELAY STATE», що сповіщають про стани реле;
- Кнопка аварійної зупинки. Червоний світлодіод поряд з нею ілюструє те, що на систему аварійної зупинки подано живлення;
- Рідкокристалічний дисплей 16x4 символи;
- Три клавіатури;
- Роз'єм підключення - D-SUB 37 Pin;

Плакат 3. Програмований логічний контролер (ПЛК)



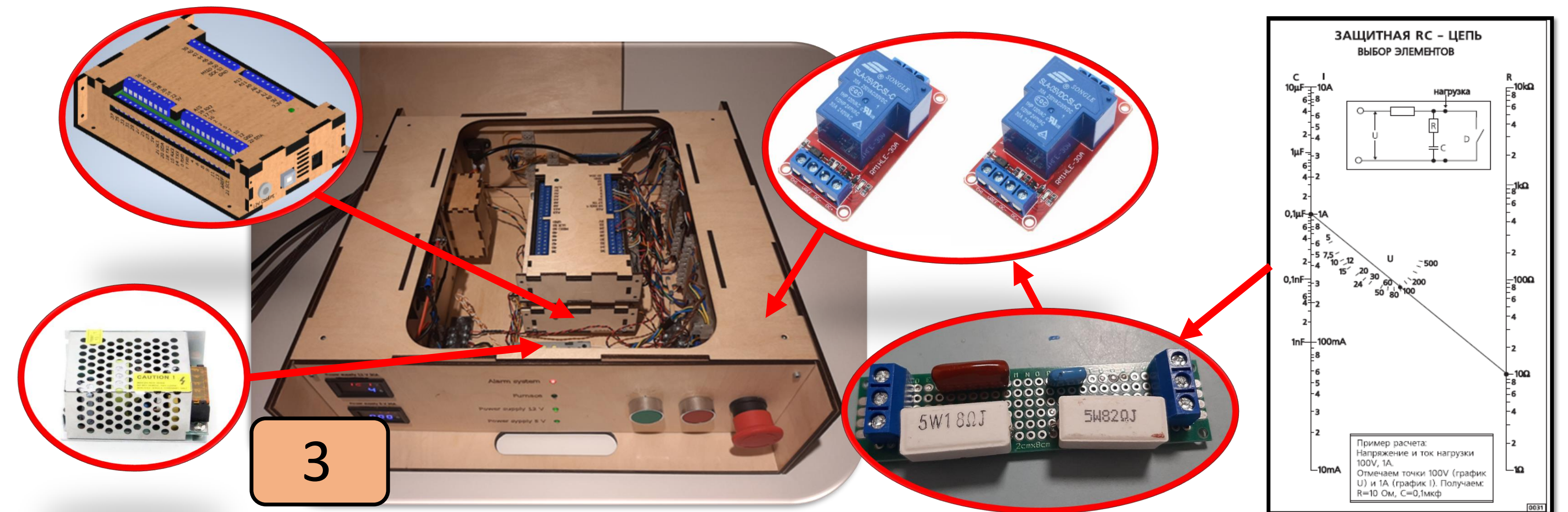
1. ПЛК

- Дві незалежні системи: основна система та система аварійного відключення живлення комплексу;
- Два потужних блока живлення відокремлені від основного вузлу електроніки перегородками. Для доступу до блоків живлення необхідно зняти бічні кришки ПЛК;
- Верхня кришка закриває основну частину електроніки;
- На задній кришці розміщуються усі роз'єми проекту;
- На передній панелі встановлені кнопки включення-вимкнення та аварійної зупинки, два вольтметри та блок світлодіодної індикації станів реле;



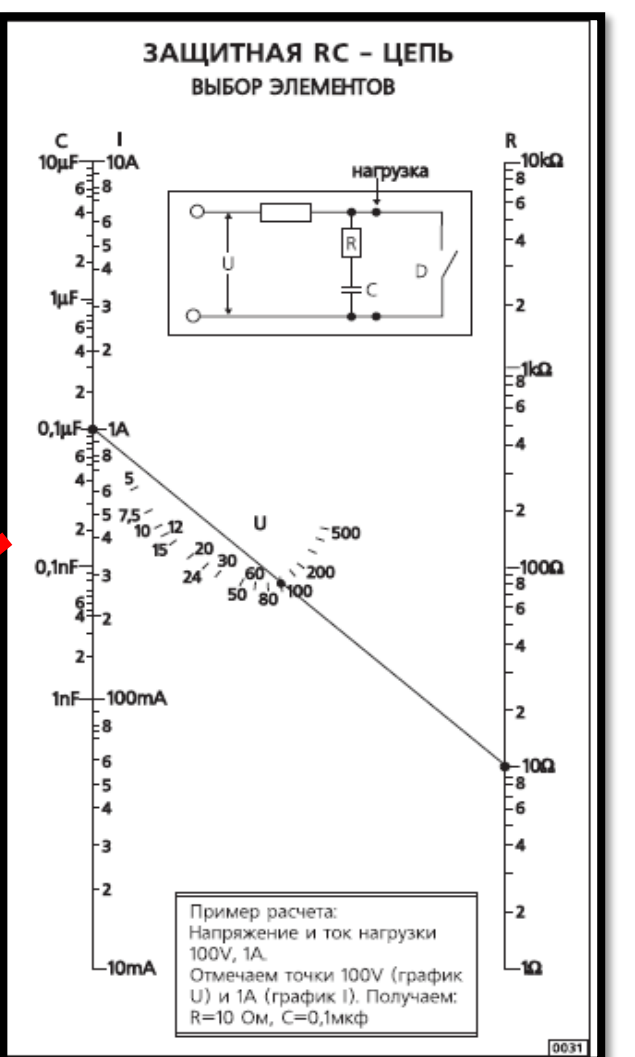
2. Основна система

- Модуль мікроконтролера Arduino Mega;
- Блок живлення 12В, 30А (для сервоприводів та двигунів);
- Блок живлення 5В, 20А (для основної частини периферії проекту: датчики, світлодіоди, кнопки, тумблери);
- Два вольтметри-амперметри з шунтами (для можливості вимірювання високих токів);
- Можливе встановлення кулерів для примусового охолодження блоків живлення;



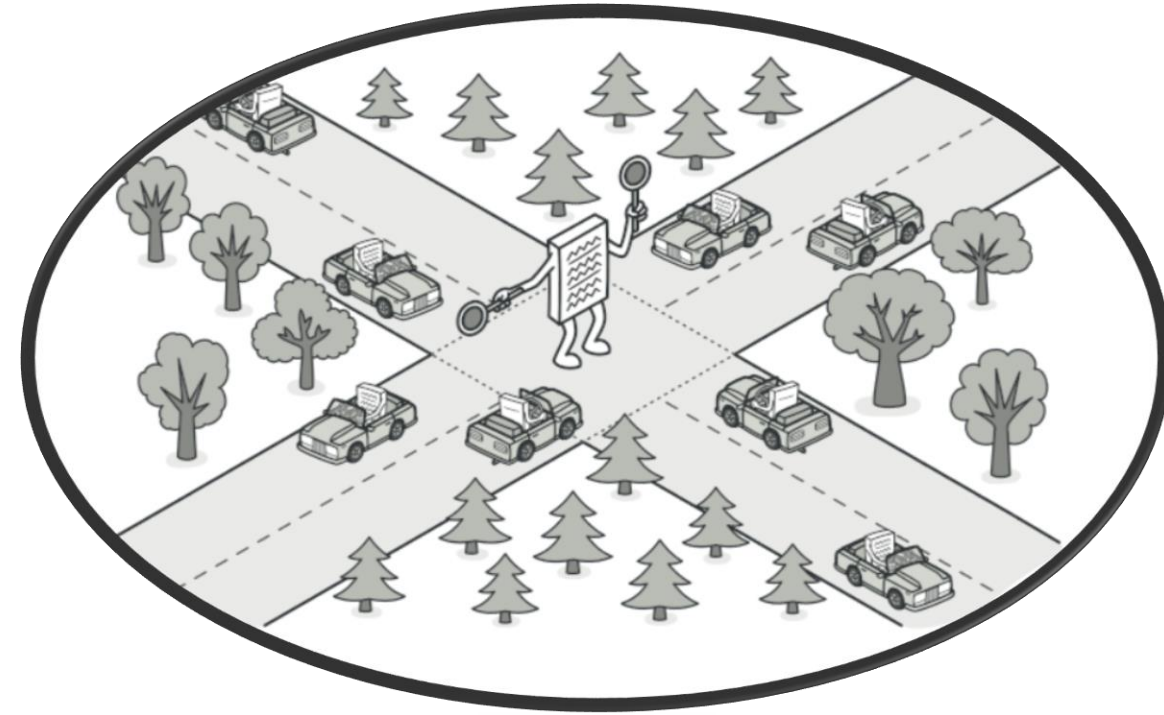
3. Система аварійного відключення живлення

- Особистий модуль мікроконтролера Arduino Mega;
- Особистий блок живлення 5В, 4А;
- Кнопки включення та вимкнення;
- Кнопка аварійної зупинки з фіксацією (на передній панелі ПЛК);
- Кнопка аварійної зупинки без фіксації (на пульті керування);
- Панель світлодіодної індикації станів реле (На передній панелі ПЛК та на пульті керування);
- Два модулі потужних реле 5В 30А з опторозв'язкою;
- Іскрогасні RC-ланцюги для обох реле;

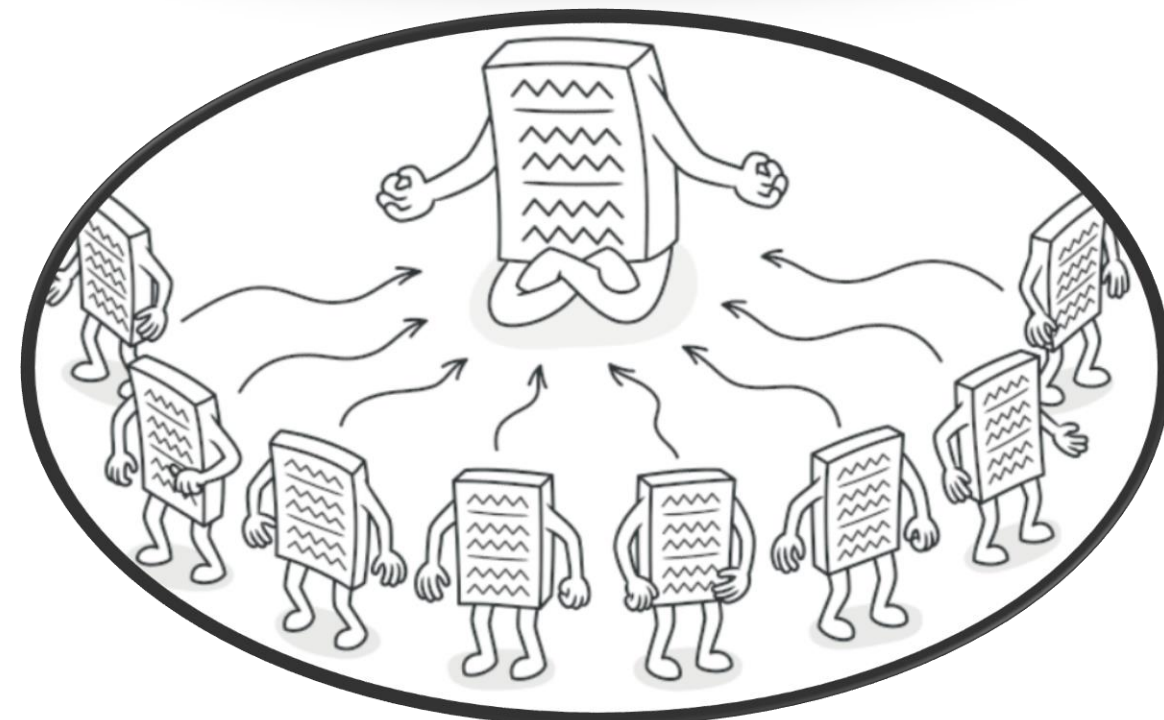


Плакат 4. Програмування

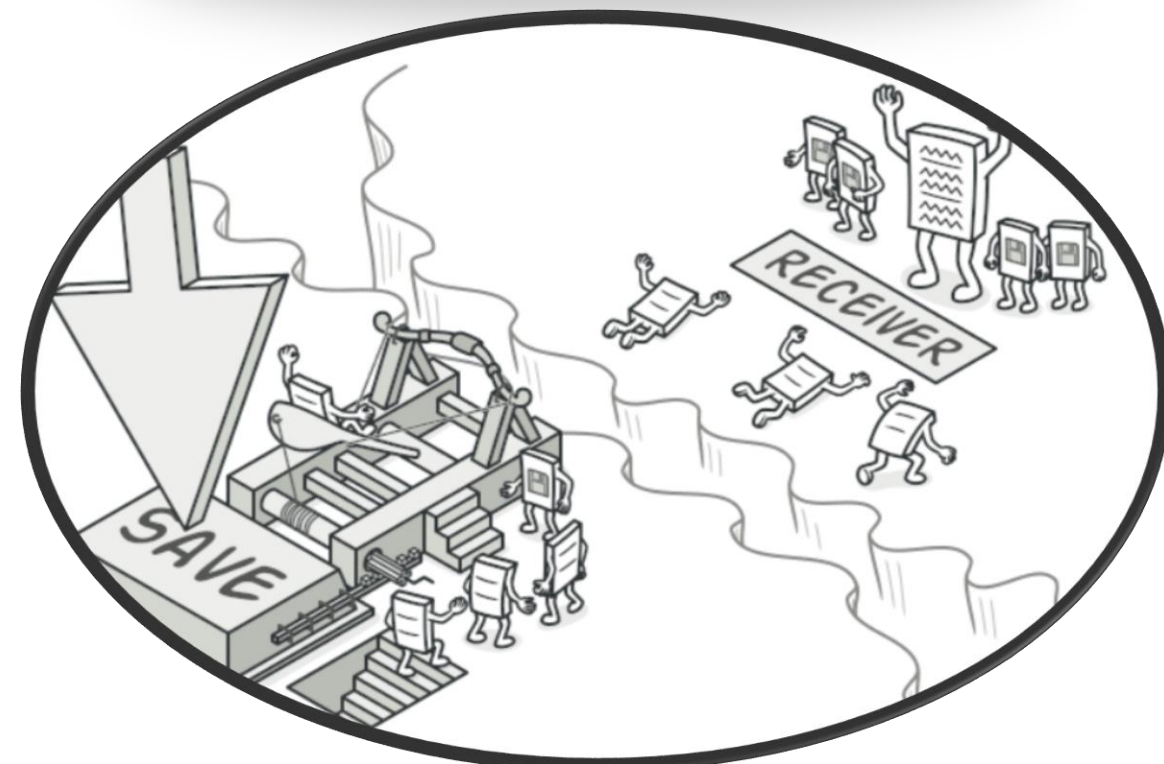
Патерни, які були використані при програмуванні ПЛК:



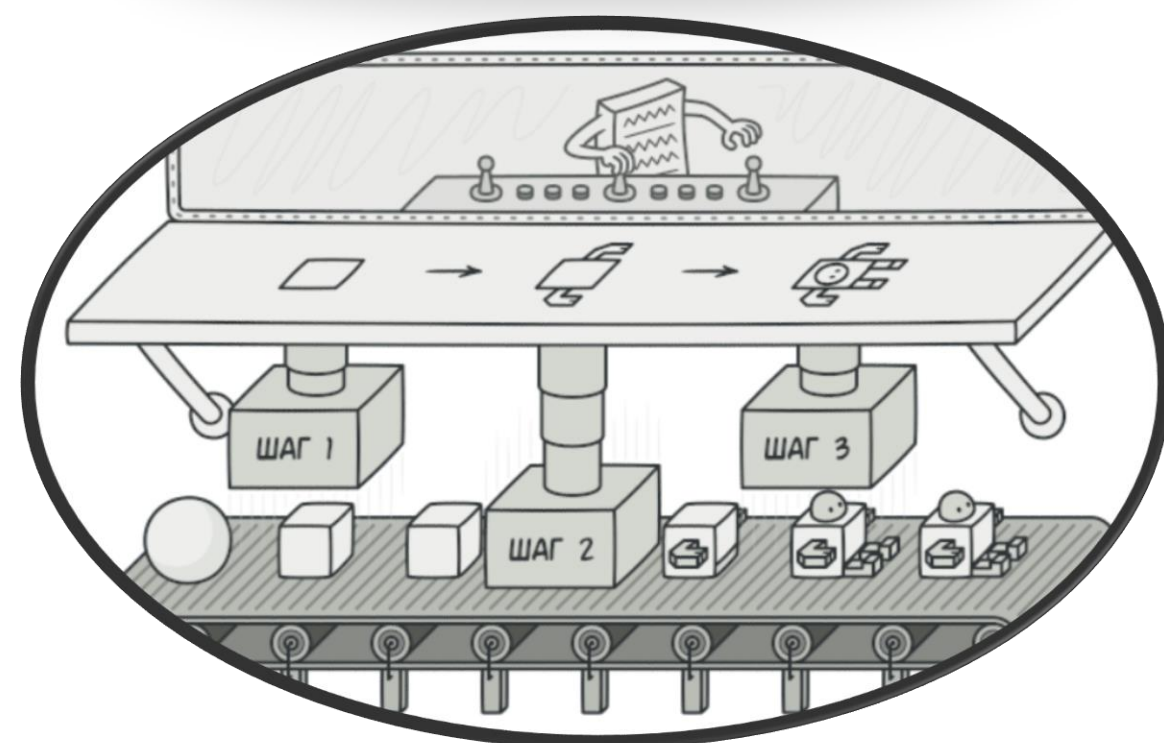
Посередник (також відомий як: Intermediary, Controller, Mediator) — це поведінковий патерн проектування, використовуючи який можна зменшити пов'язаність великої кількості класів між собою. Досягається це завдяки створенню класу-посередника, який містить в собі усі зв'язки між основними класами.



Одинак (також відомий як: Singleton) — це породжуючий патерн проектування, використання якого гарантує, що клас має лише один екземпляр. Клас надає глобальну точку доступу до себе: вплив на об'єкт в одній частині програми гарантує змінення – усіх інших, в якому б блоці програми вони б не знаходились.



Команда (Також відомий як: Дія, Транзакція, Action, Command) — це поведінковий патерн проектування, який перетворює запити на об'єкти, дозволяючи передавати їх як аргументи під час виклику методів.



Будівельник (також відомий як: Builder) — це породжуючий патерн проектування, що дає змогу створювати складні об'єкти крок за кроком. Будівельник дає можливість використовувати один і той самий код будівництва для отримання різних відображень об'єктів.



Для проведення експериментів та освоєння нових бібліотек використовувалось Arduino IDE. Основна програма писалась у Visual Studio Code, з використанням плагіну PlatformIO.



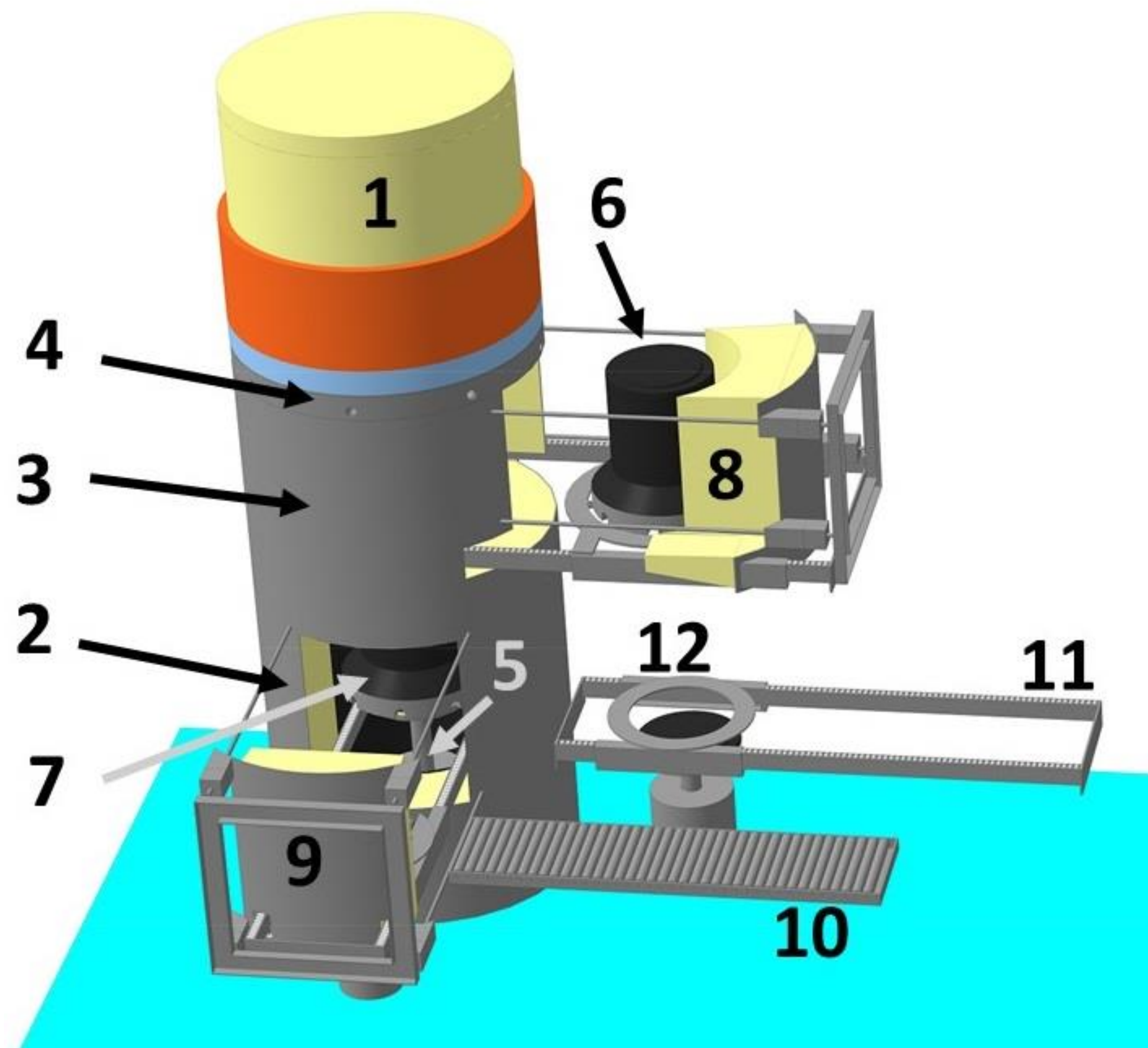
Arduino IDE – це інтегроване середовище розробки для Windows, MacOS та Linux, призначена для створення та завантаження виконуючих програм на Arduino та Arduino-сумісні плати.



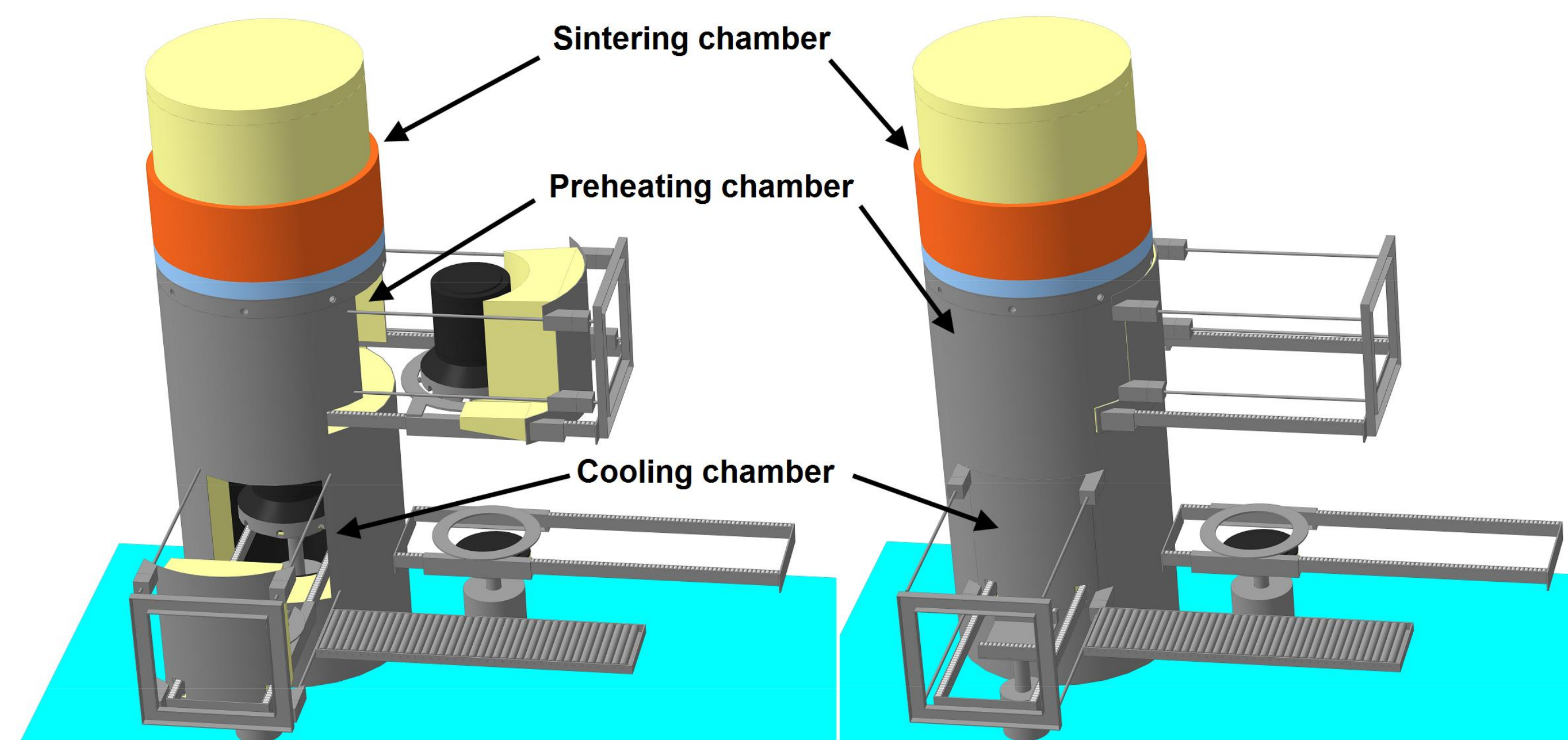
VSCode – редактор початкового коду, розроблений Microsoft для Windows, Linux та macOS.

PlatformIO – плагін до VSCode, який використовується для програмування мікроконтролерів Arduino

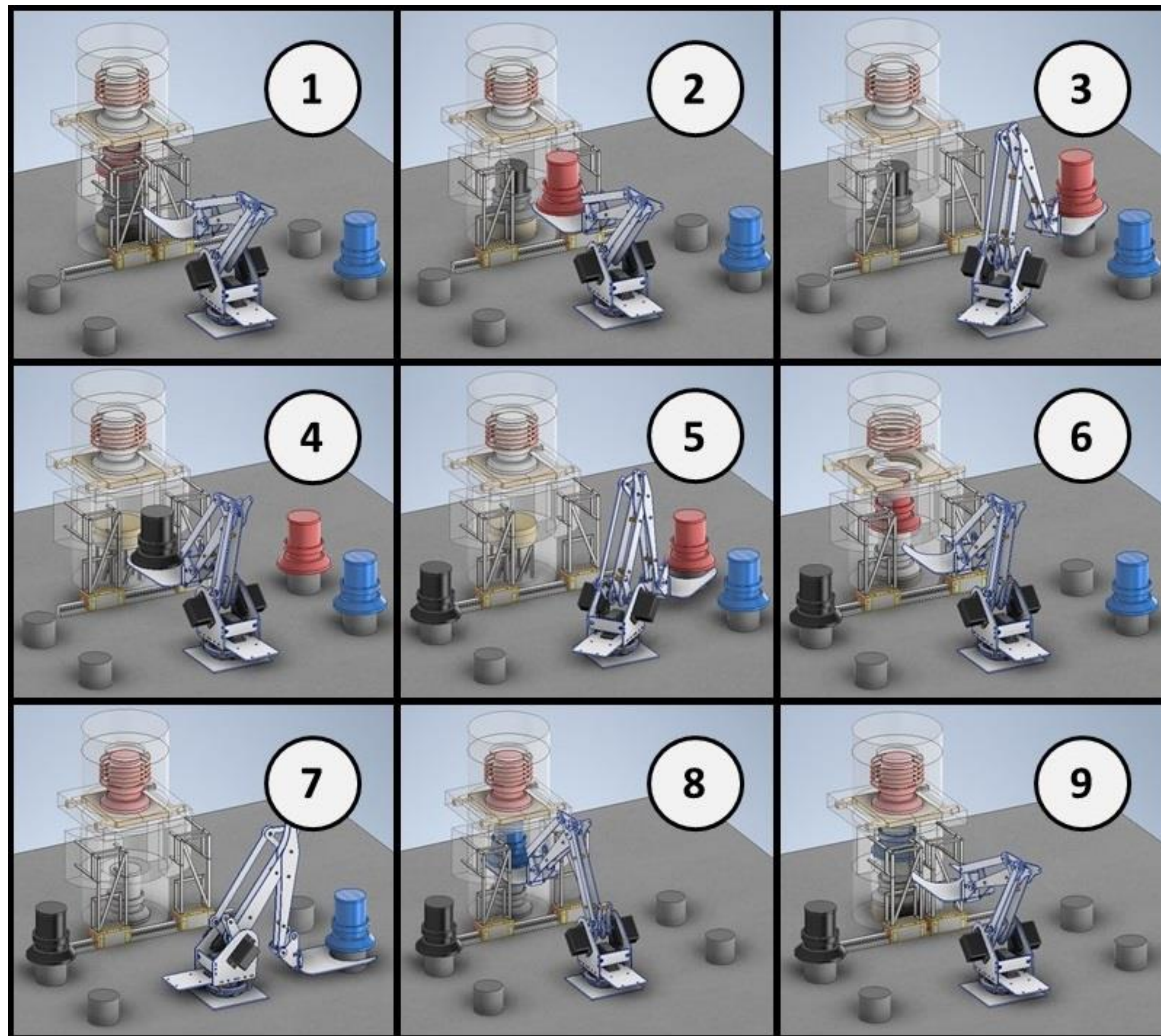
Плакат 5. Перша конструкція: технологічний цикл



1. В зоні спікання (1) знаходиться гарячий контейнер, в зоні охолодження (2) знаходиться теплий контейнер, в зоні попереднього прогрівання (3) знаходиться контейнер, що нагрівався від сусідніх двох;
2. Штифти (4) входять в колону печі та блокують гарячу банку в зоні спікання;
3. Це дає можливість штоку (5) опустити попередньо нагрітий контейнер (6) та теплий контейнер (7) на двері (8) та (9), відповідно;
4. Обидві двері відчиняються. Теплий контейнер відправляється на конвеєр (10). Двері (9) зачиняються;
5. Шток (5) підіймається до гарячого контейнеру та утримує його над штифтами. Штифти висуваються з колони печі;
6. Шток (5) опускає гарячий контейнер на перший ярус;
7. Двері (8) відчинені. По конвеєру (11) під'їжджає шток (12) та піднімає новий, холодний, контейнер на двері (8);
8. Двері (8) із новим контейнером зачиняються;
9. Відбувається новий цикл спікання. В гарячій зоні (третій ярус) розміщений попередньо нагрітий контейнер. В зоні охолодження (перший ярус) знаходиться гарячий контейнер, який остигаючи, підігріває новий контейнер на другому ярусі;

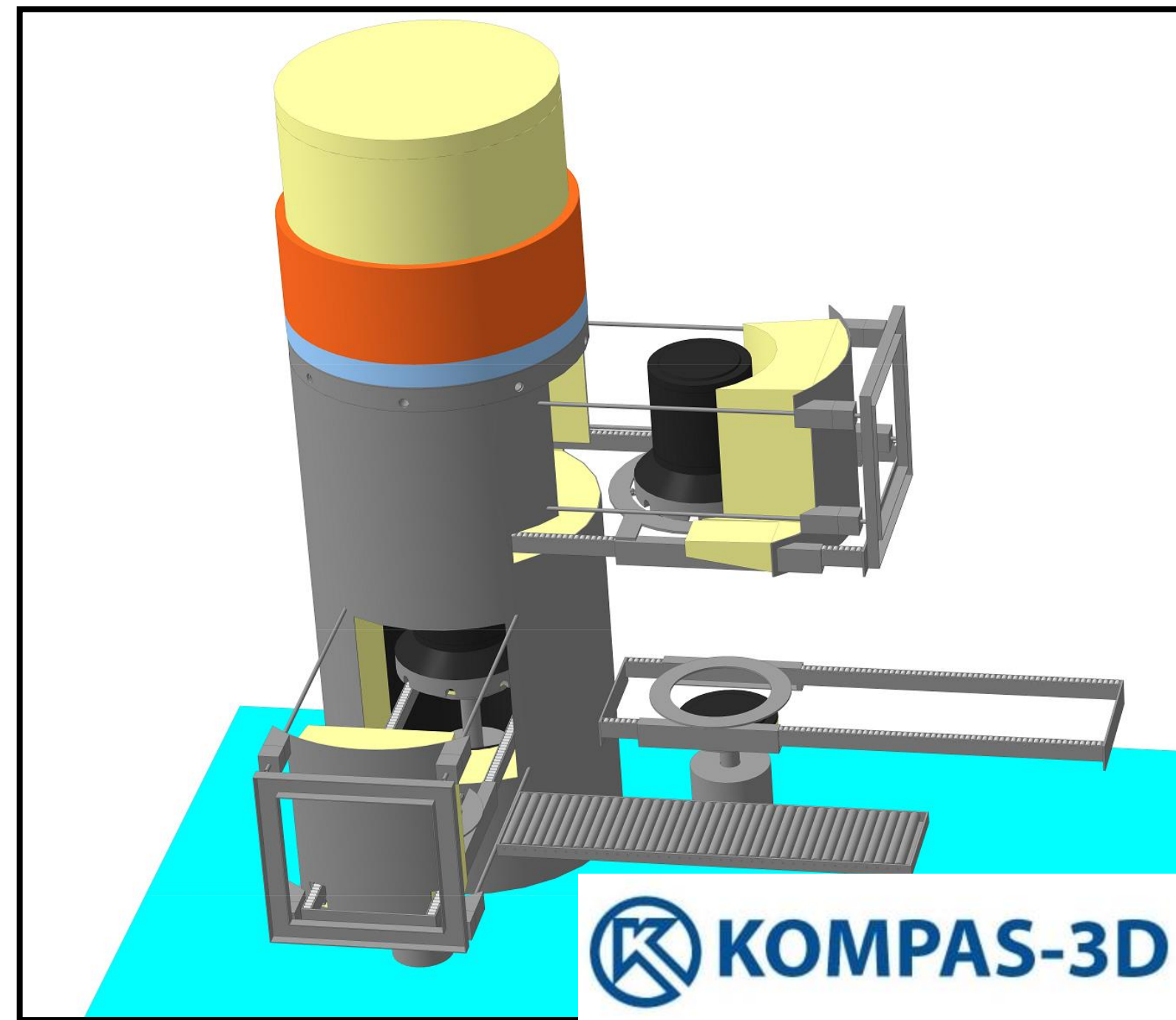


Плакат 6. Нова конструкція: технологічний цикл

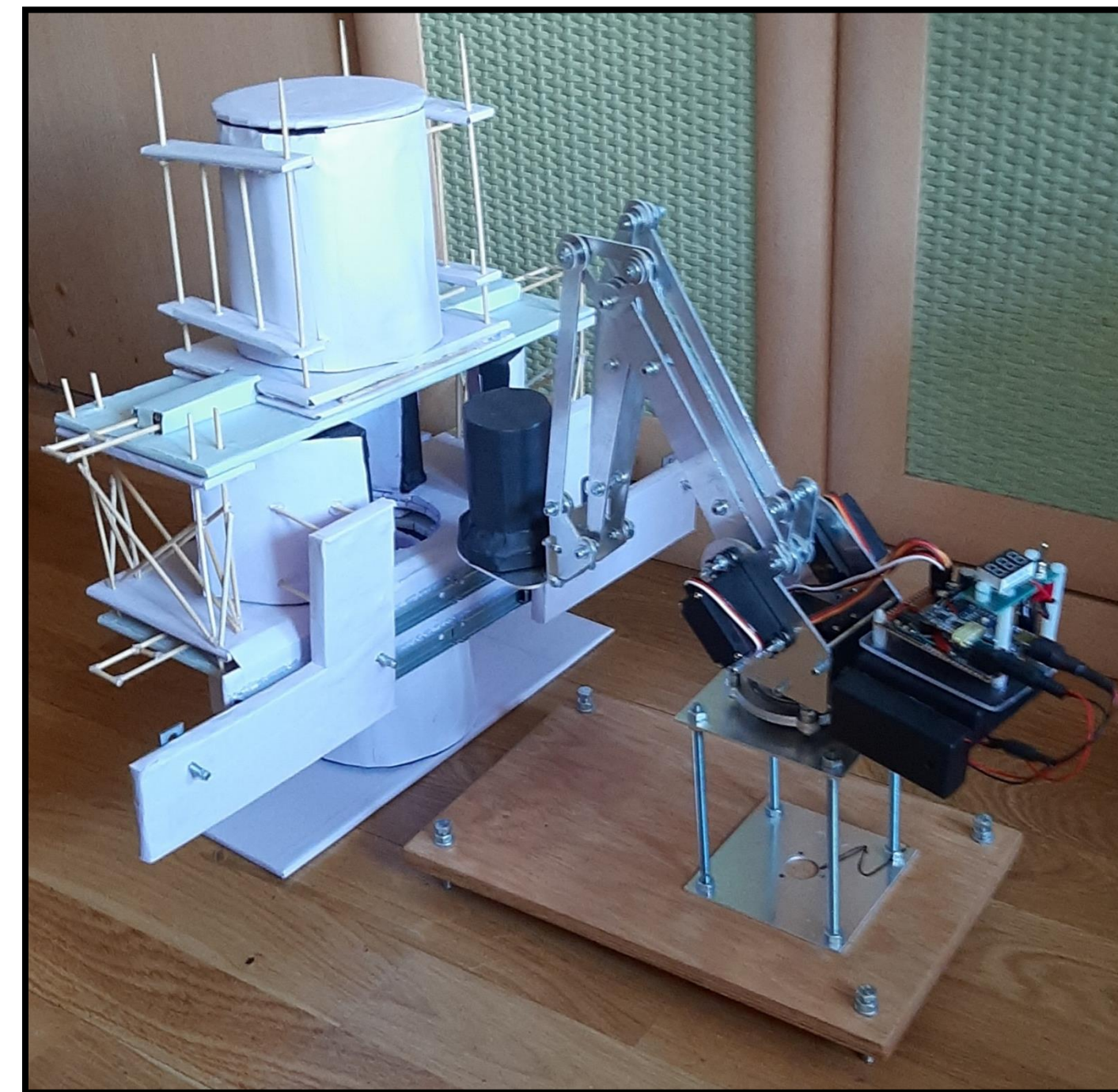


1. Завершився процес спікання. Двері відкриваються;
2. Маніпулятор дістає прогрітий «червоний» контейнер з печі;
3. Поки маніпулятор відставляє «червоний» контейнер, шток підіймає до дверей – «чорний», який віддав частину свого тепла «червоному»;
4. Маніпулятор дістає з печі «чорний» контейнер із спеченими деталями та відставляє його для остаточного охолодження;
5. Поки маніпулятор тягнеться за «червоним» контейнером, шток підіймається, забирає з собою «білий» контейнер, який щойно після спікання та має дуже високу температуру. Шток опускає «білий» контейнер донизу;
6. Маніпулятор ставить «червоний» контейнер всередину колони печі, на «білий»;
7. Поки маніпулятор бере новий контейнер – «синій», шток із «білим» контейнером підіймають «червоний» у робочу зону печі. Штифти фіксують контейнер в гарячій зоні, а шток із «білим» - опускаються донизу;
8. Маніпулятор встановлює «синій» контейнер всередину колони печі;
9. Двері зачиняються, шток підпирає контейнери один до одного, для кращої теплопередачі в новий, «синій», контейнер. Починається процес спікання;

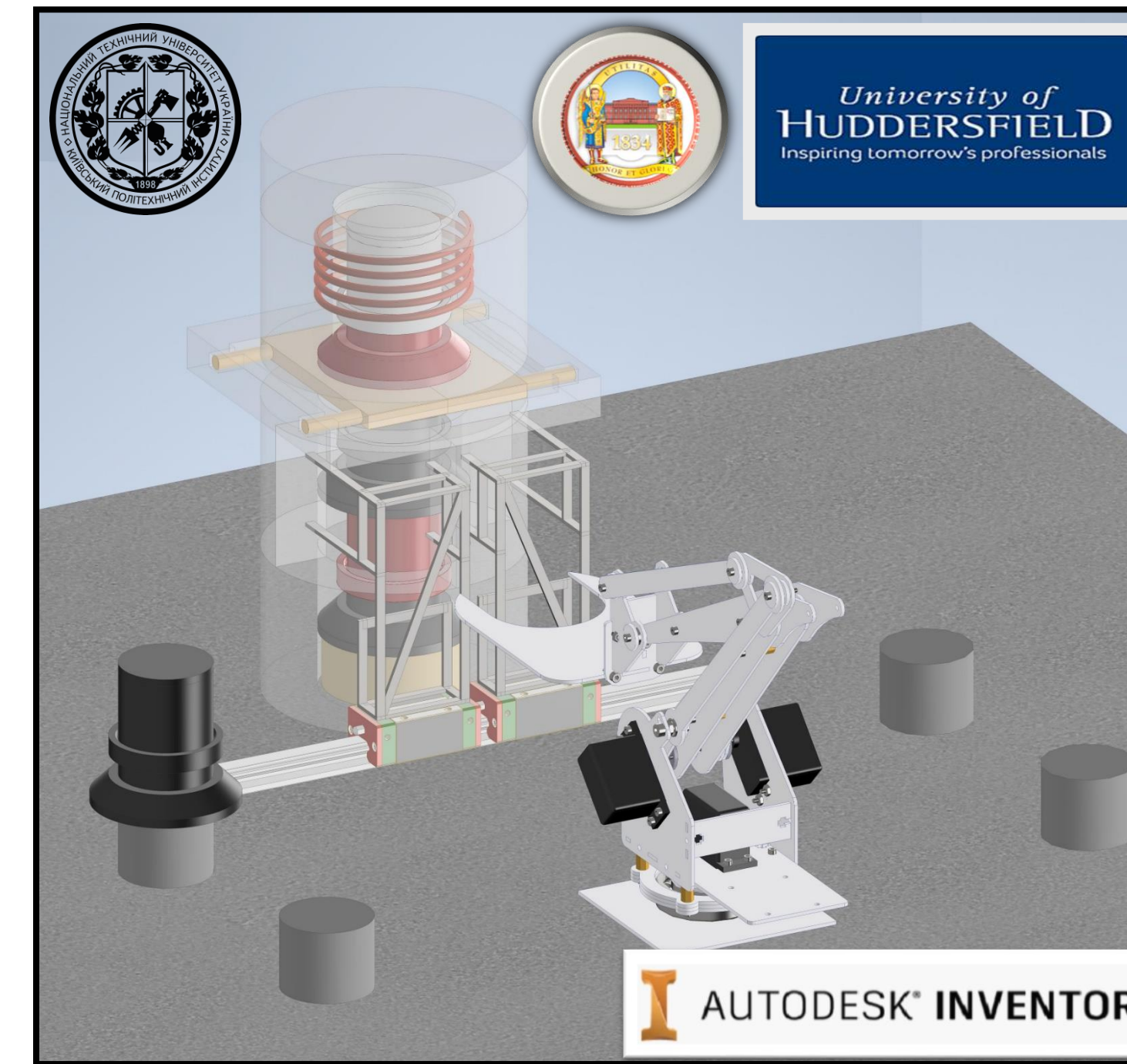
Плакат 7. Етапи розвитку конструкції



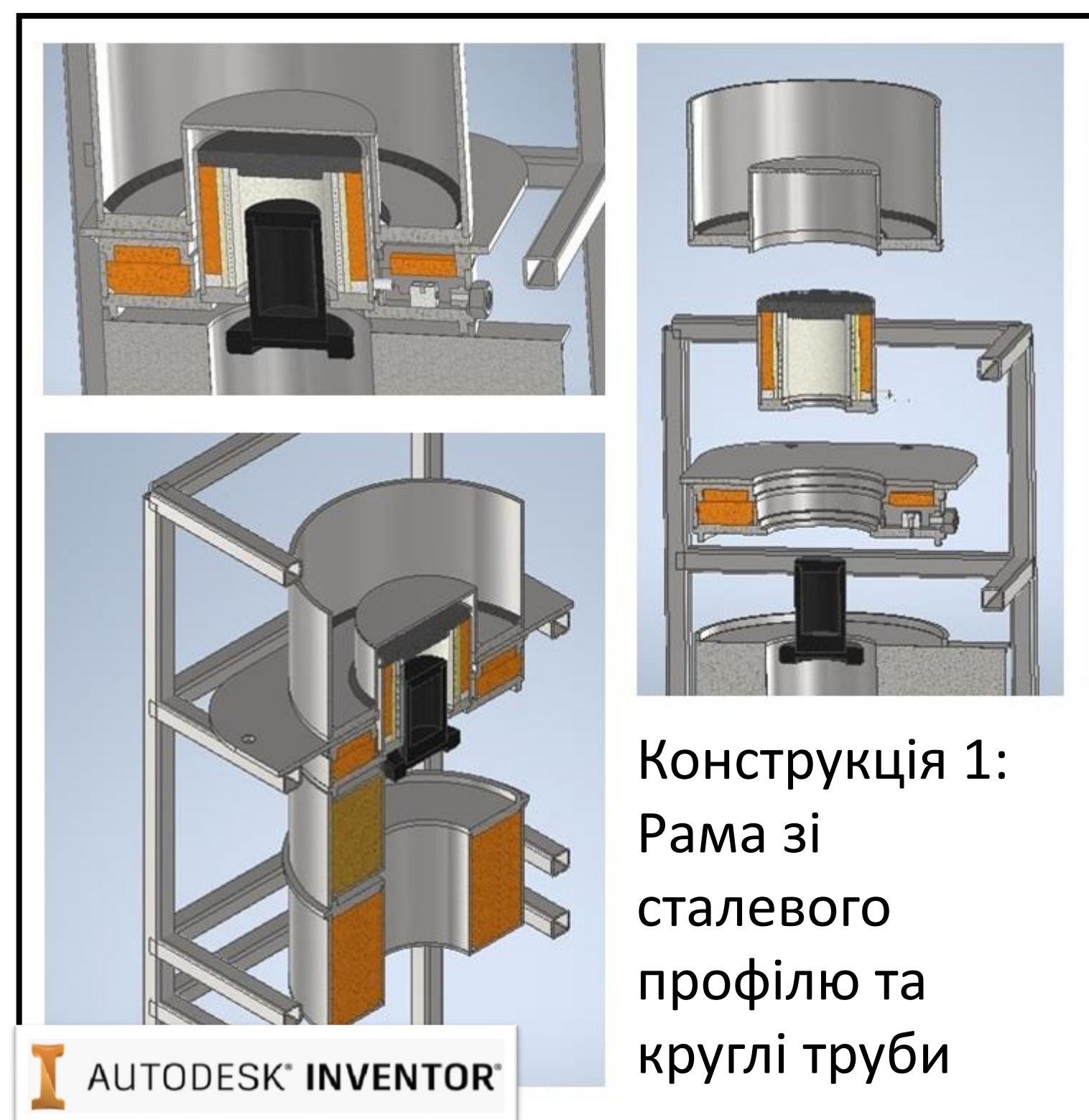
Перше моделювання ідеї печі, виконане в КОМПАС-3D



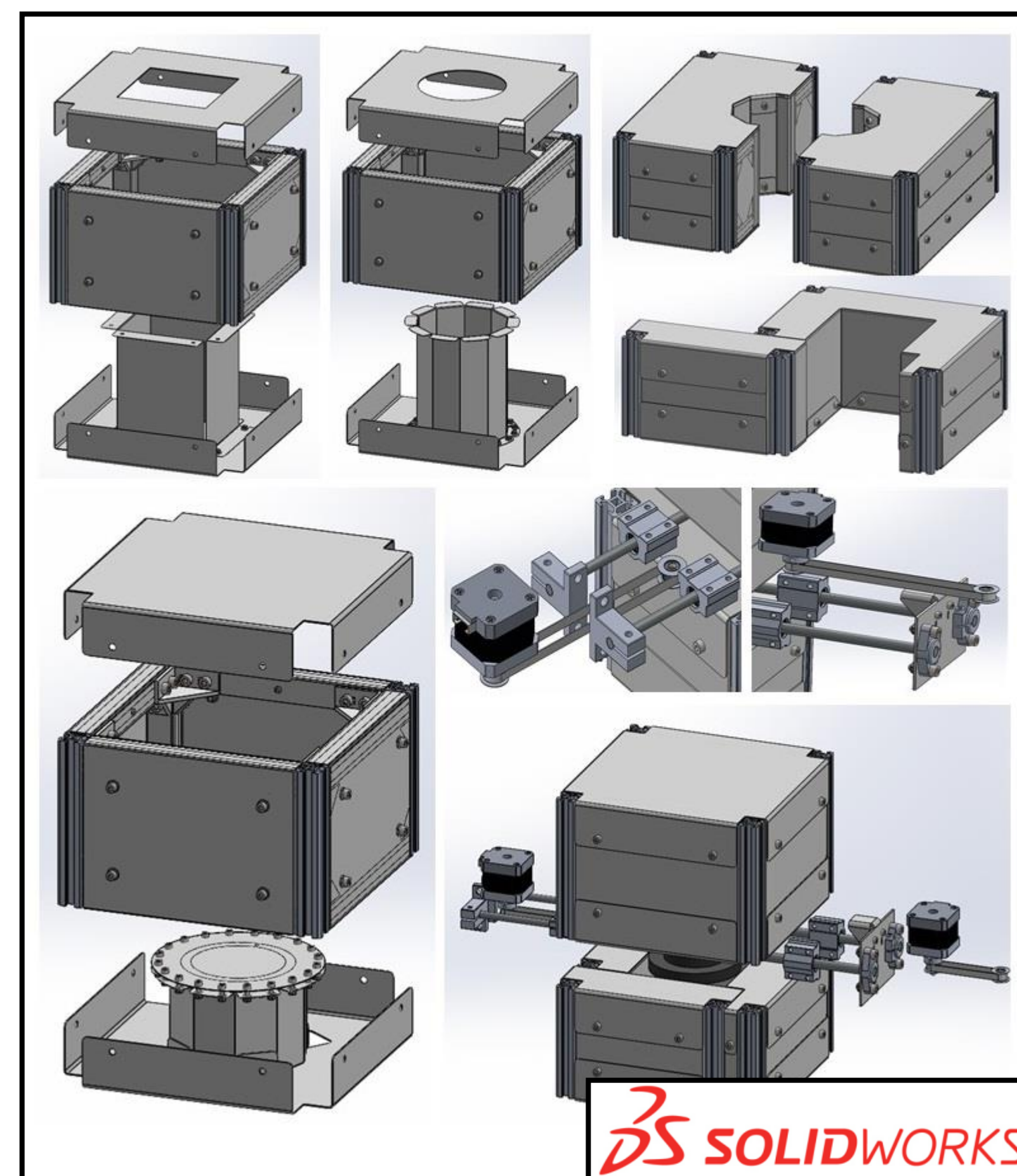
Паперова модель комплексу печі, протягом виготовлення якої були сформульована вимога модульності конструкції та синтезовані основні модулі



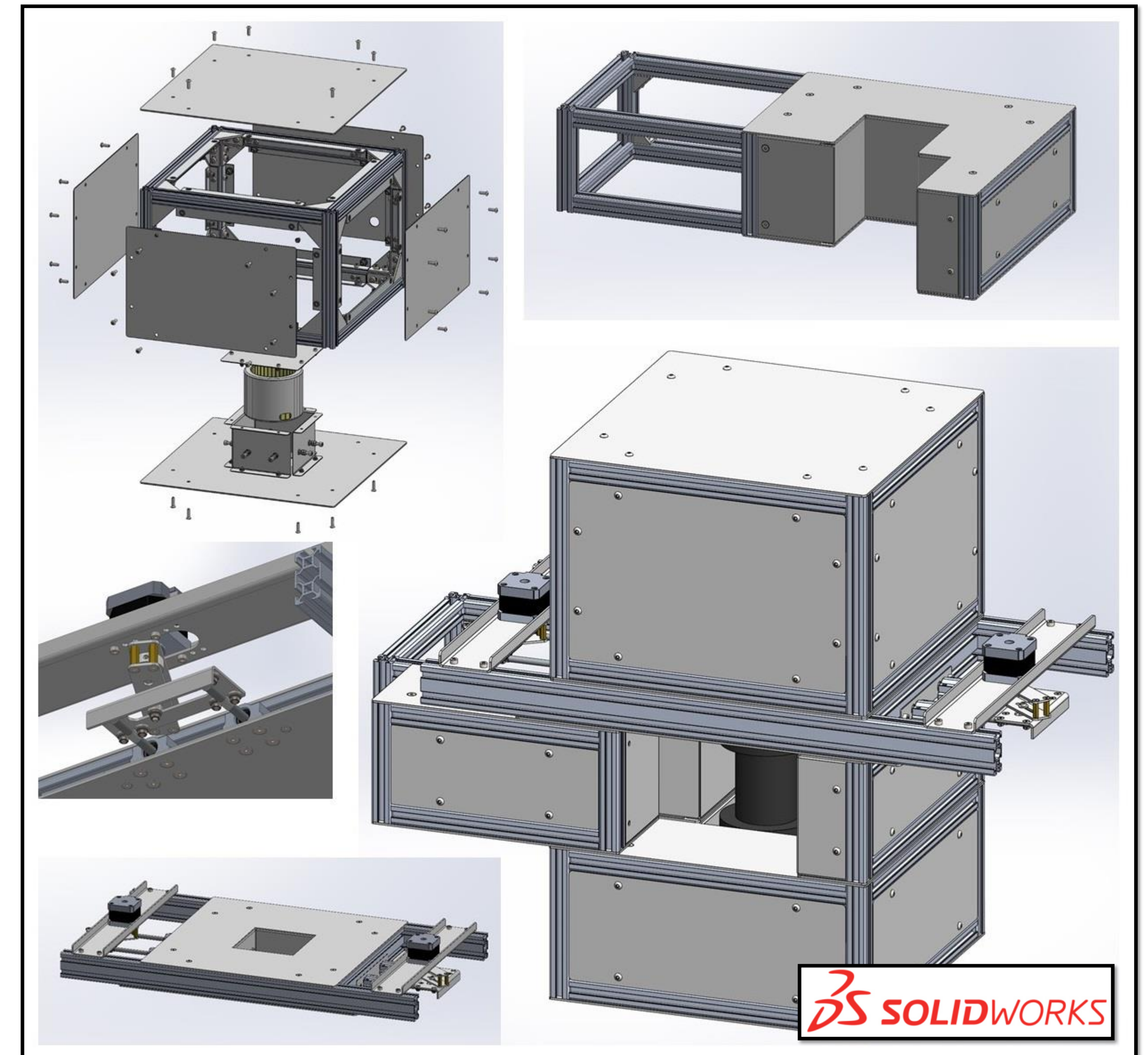
Перше, ескізне, моделювання модульної конструкції (Autodesk Inventor). На основі даної моделі, в соавторстві зі вченими Університету Шевченка та University of Huddersfield була Стенова доповідь на конференції The Advanced Materials Show July 2021: «Ceramic sintering equipment with continuous energy saving working cycle», оприлюднена на сайті вищезазначеного британського університету



Конструкція 1: Рама зі сталевого профілю та круглі труби

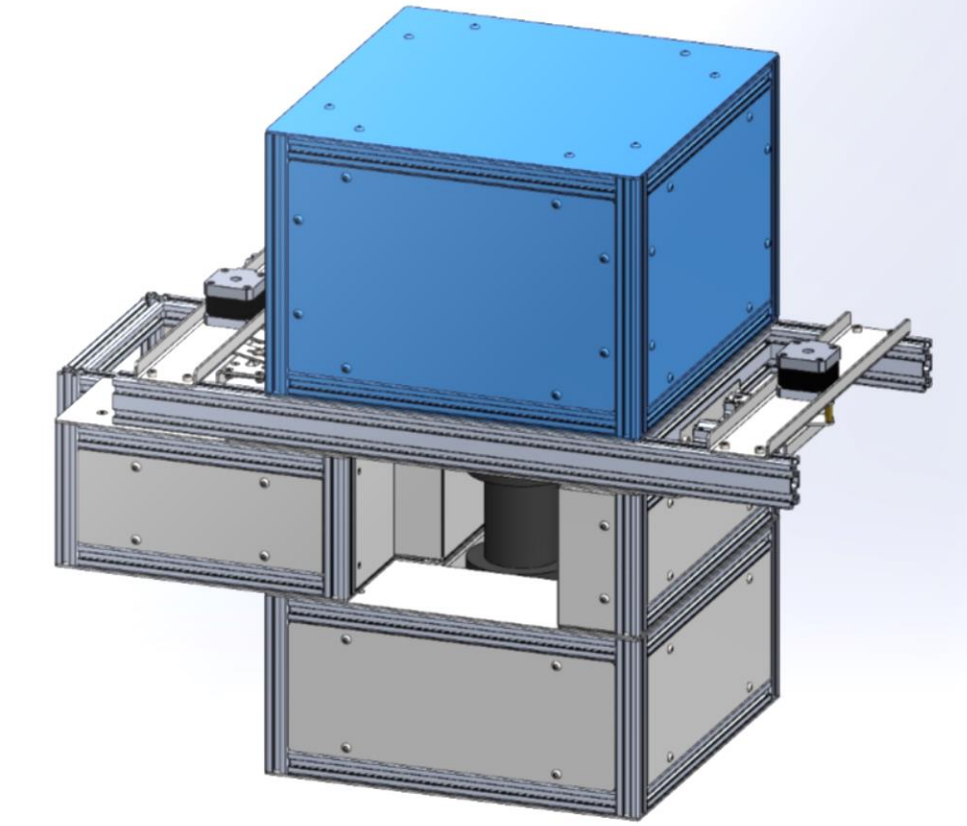
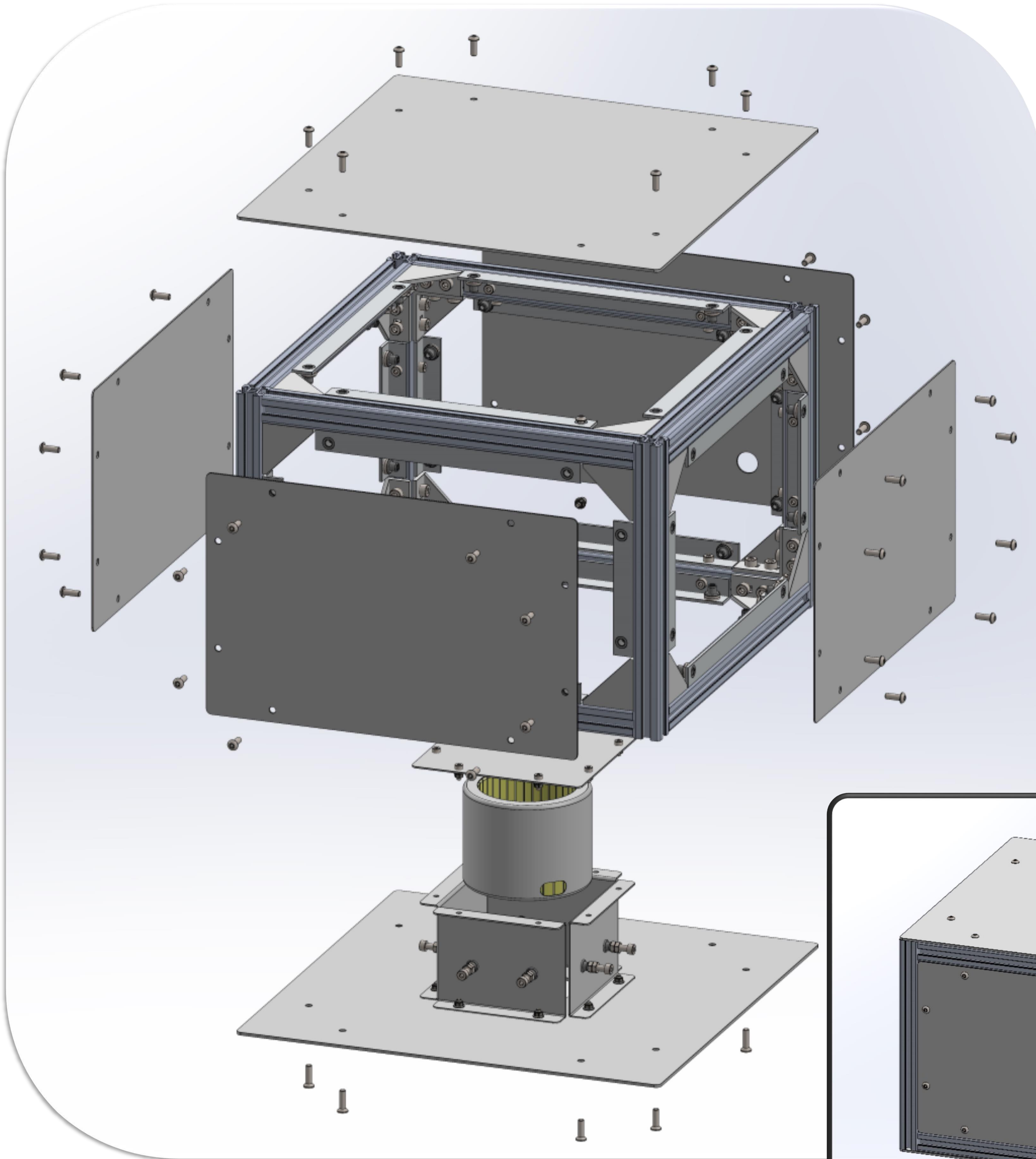


Конструкція 2: Експерименти компоновками та складні листові деталі

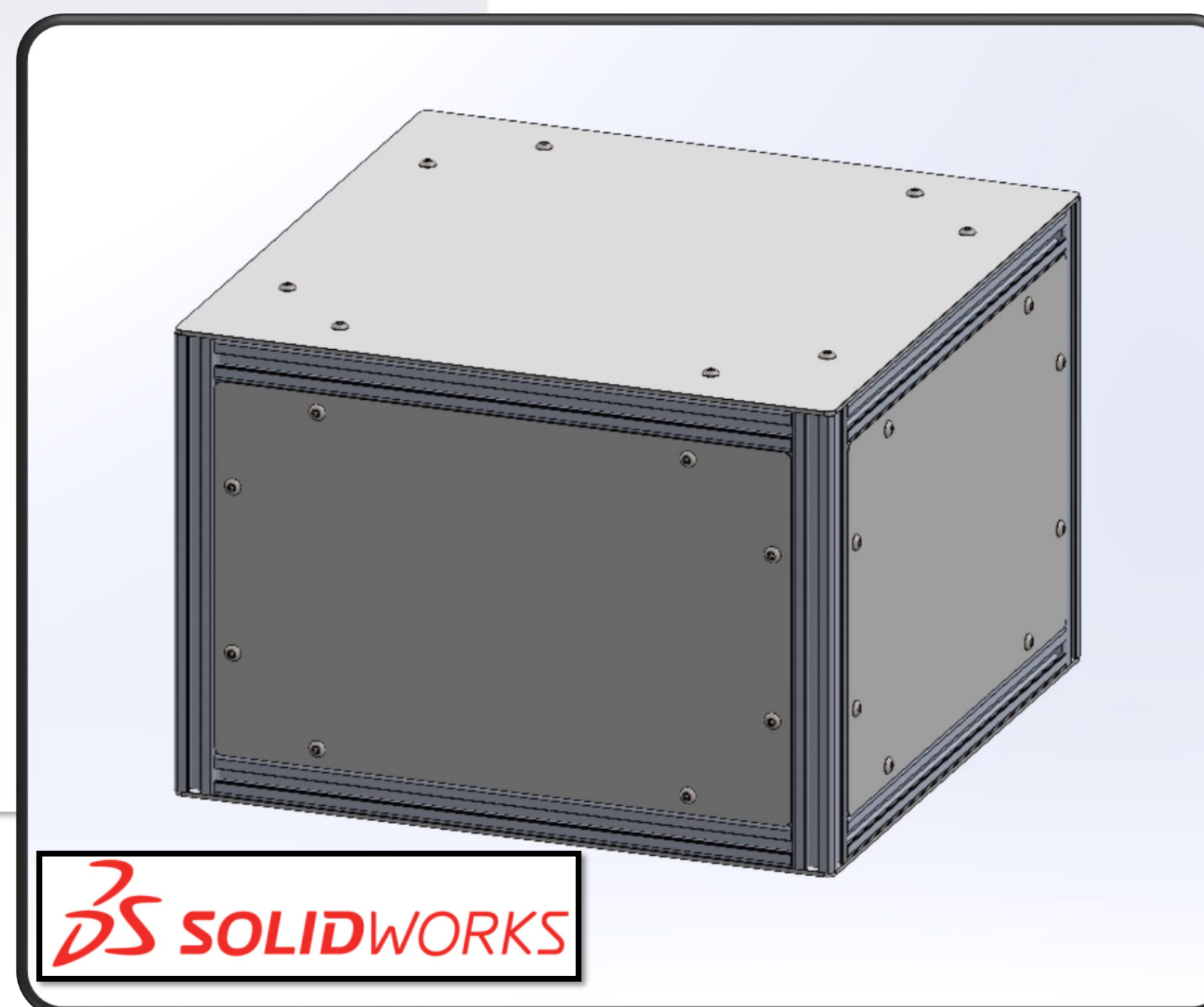


Конструкція 3: просі листові деталі

Плакат 8. Модуль 1 (з нагрівачем)

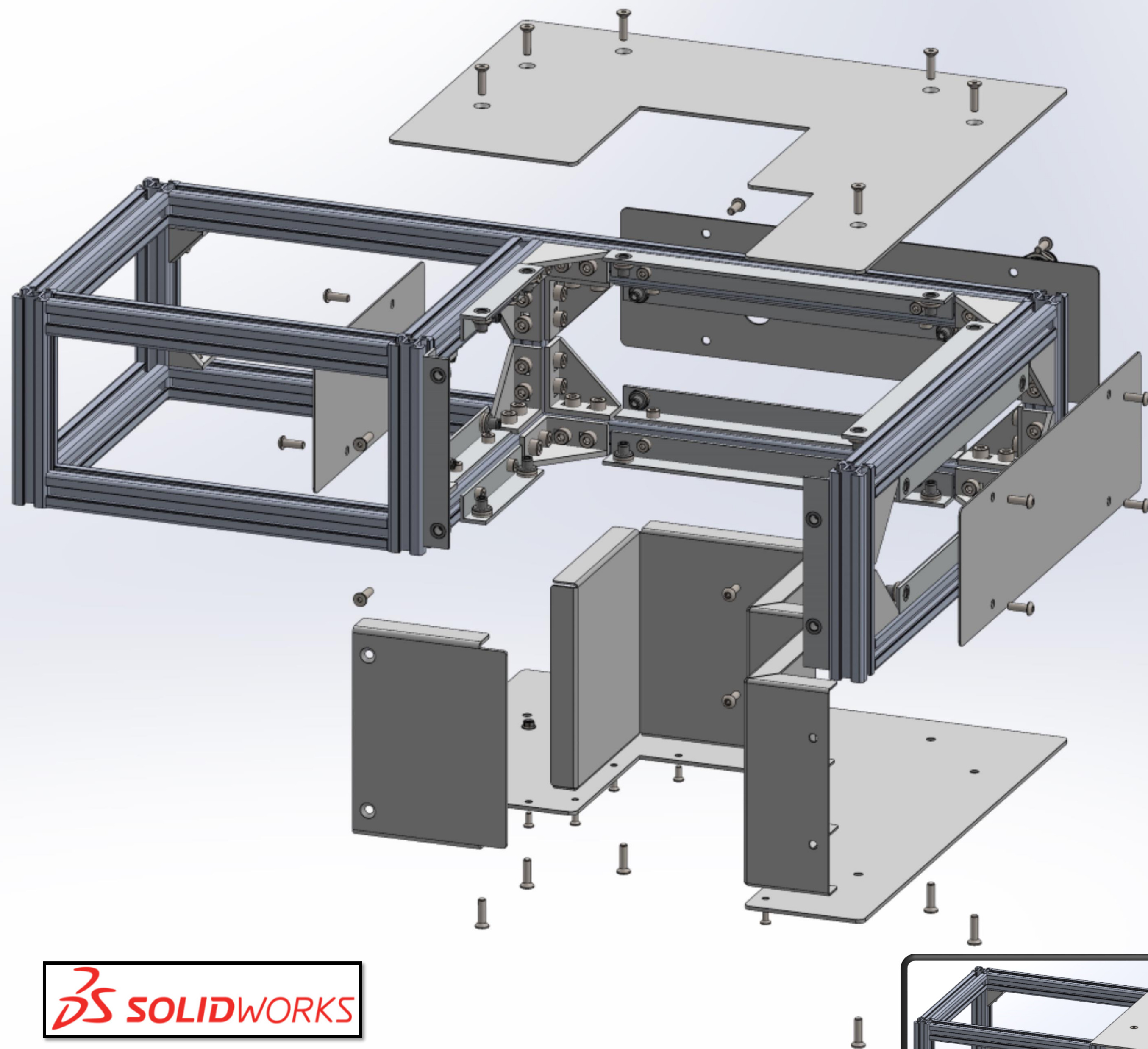


Модуль з нагрівачем представляє собою раму, з плоскими кришками з кожної сторони, що кріпляться гвинтами до бонок, встановлених на алюмінієві кутики.
Окремо збираються рама та нижня торцева кришка з внутрішньою стінкою та нагрівачем. Нагрівач центрується спеціальними гвинтами, які вкручуються у бонки, що розташовані на внутрішній стінці. На задню кришку встановлюються роз'єм живлення нагрівача та авіаційні роз'єми GX16.



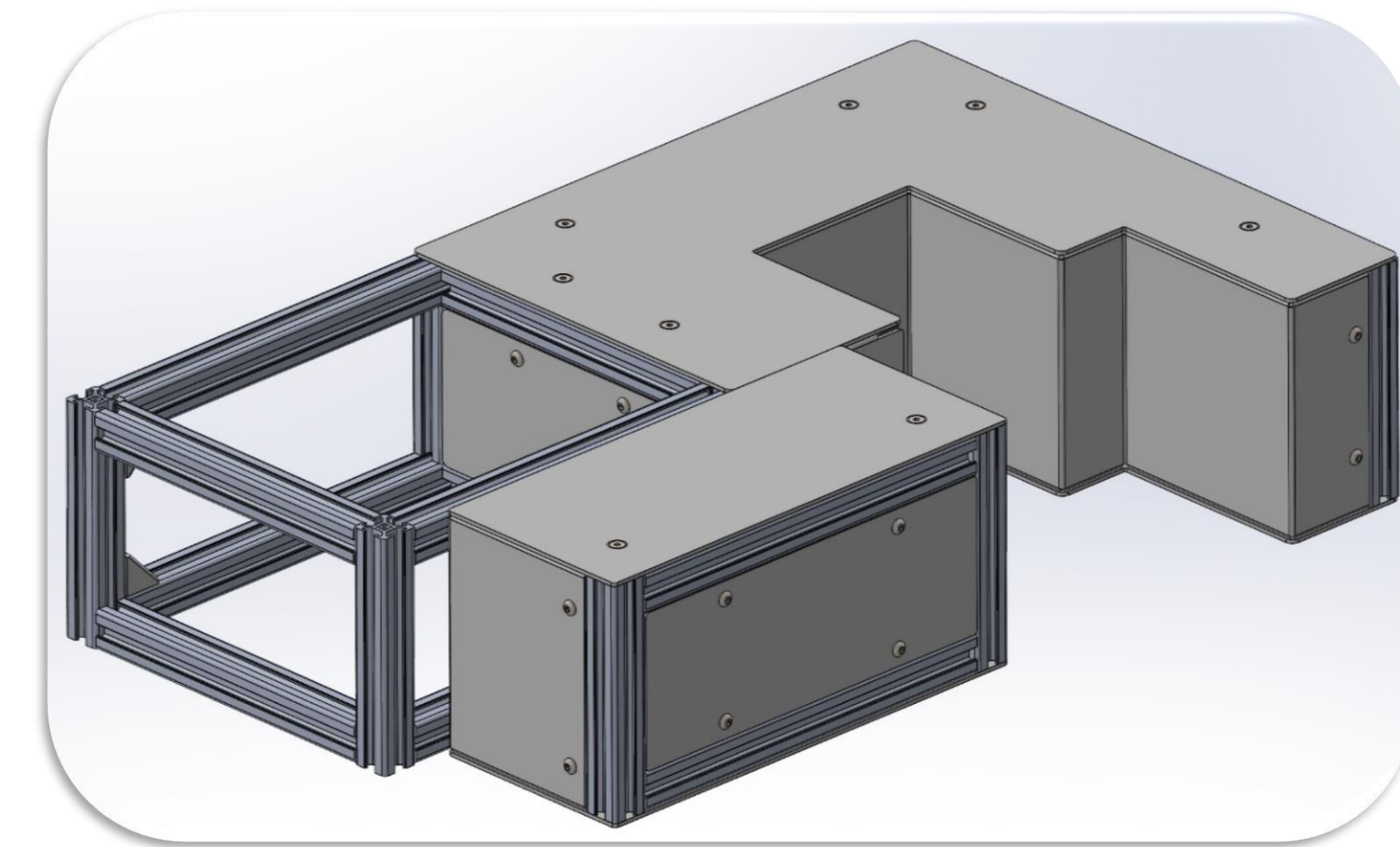
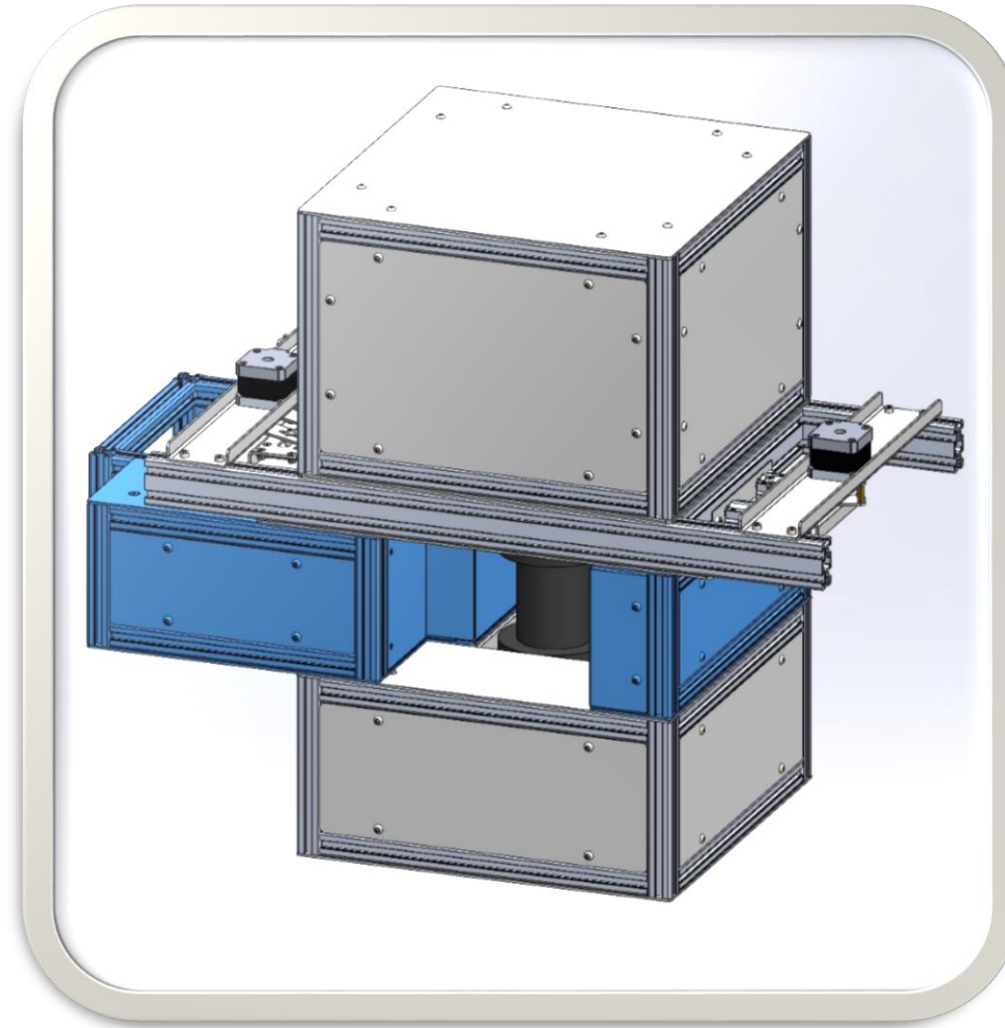
Габаритні розміри	320x320x224мм
Розрахункова маса	3,5 кг.

Плакат 9. Модуль 2 (двері)

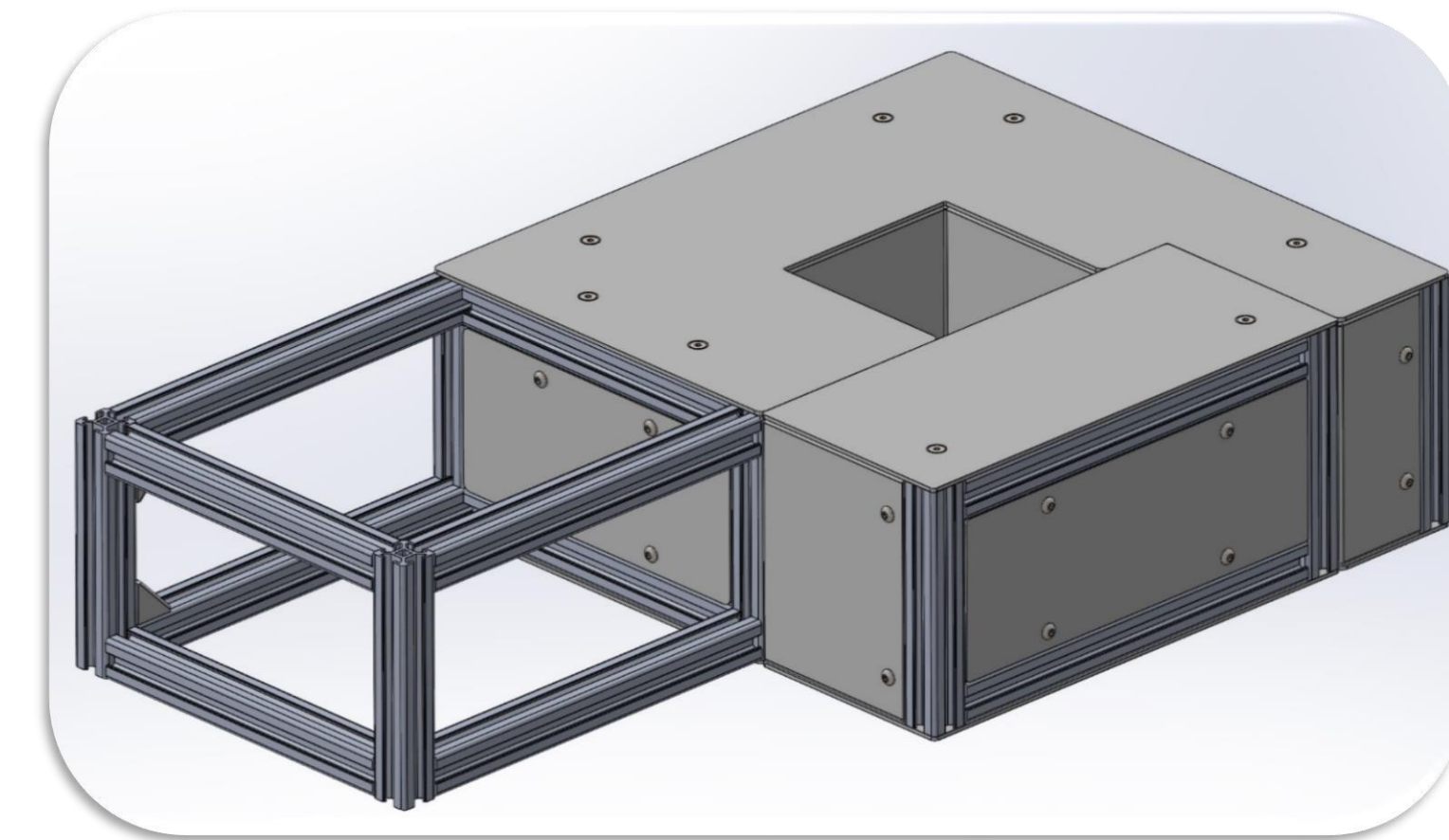
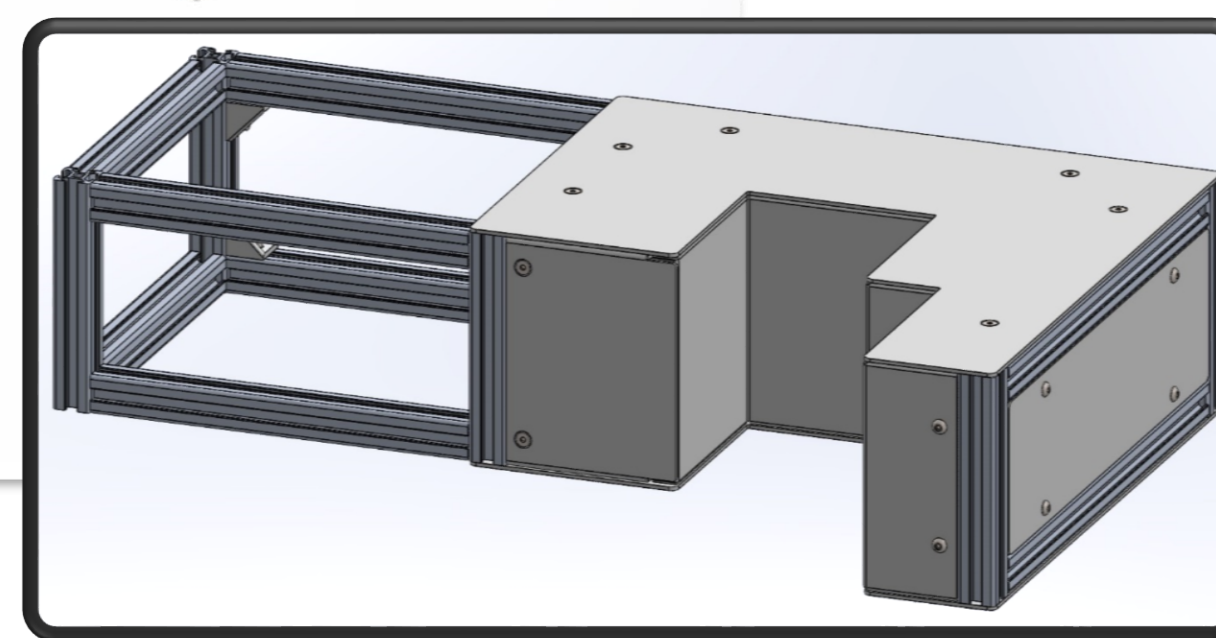


SOLIDWORKS

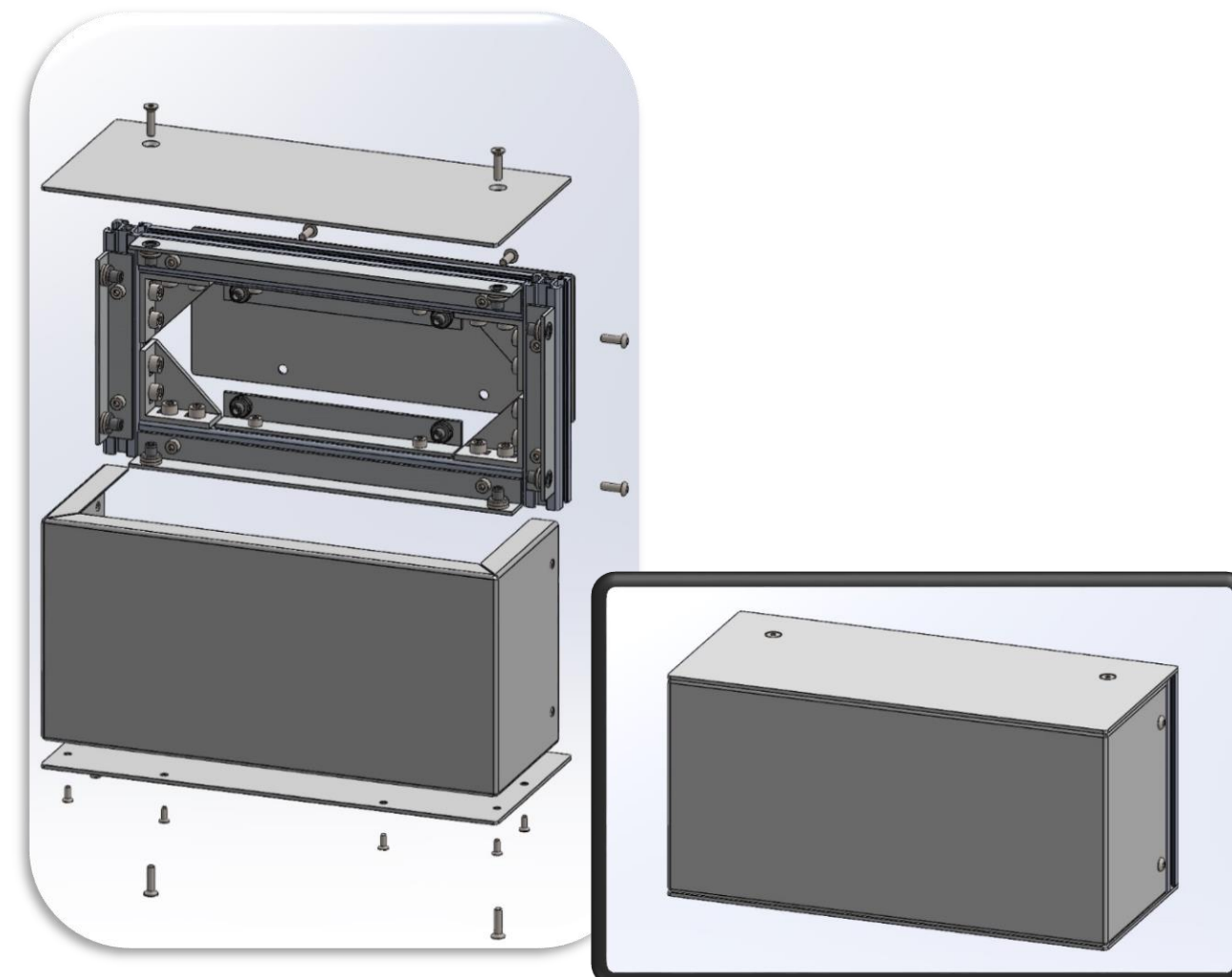
Колона під двері збирається окремо.
Рама являється не тільки каркасом стінок,
а і опорою для напрямних, по яким
будуть їздити двері.



Розміри дверного отвору при відкритих
дверях, більші за розміри внутрішньої
стінки колони (Рис. 65, а), з метою
полегшення завантаження контейнера.
В закритому стані колона з дверима
мають стандартні, для проекту,
габарити

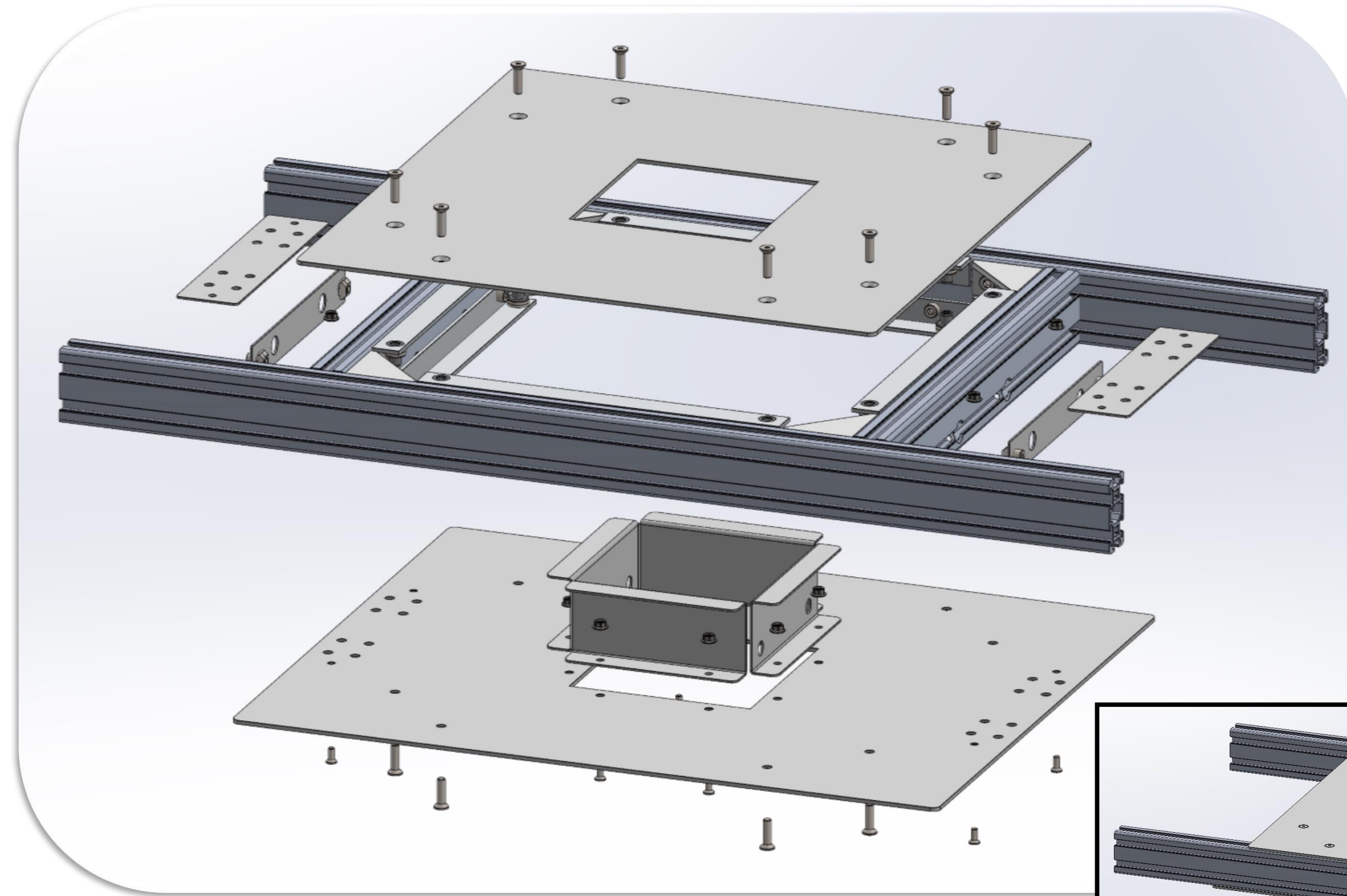


Двері мають просту будову та кріпляться на
плоский каркас-раму. Рама в дверях буде
використовуватись для кріплення до
направних. Стінка дверей виконана без
отворів та кріплень для зменшення зазору
між дверями та колоною

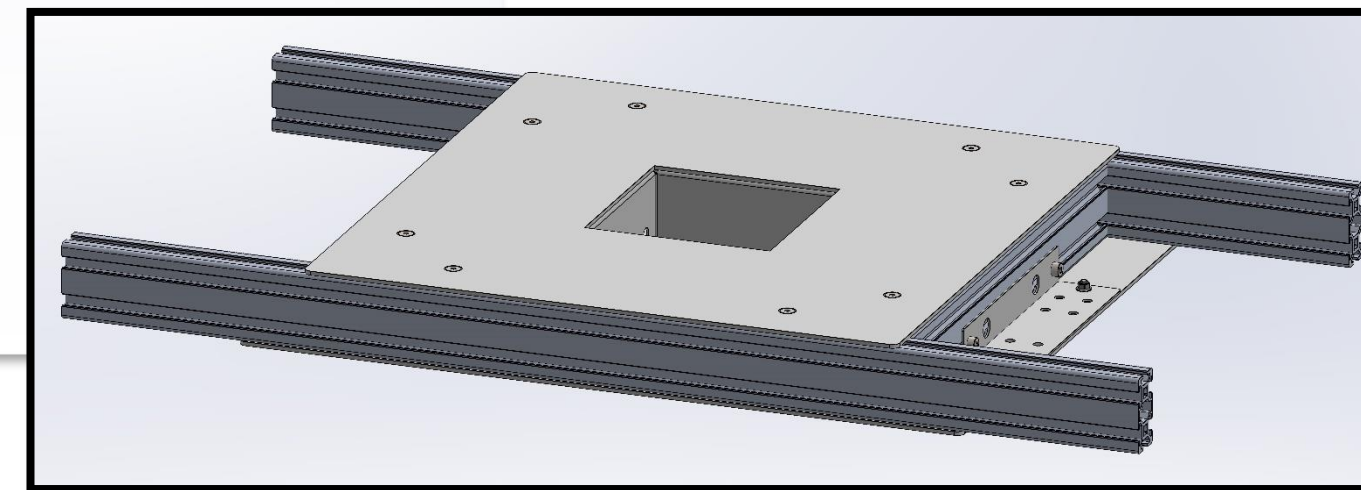
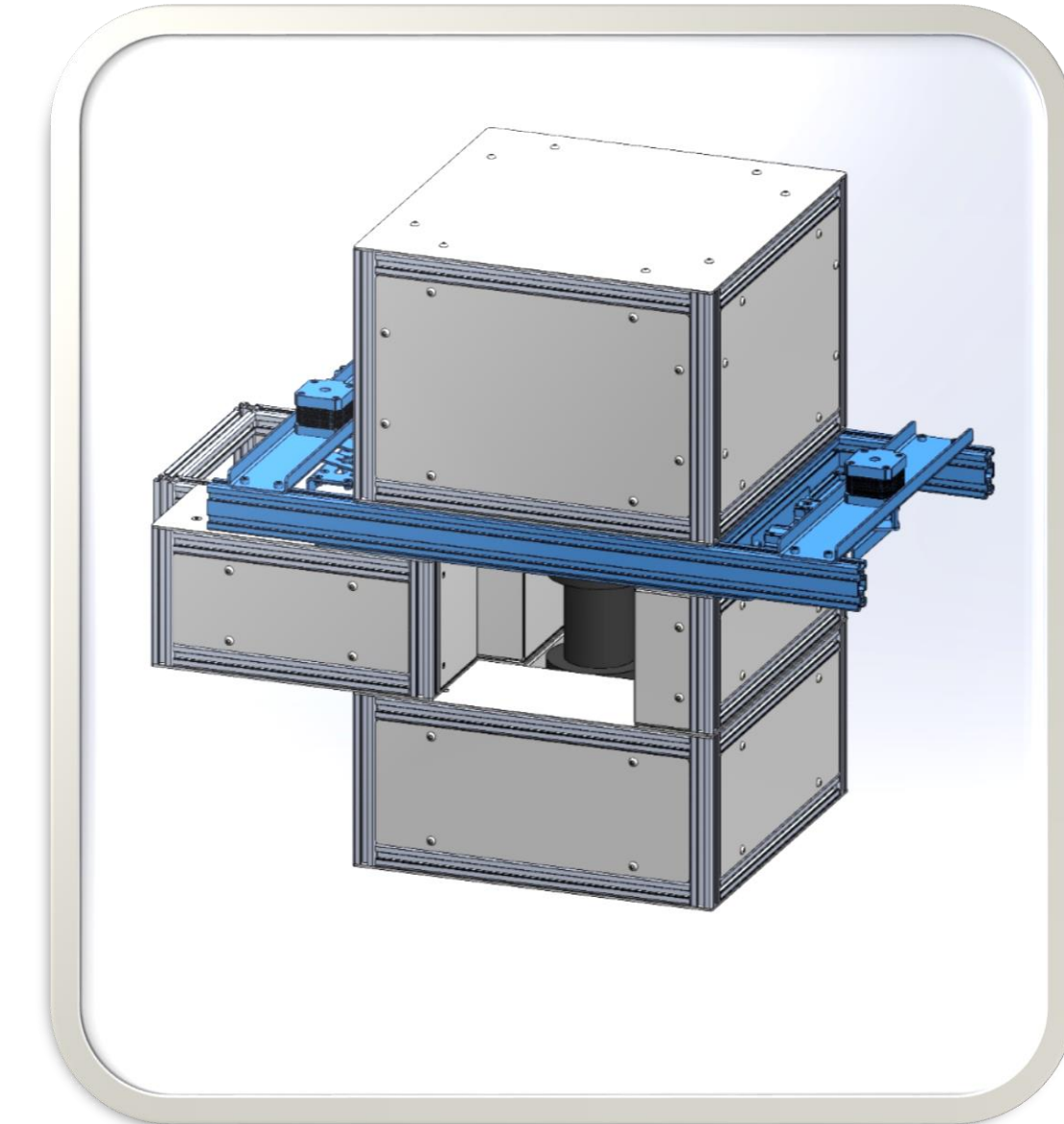


Габаритні розміри	540x320x124мм
Розрахункова маса	3,4 кг.

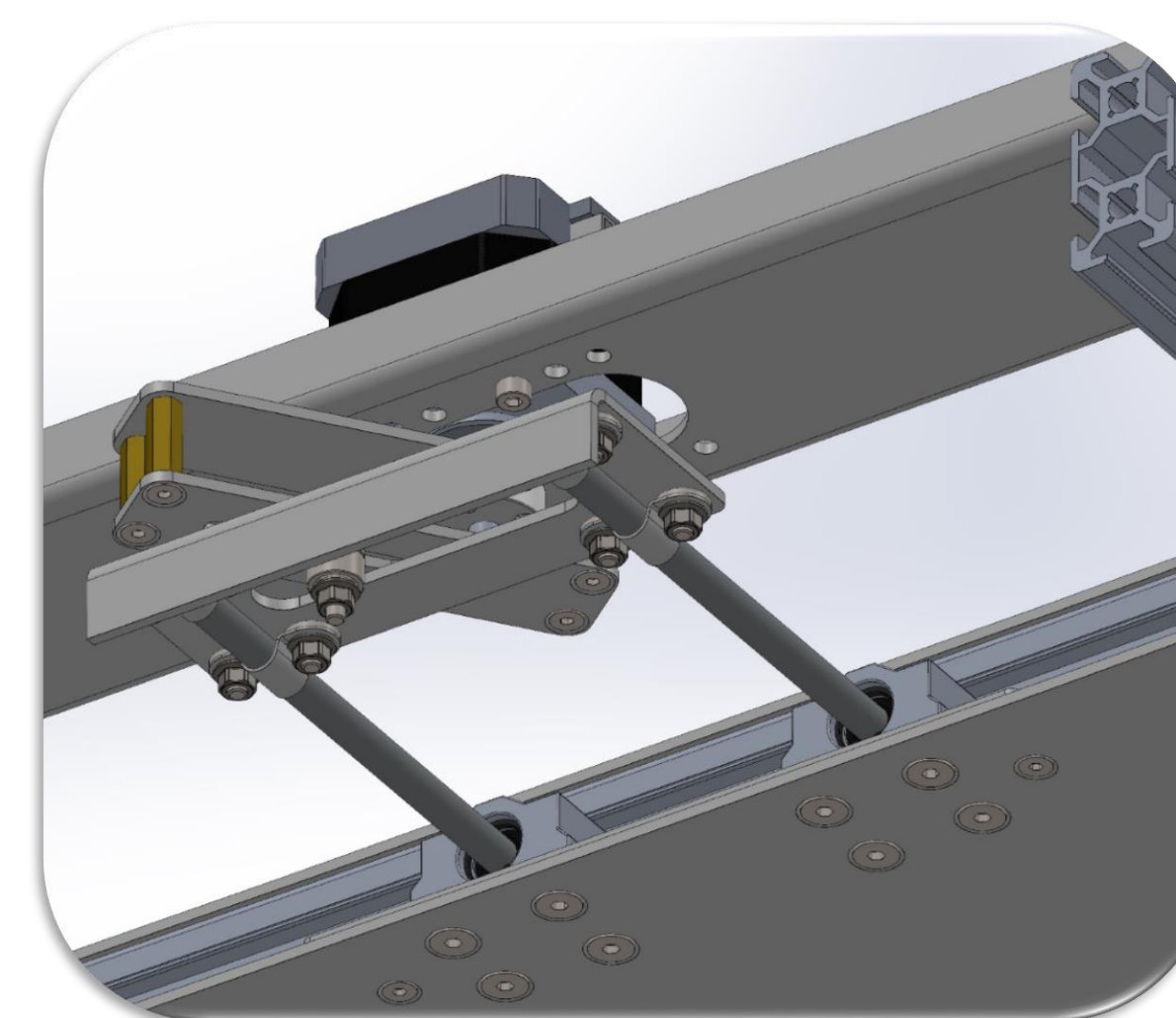
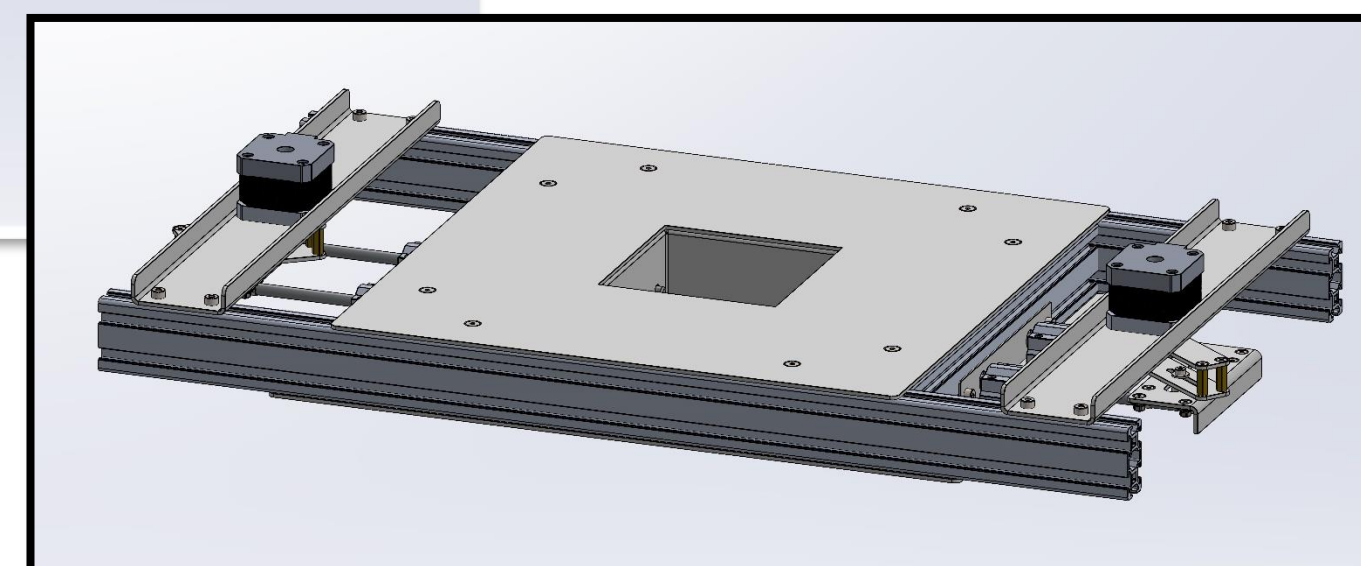
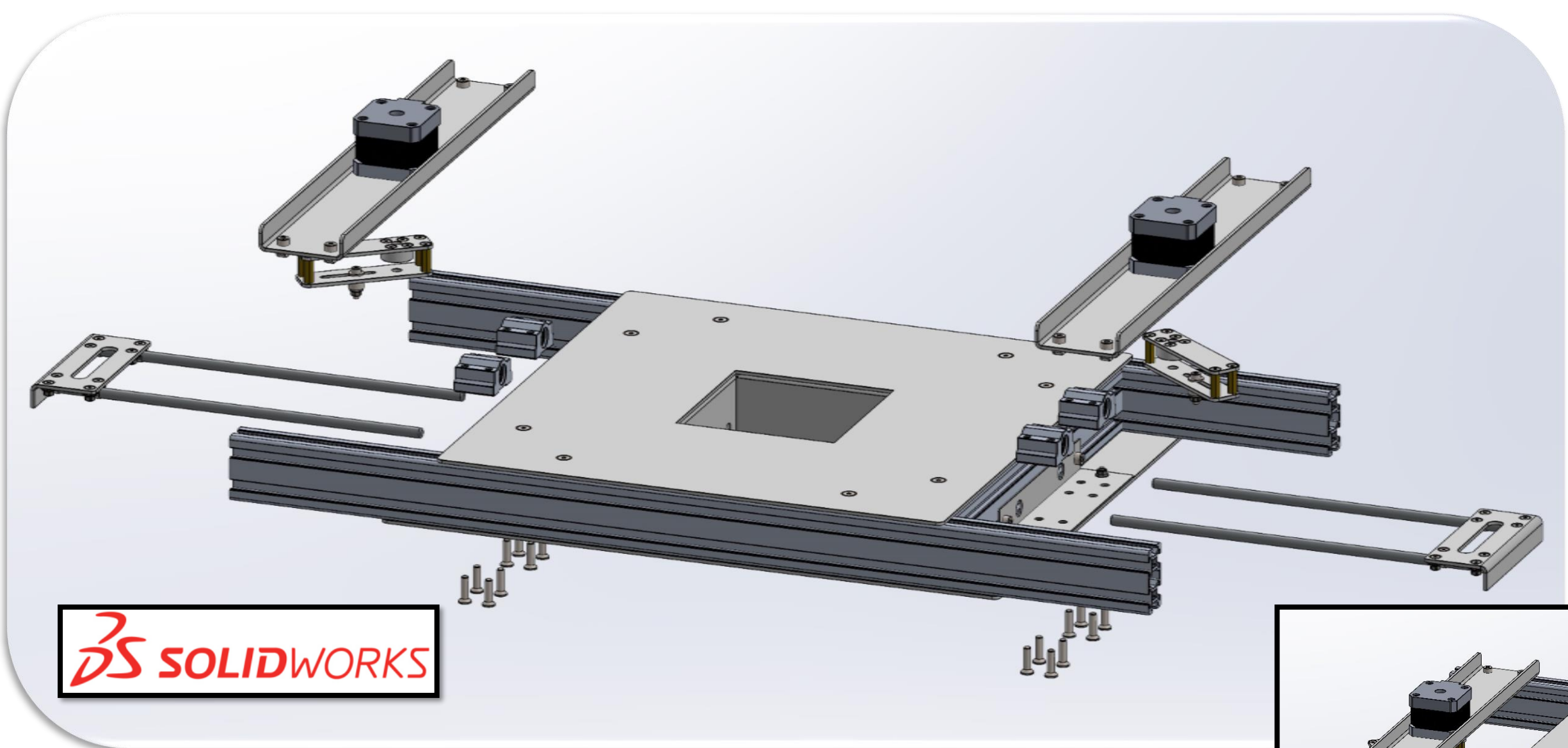
Плакат 10. Модуль 3 (штифти)



Через вимоги до **мінімальної висоти** модуля, разом із необхідністю забезпечити **відступ 5-10мм** між штифтами та контейнером, притиснутим до модуля з нагрівачем, бічні стінки з листових деталей – відсутні. Рама виготовлена з конструкційного профілю 20x40 (серія 20). На подовжену нижню торцеву кришку будуть спиратися лінійні підшипники.

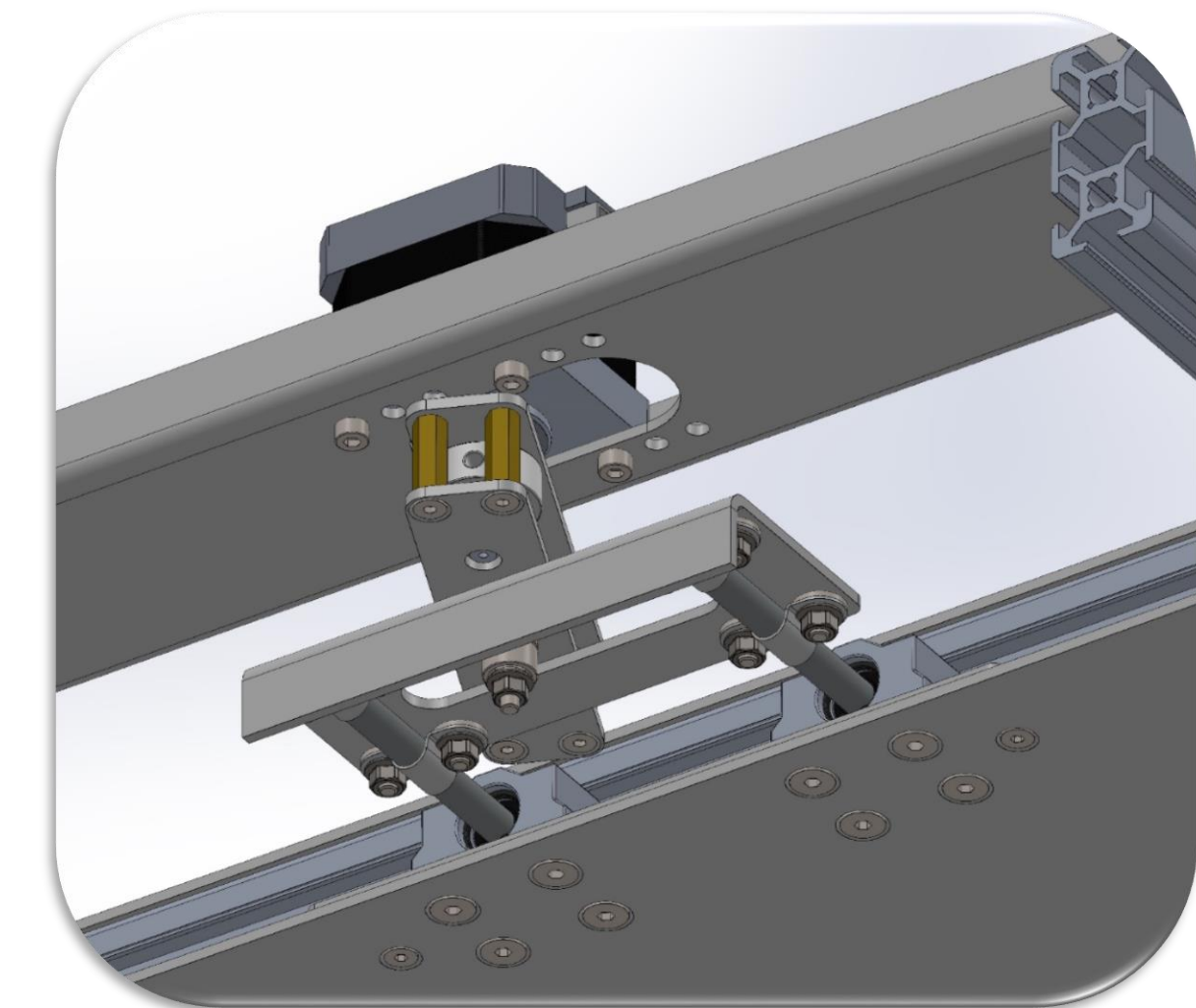


Обертальний рух двигуна у поступальний – штифтів перетворюється кривошипно-шатунним механізмом. Кривошип збирається із двох плоских деталей, поєднаних латунними стойками. Пластина-шатун, по якій ковзає підшипник кривошипа, одночасно являється перемичкою, що зв'язує обидва штифти (круглі напрямні)



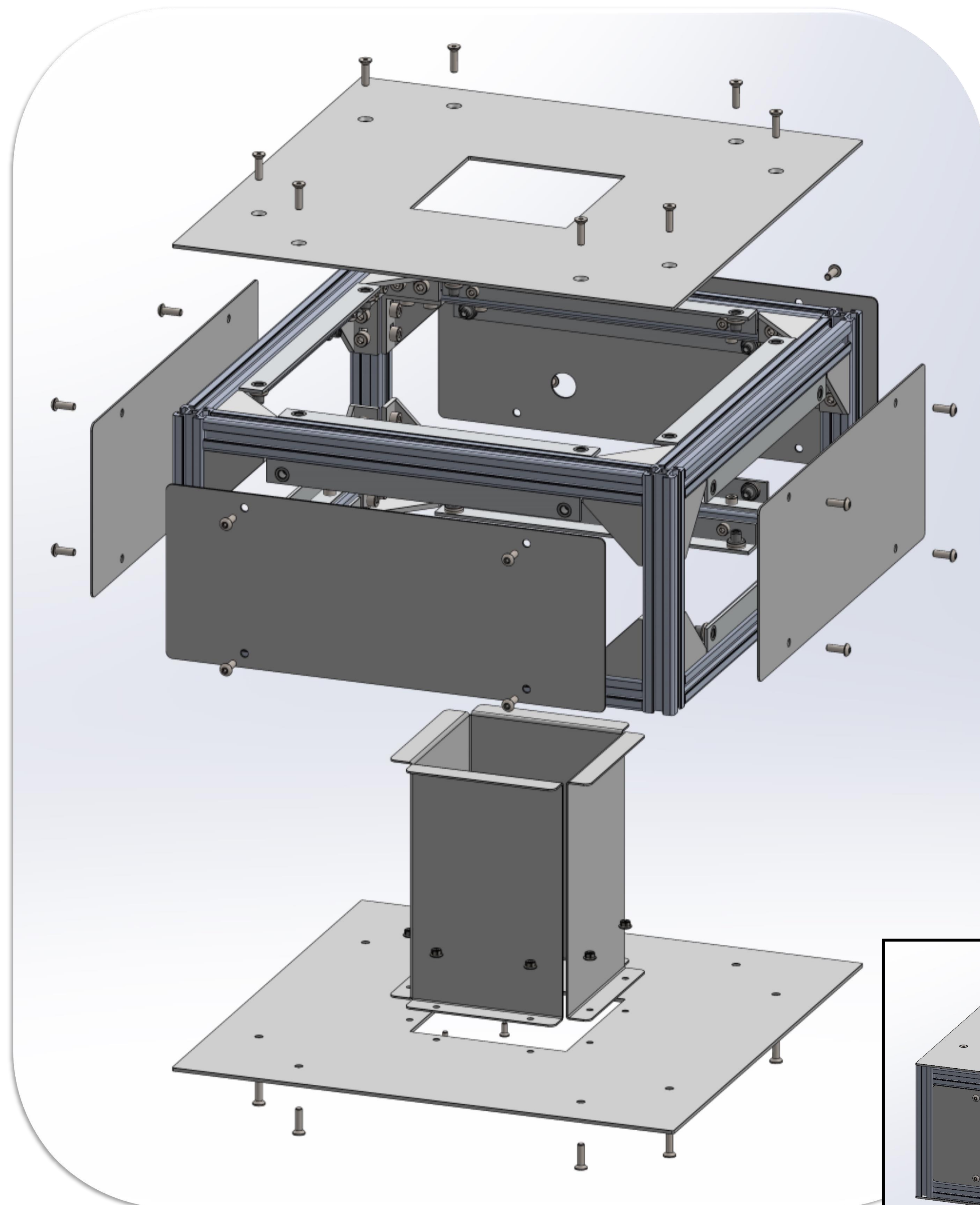
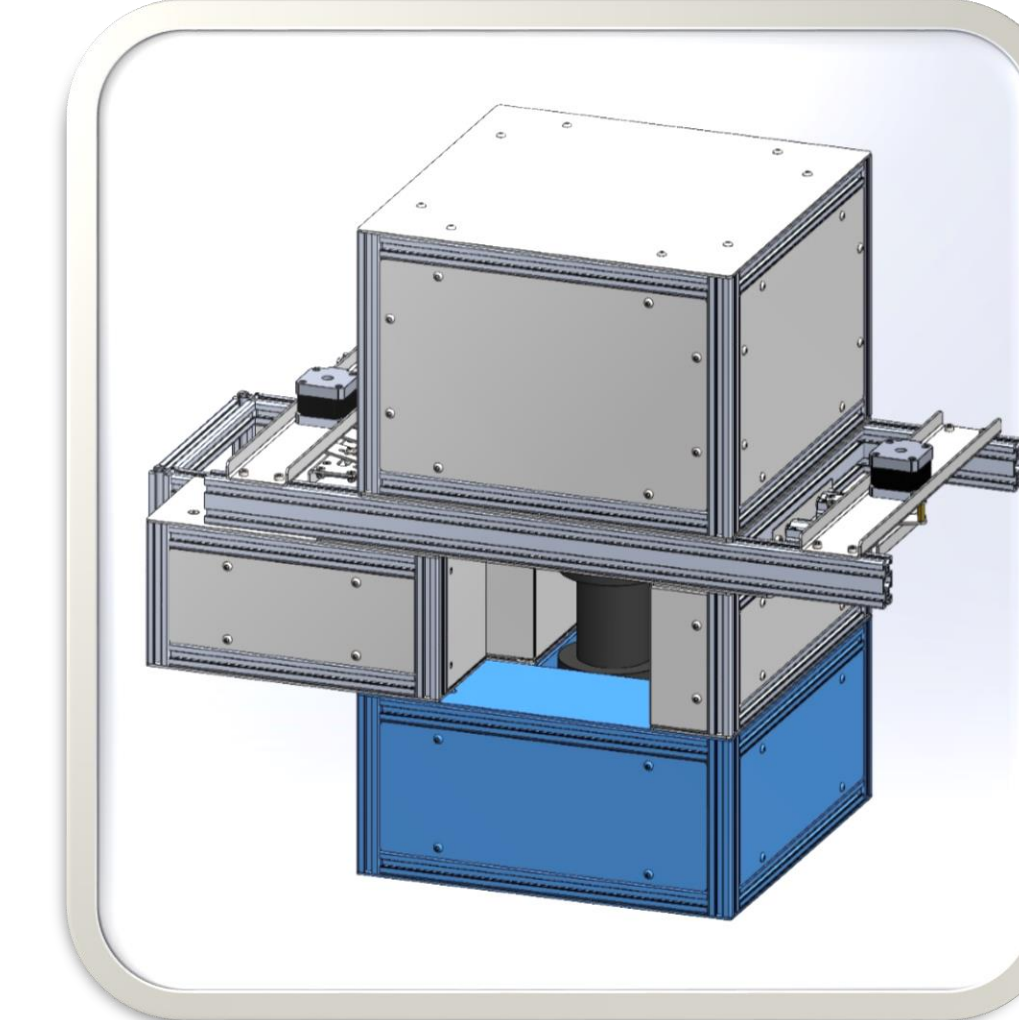
Штифти відкриті, контейнер може вільно переміщуватись штоком печі

Штифти закриті, контейнер спирається на круглі напрямні



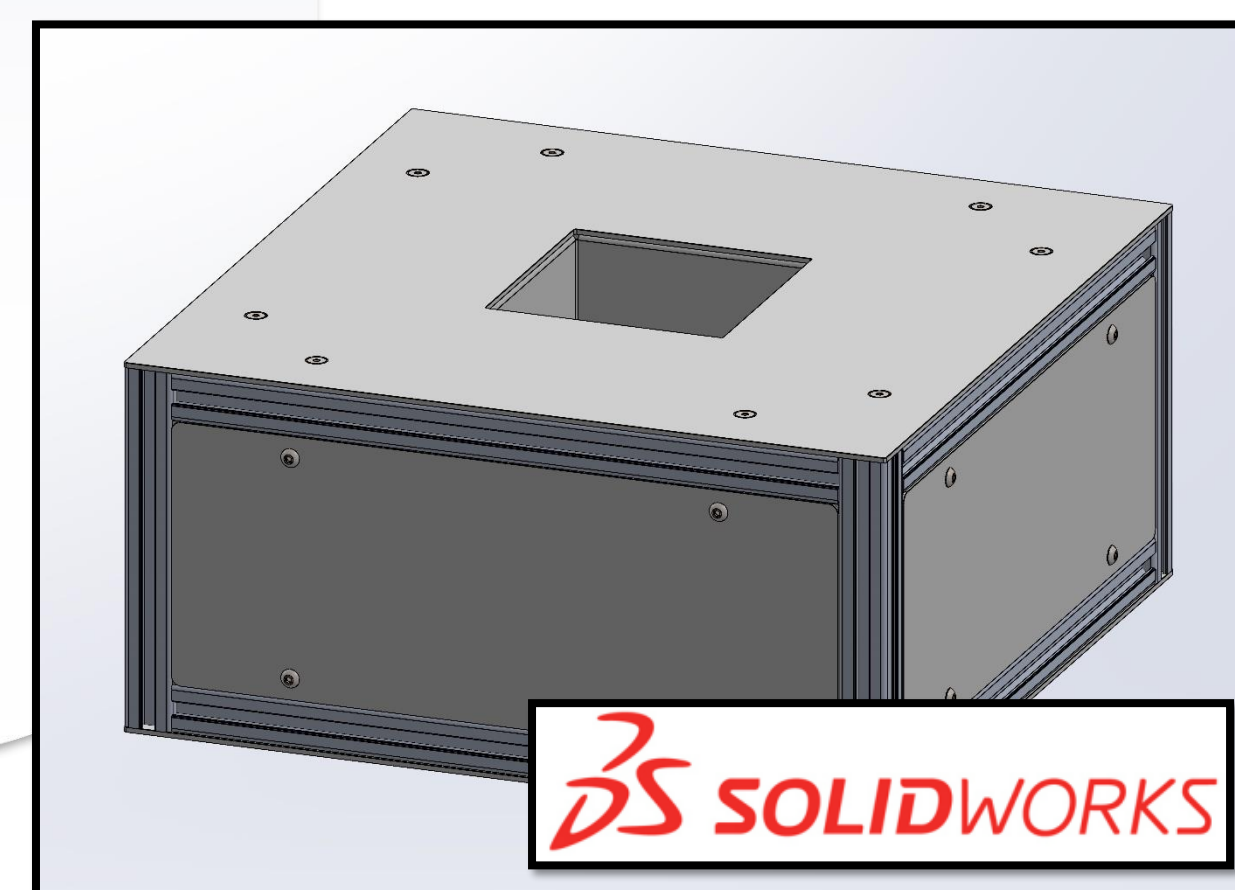
Габаритні розміри	580x320x80мм
Розрахункова маса	3,0 кг.

Плакат 11. Модуль 4 (колона)



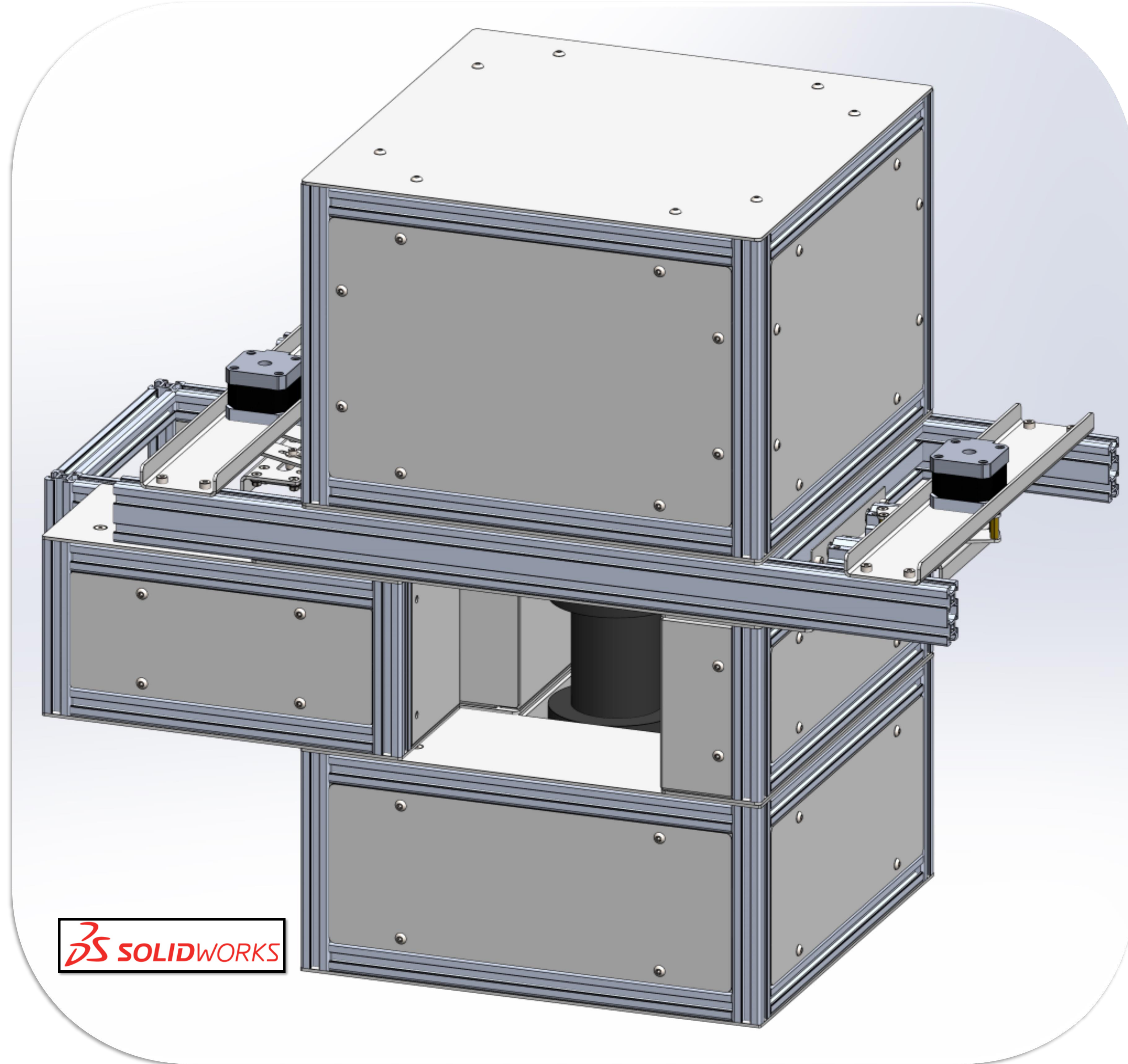
Цільна колона печі розташовується в нижній частині комплексу. В колоні буде знаходитись теплоізолюваний шток, який підійматиме контейнери між усіма модулями. Конструкція колони така сама, як і модуля нагрівача. Відмінність лише у висоті модуля та внутрішньої стінки.

Оскільки піч створюється для проведення експериментів – в колону печі будуть встановлені термомпари. Задня стінка також має отвори під два авфаційні роз'єми GX16, куди будуть виведені контакти термомпар.

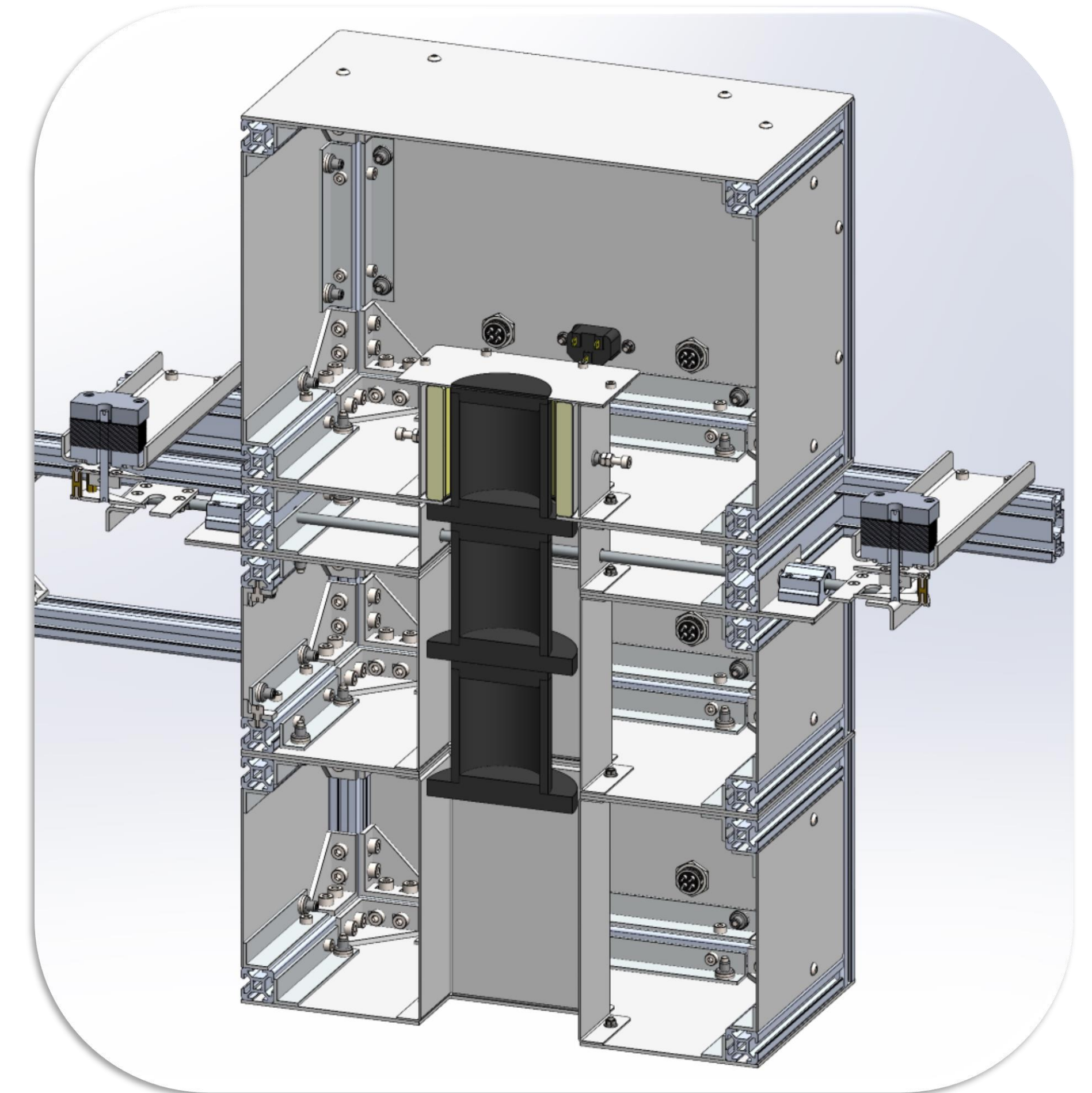


Габаритні розміри	320x320x154мм
Розрахункова маса	2,9 кг.

Плакат 12. Загальний вигляд печі



Зібрана піч представляє собою набір окремих модулів, які встановлюються одне на одного. Рами модулів виконані з конструкційного профілю, що дозволяє легко встановлювати датчики, механізми та пристрої.



 SOLIDWORKS

Габаритні розміри	670x320x546мм
Розрахункова маса	13,3 кг.