МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

(повне найменування вищого навчального закладу)

ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Теплофізики молекулярної фізики та енергоефективності

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
за освітньо-професійним рівнем «магістр»

«ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЛОГООБМІННИКА ШАХТНОГО САМОРЯТІВНИКА ШСС-СІ-30»

Виконав студент 2 курсу, групи НФ-62
Мінько О.С.
(прізвище та ініціали)

Спеціальність
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма : Прикладна фізика енергетичних систем.
Керівник академік НАН України д.т.н. проф. Мацевитий Ю.М.
Консультант к.т.н . доц. Альохіна С.В.
(ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент к.т.н. доц. Кошель С.В
(ступінь, прізвище та ініціали)

Харків - 2018 року

Перелік скорочень та абревіатур

ТВО - тепловологообмінник

ШСС – Шахтний саморятівник

ЗІЗОД - Засіб індивідуального захисту органів дихання

НХР - Небезпечна хімічна речовина

ГДС - газодихальна суміш

Реферат

Мінько Олександр Станіславович «Дослідження параметрів роботи з метою підвищення ефективності тепловологообмінника шахтного саморятівника ШСС-Сі-30» (випускна робота магістра). – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. –48с.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків; містить 28 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел з 10 найменувань.

У роботі розглядається вдосконалення теплофізичних властивостей тепловолообмінника шахтного саморятівника шляхом чисельного моделювання. Проведені дослідження щодо оптимізації конструкції тепловологообміннка з різними варіаціями його складових. У роботі було строго дотримано діапазон охолодження гарячого повітря 5-10 °С, що перебачедно конструкцією тепловологоомбінника. Змодельовано декілька варіантів конструкцій решіток та використано різні матеріали для решіток. Матеріали, які представленні у роботі з решіткою: латунь, алюміній, мідь, бронза, нержавіюча сталь. При моделюванні конструкції решіток також враховано людський фактор при користуванні тепловологообмінником та встановлено обмеження на деякі варіанти конструкції. Розглянуті варіанти з різними розмірами корпусу тепловологообмінників: стандартна модель, зменшена та експериментальна. Отримані результати моделювання було проаналізовано та вибрано найбільш ефективні комбінації з урахуванням економічної складової.

Ключові слова: тепловологообмінник, шахтний саморятівник, моделювання, температура, температурне поле.

Abstract

Minko Aleksandr Stanislavovich "Investigation of parameters of work for the purpose of increasing the efficiency of the heat exchanger of the shaft self-regulator SHS-Ci-30" (master's thesis). - Kharkiv: KhNU named after VN Karazin, 2018. -48 p.

The work consists of an introduction, three sections, conclusions; contains 19 drawings, 8 tables, list of used sources with 32 names.

The work considers the improvement of the thermophysical properties of the heat exchanger of the mine self-restraint by numerical simulation. The researches on optimization of the structure of the heat exchanger with various variations of its components have been carried out. In the work, the range of cooling of hot air of 5-10 ° C was strictly observed, which is overthrown by the design of the heat-generator. Several variants of lattice designs have been simulated and various materials for gratings have been used. Materials, which were presented in the work with the lattice: brass, aluminum, copper, bronze, stainless steel. In the simulation of the lattice design, the human factor in the use of the heat exchanger is also taken into account and restrictions on some design options are established. Variants with different sizes of the body of the heat exchangers are considered: the standard model is reduced and experimental. The obtained simulation results were analyzed and selected the most effective combinations taking into account the economic component.

Keywords: heat exchanger, mine self-regulator, modeling, temperature, temperature field.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1

1.1 Загальні положення 10

1.2 Саморятівник СІ-30 14

РОЗДІЛ 2 22

2.1 Математична модель 22

2.2 Способи зниження температури саморятівника 26

РОЗДІЛ 3

3.1 Елементи ТВО 26

3.2 Результати експерименту 30

РОЗДІЛ 4

4.1 Економічна складова 45

ВИСНОВКИ 46

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 47

ВСТУП

У постіндустріальну епоху людства з високим розвитком промисловості, у зв'язку з високим ризиком виникнення аварій, які тягнуть за собою небезпеку для життя людини, різко постає питання техніки безпеки на підприємствах, і дуже багато уваги приділяється екстреним випадкам на виробництві. Засіб індивідуального захисту дихання для шахтних працівників на сьогоднішній день є обов'язковим обладнанням на всіх гірничодобувних підприємствах. При підземних аваріях шахтне повітря стає непридатним для дихання з двох основних причин: через утворення (надходження) отруйних (токсичних) газів понад гранично допустимих концентрацій (отруйну дію) або зниження вмісту кисню до небезпечної для життя межі (задушлива дія)

Основним і найбільш небезпечним отруйним газом є оксид вуглецю, що утворюється в небезпечних концентраціях при пожежах та вибухах газу і вугільного пилу. Оксид вуглецю взаємодіє з гемоглобіном крові і утворює карбоксігемоглабін, що не володіє здатністю переносити кисень до тканин організму, викликаючи тим самим ферментні порушення тканинного дихання і ін. При гострих отруєннях спостерігається головний біль, запаморочення, нудота, блювота, слабкість, задишка, прискорений пульс, втрата свідомості, судоми, кома і (або) смертельний результат.

Зменшення вмісту кисню до небезпечних меж відбувається при газодинамічних явищах, в основному при раптових викидах вугілля і газу, а також при вибухах газу і пилу і пожежах. Зниження вмісту кисню нижче 16-15% призводить до кисневого голодування клітин головного мозку - аноксии. При цьому дихання і пульс частішають, а головне - знижується здатність мислення. При вмісті кисню 10-8% втрачається свідомість, потім припиняється дихання, а через 5-7 хвилин внаслідок незворотних змін в клітинах головного мозку настає смерть. Головна особливість аноксии полягає в суб'єктивній

бессиптомно - людина не відчуває її прояви і не вживає заходів до свого порятунку.

Для захисту органів дихання при аваріях на вугільних шахтах застосовується і розроблений до застосування шахтний саморятівник ШСС-СІ-30

Так як ШСС передбачений для разового застосування і має обмежений термін зберігання і постає питання про райыоналызацію їх виробництва. Теплофізичний аспект роботи полягає в розробці теплообмінників для ШСС. Завдання полягає в тому, щоб, з огляду на вартість матеріалів і їх ефективність при охолодженні, створити раціональний варіант теплообмінника, який буде відповідати всім комерційним умовам.

РОЗДІЛ 1

1.1 Загальні положення

Саморятівник - засіб індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), і іноді зору людини. Призначений для забезпечення виходу людей з небезпечної і потенційно небезпечної атмосфери (з нестачею кисню, і / або забрудненої шкідливими речовинами) в разі аварії, пожежі, інших надзвичайних ситуаціях. Відмінною особливістю саморятівника від інших ЗІЗОД є те, що він часто виготовляється як одноразовий виріб, і може розміщуватися в спеціальній упаковці, що забезпечує збереження при постійній шкарпетці працівником, або зберіганні поруч з робочим місцем (під рукою).[1]

Також для евакуації можуть використовуватися і будь-які інші ЗІЗОД, здатні забезпечити необхідний рівень захисту від очікуваних шкідливих і небезпечних факторів, якщо це дозволяють умови роботи і характер потенційної НС.

Саморятівники є фільтруючими засобами індивідуального захисту органів дихання з фільтрами від газів, парів і (або) аерозолів.

Саморятівники поділяють на марки:

- універсальні;
- спеціальні.

Залежно від захисних властивостей саморятівники поділяють на класи:

- 1 - саморятівники низької ефективність;
- 2 - саморятівники середньої ефективності;
- 3 - саморятівники високої ефективність.[2]

У комплект саморятувальника в різній комбінації можуть входити: шолом (капюшон), шолом-маска, маска, напівмаска, підмасочник, загубник, загубник - ротової обтюратор, незнімні і знімні фільтри (ФПК, ФПЕ, ФПС) від газів, парів і (або) аерозолів, клапани вдиху і видиху, носовий затискач, система кріплення, сумка, футляр або пакет для зберігання і перенесення. Шолом (капюшон),

шолом-маска або маска саморятувальника можуть виготовлятися з непрозорого або прозорого захисного матеріалу.

Саморятівник без лицьової частини або саморятівник з лицьовою частиною у вигляді напівмаски може використовуватися для захисту органів дихання людини при евакуації із зони хімічного зараження, радіоактивного забруднення і пожежі, якщо концентрація НХР, продуктів горіння і радіоактивних речовин не виявляє подразнюючої дії шкірних покривів.

У комплект саморятівників без лицьової частини або з лицьовою частиною у вигляді напівмаски повинні входити ті,що не б'ються, негорючі, закриті герметичні захисні окуляри з хімічно стійким світлофільтром.

У інструкції по застосуванню саморятівника або на пакеті (футлярі), в який він упакований, повинні бути вказані максимальні концентрації небезпечних хімічних і радіоактивних речовин, при яких можливо його використання за призначенням.

Матеріали, з яких виготовляється саморятівник, повинні мати дозволи до застосування, видані органами охорони здоров'я України.

Саморятівник застосовують при:

- об'ємній частці кисню в повітрі не менше 17%;
- відносній вологості повітря до 98%.

Саморятівники можуть виготовлятися для захисту від конкретних небезпечних хімічних речовин.[3][4]

Таблиця 1.1

Загальні вимоги до саморятівників[5]

Найменування показника	Значення показника для саморятівника класса		
	1	2	3
1. Концентрація НХР, при якій забезпечується захист в саморятівниках, мг / м, не менше:			
аміак	300	600	1400
ангідрид сірчистий, ацетонітрил, сірководень	100	200	700
водню хлорид, кислота соляна концентрована, метил-акрілат, метилу хлорид, тріметіламін	15	75	400
азоту діоксид, ацетонціангідрін, водню бромід, диметиламин, метилу бромід, метиламін, метилмеркаптан, сірковуглець, хлор, етилену оксид, етилмеркаптан	30	40	90
акрилонитрил, формальдегід, фосген, хлорпікрин, хлорціан	10	20	50
акролеин, водню ціанід, водень миш'яковистий, водень фтористий, фосфор треххлорістий, фтор, етіленсульфід	10	10	10
фосфору хлороксид, етиленімін	0,4	1	2
монооксид вуглецю	700	1500	3000
2. Час захисної дії по НХР при зазначених вище концентраціях, хв, не менше	20	20	20

Продовження таблиці 1.1

3. Коефіцієнт проникності фільтрующе-поглинає системи по масляному туману дисперсностью від 0,28 до 0,32 мкм,%, не більше	2	1	0,1
4. Коефіцієнт підсосу під лицьову частину масляного туману дисперсностью від 0,28 до 0,32 мкм,%, не більше	6	2	1
5. Коефіцієнт проникності по радіоактивних речовин при концентрації парів йоду-131 і йодистого метилу 10 Кі / м,%, не більше	2	1	0,1
6. Опір постійному повітряному потоку при об'ємній витраті 30 дм / хв, Па (мм вод. Ст.), Не більше:			
на вдиху	147 (15)	186 (19)	284 (29)
на видиху:			
з клапанами видиху	88 (9)	98 (10)	206 (21)
без клапанів видиху	147 (15)	186 (19)	284 (29)
7. Час перекладу саморятувальника з положення "в упаковці" в положення "бойове", з, не більше	20	20	30
8. Об'ємне вміст діоксиду вуглецю у вдихуваному повітрі,%, не більше	2,5	2,0	2,0
9. Маса саморятувальника, кг, не більше			
в упаковці	0,4	0,5	1,3
без упаковки	0,3	0,4	0,8
10. Температурний інтервал застосування, ° С:			
для захисту від НХР і радіоактивних речовин	-10 +60	-10 +60	-40 +60

Продовження таблиці 1.1

для захисту від продуктів горіння і при пожежі	від 0 до +60	від 0 до +60	від 0 до +60

Час захисної дії саморятівників, ухваленого виробником для захисту від груп НХР, піддають випробуванням за тест-речовин для цих груп відповідно до таблиці 2.

Таблиця 1.2

Тест речовин [6]

Марка саморятівника	Тест-речовина	Концентрація тест-рідини в повітрі, мг/м
Універсальний	аміак ангідрид сірчистий водню ціанід монооксид вуглецю сірководень хлор циклогексан	300 100 10 700 100 30 1000
Спеціальний	Перевіряється по конкретному НХР або радіоактивного речовини відповідно до таблиці 1, пункти 1, 5, або ухваленого виробником	Не менш концентрацій, зазначених в таблиці 1, пункти 1, 5, або ухваленого виробником

1.2 Саморятівник СІ-30

1.2.1 Загальна характеристика саморятівника СІ-30

Сі-30 (він же Сі-40, Рудар, ROXY40) - засіб індивідуального захисту органів дихання на хімічно пов'язаному кисні (KO2). Використовується для

евакуації шахтарів в разі виникнення атмосфери, непридатної для дихання (дим токсичні гази, нестача кисню і т.д.). Представлений на рис.1



Рис.1 Зовнішний вид саморятівника СІ-30

Особливості саморятівника:

-Компактний і ергономічний;

-Час включення тренованого користувача до 7 сек;

-Автоматичний стартер, який спрацьовує при зриві кришки і виділяє 6л кисню;

-Антизапітніває протидимні окуляри (опція);

-Індикатор вологості для щоденних перевірок герметичності (опція)

-Швидкороз'ємна пряжка на шийному ремені для швидкого перемикання;

-Модифікації сертифіковані в ЄС, ТС, ПАР, Австралії, Індії та Україні.

1.2.2 Технічні дані саморятівника СІ-30

Таблиця 1.3

Технічні дані

Номінальний час захисного дії (ВЗД) при легеневій вентиляції	35 л / хв - 30 хв (евакуація) 10 л / хв - 90 хв (очікування допомоги)
Максимальна температура на вдиху	50°C
Середнє значення CO2	1,15%
Опір диханню, max	0,7 kPa
Вага	2,46 kg
Розміри	203x202x116 мм
Метод носіння	на поясному ремені
Термін служби	10 років
Термін експлуатації	5 (10) років
Схема дихання	маятникова

Користувач, який біжить або виконує інше інтенсивне фізичне навантаження поглинає значно більше кисню і виділяє більше CO2, ніж користувач, який знаходиться в стані спокою!

Залежно від фізичної кондиції і здоров'я користувача ВЗД може зменшуватися, але у будь-якому випадку становить не менше 30 хв.

1.2.3 Принцип роботи

Процес регенерації повітря в саморятівники:

$2KO_2 + CO_2 = K_2CO_3 + 3 / 2O_2 + 180$ кДж;

$2KO_2 + H_2O = 2KOH + 3 / 2O_2 + 39$ кДж;

$2KOH + CO_2 = K_2CO_3 + H_2O + 141$ кДж;

Хімічно зв'язаний кисень абсорбує CO_2 і H_2O і виділяє O_2 і тепло!

При активації пусковий пристрій (поз.1) генерує в дихальний мішок 6 л кисню;

При видиху газодихальна суміш (ГДС) проходить через тепловлагообменное пристрій (ТВО - поз.2), дихальну трубку (поз.3) в регенеративний картридж (поз.4);

CO_2 і волога абсорбуються, а O_2 виділяється в регенеративної картриджі;

Потім ГДС надходить в дихальний мішок (поз.5);

Надлишкова ГДС скидається через клапан надлишкового тиску (поз.6);

При вдиху ГДС проходить шлях у зворотному напрямку і на дозбагачення киснем в регенеративному картриджі.

Схема роботи саморятівника СІ-30 представлена на рис.2.

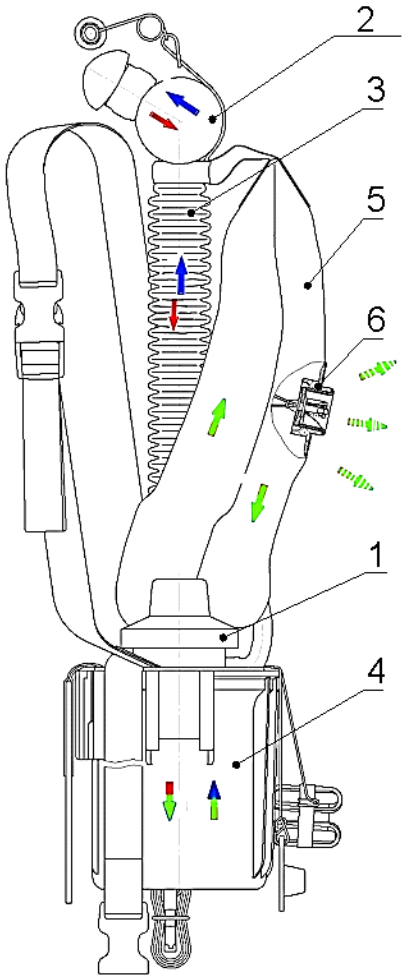


Рис.2 Принцип роботи саморятівника СІ-30

1.2.4 Умови експлуатації саморятівника СІ-30

Таблиця 1.4

Умови експлуатації саморятівника СІ-30

Температура експлуатації	-20 °С +60 °С
Відносна вологість (при +35 0С)	до 100%
Тиск навколишнього середовища	до 133,3 kPa

Саморятівники повинні зберігається при температурі +5 ° С +40 ° С і до 80% відносної вологості (при +25 ° С).

Навколишнє повітря не повинно бути вільним від агресивних субстанції, які можуть викликати корозію матеріалів. Упаковки з саморятівниками повинні бути захищені від попадання прямих сонячних променів і знаходиться на відстані не менше 1 м від джерел тепла.

Між змінами саморятівники повинні зберігатися в ламповій кімнаті при температурі +5 ° С +40 ° С і до 80% відносної вологості (при +25 ° С).

Заборонено скидати в купу саморятівники.

Заборонено зберігання придатних саморятівників разом зі списаними (або використаними за призначенням).

Саморятівники можуть транспортуватися будь-яким видом транспорту в закритих сухих відсіках при температурі -50 ° С +50 ° С і до 100% відносної вологості (при +25 ° С).

1.2.5 Обслуговування саморятівника СІ-30

Спеціального технічного обслуговування при експлуатації і зберіганні саморятівників не потрібно. Обслуговування полягає в:

- щоденних перевірках;
- періодичних контролях.

Щоденні перевірки - візуальна інспекція перед і після робочою зміни, які включають:

чистку саморятівника від пилу і бруду;

перевірку кольору індикатора герметичності;

перевірку цілісності всіх зовнішніх компонентів.

Періодичні контролі повинні бути проведені:

1 раз в 3 місяці для саморятівників в експлуатації,

1 раз в 6 місяців для саморятівників в пунктах перемикання.

Періодичні контролі включають:

візуальний огляд і перевірку цілісності зовнішніх компонентів;

перевірка індикатора герметичності.

перевірку герметичності на установках УПГ або ПГС надлишковим тиском 5 кПа (500 мм вод ст.). Саморятівник вважається герметичним і придатним до експлуатації якщо падіння тиску не перевищує 400 Па (40 мм вод ст.).

1.2.6 Спеціальні вимоги до саморятівників

Саморятівник повинен мати максимальні:

а) час захисної дії на одиницю маси;

б) надійність при експлуатації і використанні;

в) міцність при зберіганні і експлуатації;

г) стійкість до змін навколишнього середовища;

Саморятівник повинен мати максимальні:

а) вагу і розміри;

б) час включення;

в) погіршення робочих характеристик зі збільшенням терміну служби.

1.3 Теплофізичні проблеми саморятівника СІ-30

Хімічний процес в патроні - екзотермічний (з виділенням тепла).

Підвищення температури користувач відчуває на корпусі апарату і в дихальній суміші. Для захисту від високої температури на корпусі передбачений теплозахисний екран.

Нагрівання свідчить про нормальну роботу саморятівника!

Нижче представлені знімки тепловізора, при випробуваннях саморятівника на штучних легенях:

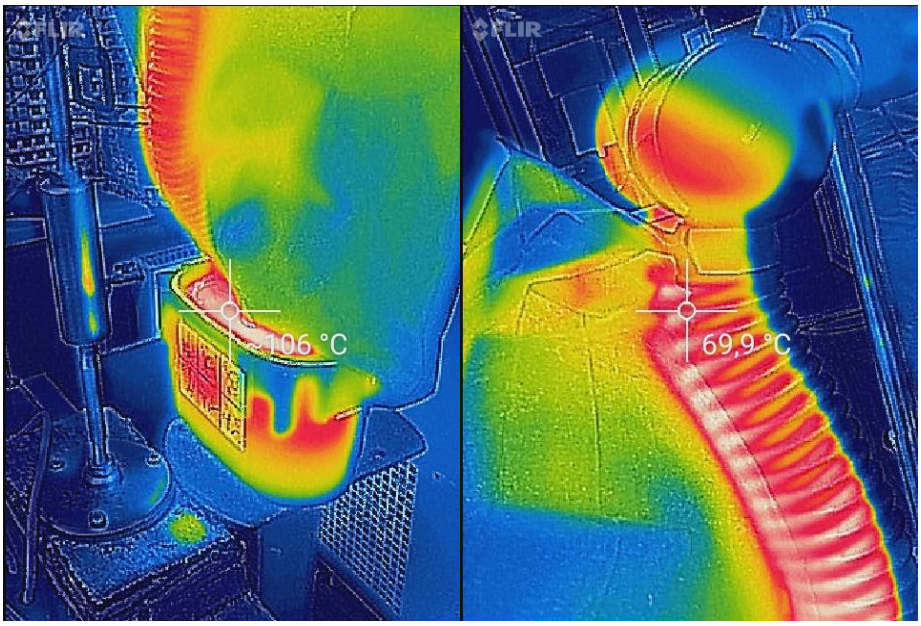


Рис 4. Нагрів саморятівника

Як можна помітити зі знімків, температура корпусу регенеративного картриджа може досягати понад 100 ºС, а дихальної трубки 70 ºС.

Також добре помітна дія тепловологообмінного пристрою (ТВО),

яке знижує температуру газодихальної суміші на вході до споживача, роблячи її не вище 50 ºС.

У свою чергу, корпус саморятівника і теплозахисний екран оберігають користувача від опіків.

Зниження температури в саморятівниках - це один з найважливіших аспектів при удосконаленні і створенні нових саморятівників.[4]

Постановка задачі

1. Розробка моделі та оптимізація ТВО для саморятівника СІ-30.
2. Отримання температурних результатів симуляції.
3. Упорядкування результатів та визначення оптимальної конструкції ТВО з урахуванням економічної складової.

РОЗДІЛ 2

2.1 Математична модель.

Визначення температурного поля в твердому тілі і полів швидкостей і температур рідини або газу, яка його омиває, шляхом вирішення системи диференціальних рівнянь за певних умов однозначності є предметом рішення прямої спряженої задачі тепло переносу. Для цього використаємо наступні рівняння [3]:

- рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho v) = 0 \qquad (2.1)$$

де ρ – густина; t – час; v – вектор швидкостей потоку;

- рівняння руху в’язкої ньютонівської рідини Нав'є-Стокса :

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = -grad\left(p + \frac{2}{3}\mu_{\text{еф}} div(v)\right) + 2div\left(\mu_{\text{еф}} S'\right) + F_v \qquad (2.2)$$

де ρ – густина; v – вектор швидкостей; $\mu_{\text{еф}}$ – ефективна динамічна в’язкість; S' – тензор швидкостей деформації; F_v – вектор об’ємних сил;

- рівняння енергії:

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} = -pdiv(v) + \mu_{\text{еф}} \Phi(v) + q \qquad (2.3)$$

де U – питома внутрішня енергія; $\mu_{\text{еф}}$ – ефективна динамічна в’язкість; v – вектор швидкостей; $\Phi(v)$ – дисипативна функція, що характеризує частину механічної енергії, що в результаті подолання сил в'язкості при русі рухомого середовища перетвориться в теплоту; ρ – густина; q – кількість теплоти, яка підводиться до одиниці маси за одиницю часу;

Усі рівняння записано в загальному вигляді. Зупинимося детальніше на особливостях математичної моделі при розгляді теплофізичних процесів, що відбуваються під час дихання людини через шахтарський саморятівник плечового типу, особливої уваги займуть процеси, які відбувають в ТВО.

В даному випадку в ролі об'ємних сил F_v, виступає сила тяжіння, яка за рахунок архімедівських сил викликає і рух повітря в ТВО. Тому рівняння (2.2) приймає вигляд

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = -grad\left(\rho + \frac{2}{3}\mu_{\text{еф}} div(v)\right) + 2div\left(\mu_{\text{еф}} S'\right) + \rho g \qquad (2.4)$$

де g – прискорення вільного падіння;

У ТВО в якості рухомого середовища виступає повітря при відносно невеликих значеннях тиску і температур, що дозволяє їх розглядати як ідеальний газ, тобто прийняти залежність для питомої внутрішньої енергії:

$$U = c_v T \qquad (2.5)$$

а в якості рівняння стану використовувати рівняння Менделєєва-Клапейрона

$$\rho = \frac{p}{RT} \qquad (2.6)$$

де c_v – питома теплоємність при постійному об'ємі; T – температура газу; R – газова постійна;

А оскільки джерела тепла в повітрі відсутні, рівняння енергії (2.3) можна записати так:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} = div(\lambda_{\text{еф}} gradT) \qquad (2.7)$$

де c_p– питома теплоємність при постійному тиску;$\lambda_{\text{еф}}$ – ефективна теплопровідність;

Для твердих тіл використовується ще рівняння теплопровідності:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = div\left(\lambda_{\text{еф}} gradT\right) + q_v \qquad (2.8)$$

В якості моделі турбулентності можна використовувати k-ε-модель, яка дуже точна в процесі моделювання турбулентних течій при наявності теплообміну в багатьох технічних пристроях. Модель включає в себе два диференціальних рівняння переносу: одне - для турбулентної кінетичної енергії k та друге - для швидкості її дисипації ε. Самі рівняння:

$$\frac{\partial(pk)}{\partial t} + div(\rho kv) = div((\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right) gradk) + G_k + G_b - \rho\varepsilon \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial(p\varepsilon)}{\partial t} + div(\rho\varepsilon v) = div\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right) grad\varepsilon\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{3\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.10)$$

де G_k– член, що описує генерацію турбулентної кінетичної енергії, спричиненої наявністю градієнтів швидкості (відповідно до гіпотези Буссінеска $G_k = \mu_t S^2$); G_b– член, що описує генерацію турбулентної кінетичної енергії, спричиненої дією архімедівських сил (для випадку ідеального газу):

$$G_b = -\frac{\mu_t}{\rho Pr_t}(g_x\frac{\partial p}{\partial x} + g_y\frac{\partial p}{\partial y} + g_z\frac{\partial p}{\partial z}) \quad (2.11)$$

$C_{1\varepsilon}C_{2\varepsilon}C_{3\varepsilon}$ – це константи моделі, які дорівнюють відповідно 1,44, 1,92, 0,09; $\sigma_k = 1{,}0$ – це турбулентне число Прандтля для k; $\sigma_\varepsilon = 1{,}3$ – турбулентне число Прандтля для ε.

У рівняннях (2.9) та (2.10) опущений член, який відповідає за дисипацію руйнування внаслідок великих чисел Маха.

Турбулентна складова динамічної в’язкості визначаться наступним твердженням:

$$\mu_t = 0{,}09\rho\frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.12)$$

а турбулентна складова теплопровідності дорівнює наступному:

$$\lambda_t = \frac{c_p\mu_t}{Pr_t} \quad (2.13)$$

де Pr_t =0,85 – турбулентне число Прандтля.

Всі записані вище диференціальні рівняння наведені для нестаціонарного випадку. Теплові процеси в досліджуваному об'єкті можна розглядати як квазістаціонарні і при моделюванні виключити з диференціальних рівнянь часткові похідні по часу. Тому рівняння (2.1), (2.4), (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) можна записати в такому вигляді:

$$div(\rho v) = 0 \quad (2.14)$$

$$\rho\big(v \times grad(v)\big) = -grad\left(p + \frac{2}{3}\mu_{\text{еф}} div(v)\right) + 2div\big(\mu_{\text{еф}} S'\big) + \rho g$$

(2.15)

$$c_p\rho = (v \times gradT) - v \times gradp = div(\lambda_{\text{еф}} gradT) \quad (2.16)$$

$$div\big(\lambda_{\text{еф}} gradT\big) + q_v = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial(pk)}{\partial t} + div(\rho k v) = div(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right) gradk) + G_k + G_b - \rho\varepsilon \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial(p\varepsilon)}{\partial t} + div(\rho\varepsilon v) = div\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right) grad\varepsilon\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{3\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$$

(2.19)

В ТВО при моделюванні теплових процесів доцільно використовувати декартову систему координат. Позначивши декартові компоненти вектора швидкості v = (u, v, w) рівняння (2.14) - (2.19) можна переписати у вигляді

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = 0, \quad (2.20)$$

$$\rho u\frac{\partial u}{\partial x} + \rho v\frac{\partial u}{\partial x} + \rho w\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\partial\rho}{\partial x} + 2\frac{\partial}{\partial x}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}) -$$

$$-\frac{2}{3}\frac{\partial}{\partial x}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x}),$$

$$\rho u\frac{\partial v}{\partial x} + \rho v\frac{\partial v}{\partial x} + \rho w\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial\rho}{\partial y} + 2\frac{\partial}{\partial y}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z}) -$$

$$-\frac{2}{3}\frac{\partial}{\partial y}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x}),$$

$$\rho u\frac{\partial w}{\partial x} + \rho v\frac{\partial w}{\partial x} + \rho w\frac{\partial w}{\partial x} = -\rho g - \frac{\partial\rho}{\partial z} + 2\frac{\partial}{\partial z}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}) - -\frac{2}{3}\frac{\partial}{\partial z}(\mu_{\text{еф}}\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x}),$$

(2.21)

$$c_p\rho\left(u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial x} + w\frac{\partial T}{\partial x}\right) - \left(u\frac{\partial\rho}{\partial x} + v\frac{\partial\rho}{\partial x} + w\frac{\partial\rho}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{\text{еф}}\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{\text{еф}}\frac{\partial T}{\partial y}\right) +$$

$$+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{\text{еф}}\frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right) + q_v = 0\,, \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial(\rho k u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho k u)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho k u)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial z}\right)+G_k++G_b-\rho\varepsilon \quad ,$$

(2.24)

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right)$$

$$+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon}G_b)-C_{3\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}, \qquad (2.25)$$

Таким чином, під час моделювання теплових процесів в ТВО необхідно розглядати систему диференціальних рівнянь в приватних похідних (2.20) - (2.25), що замикають співвідношенння (2.6), (2.12), (2.13) Дана математична модель дозволяє знайти скалярні поля тиску, температури і щільності, а також векторне поле швидкостей. Для дослідження ТВО були використанні наступні матеріали: Пластик (ρ = 1200$\frac{kg}{m^3}$; c= 1500$\frac{J}{kg*K}$; λ =1$\frac{W}{m*K}$), алюміній (ρ = 2700$\frac{kg}{m^3}$; c= 903$\frac{J}{kg*K}$; λ =236$\frac{W}{m*K}$), мідь (ρ = 8900$\frac{kg}{m^3}$; c= 385$\frac{J}{kg*K}$; λ =394$\frac{W}{m*K}$) бронза з додатком алюмінія (ρ = 8800$\frac{kg}{m^3}$; c= 420$\frac{J}{kg*K}$; λ =56$\frac{W}{m*K}$), латунь (ρ = 8500$\frac{kg}{m^3}$; c= 377$\frac{J}{kg*K}$; λ =93$\frac{W}{m*K}$), нержавіюча сталь (ρ = 7800$\frac{kg}{m^3}$; c= 500$\frac{J}{kg*K}$; λ =16$\frac{W}{m*K}$) [6]

2.2 Способи зниження температури саморятівника.

Основним методом зниження температури дихальної суміші всередині ТВО є проходження її через решітку, що знаходиться всередині ТВО. Внаслідок проходження через решітку, потік дихальної суміші переходить в турбулентний режим течії та збільшує свою швидкість. Згідно з рівнянням Бернуллі(2.26), потік збільшуючи свою швидкість втрачає тиск. Зменшення тиску потоку,

згідно за рівнянням Мєндєлєєва-Клайперона(2.27), зменшує температуру потоку.

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = const \quad (2.26)$$

Де ρ - щільність рідини,

v - швидкість потоку,

h - висота, на якій знаходиться розглянутий елемент рідини,

p - тиск в точці простору, де розташований центр маси елемента, що розглядається рідини,

g - прискорення вільного падіння.

$$PV = \nu RT \quad (2.27)$$

Де P – тиск,

V – об’єм,

ν – кількість речовини,

R – універсальна газова постійна,

T – температура.

Залишкове тепло проходить через стінки ТВО і віддається в оточуюче повітря.

Більше зменшення температури можна отримати завдяки використання матеріалів, шо мають різні теплотехнічні властивості, та різні варіанти решіток.[7]

РОЗДІЛ 3

3.1 Елементи ТВО

Для експерименту за допомогою програми математичного моделювання було збудовано корпус ТВО.

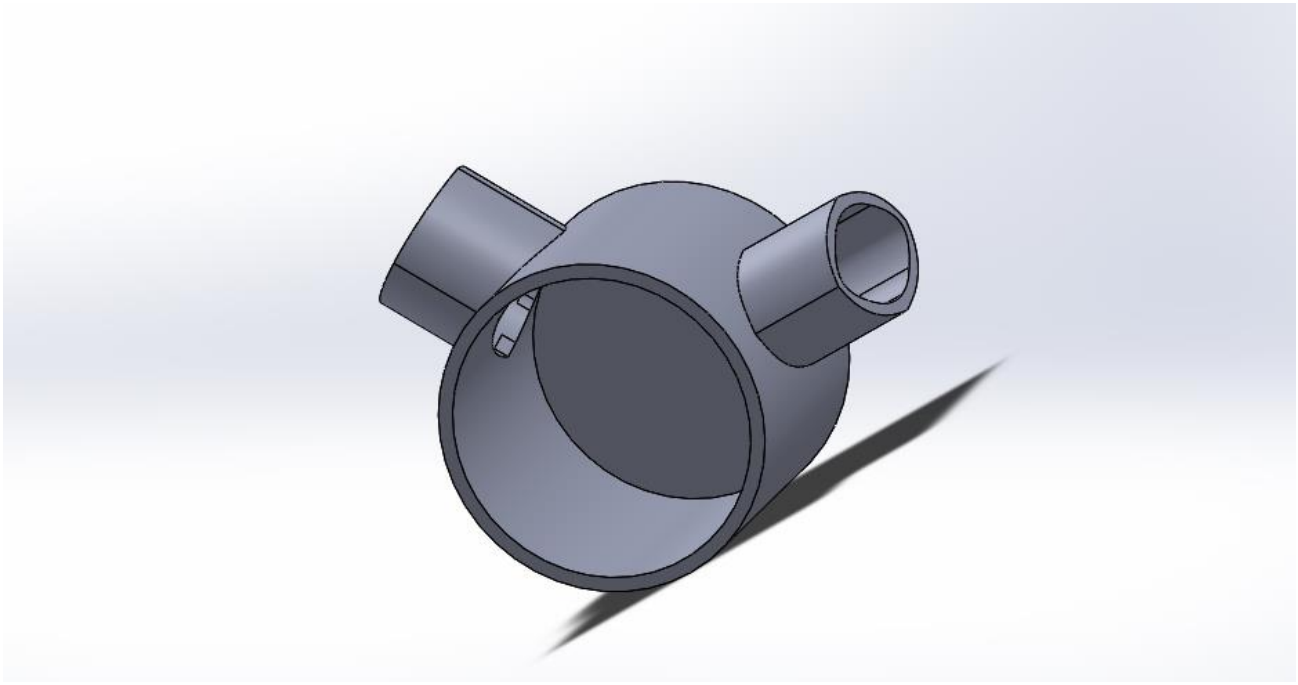


Рис.3.1.1 Вид корпуса ТВО

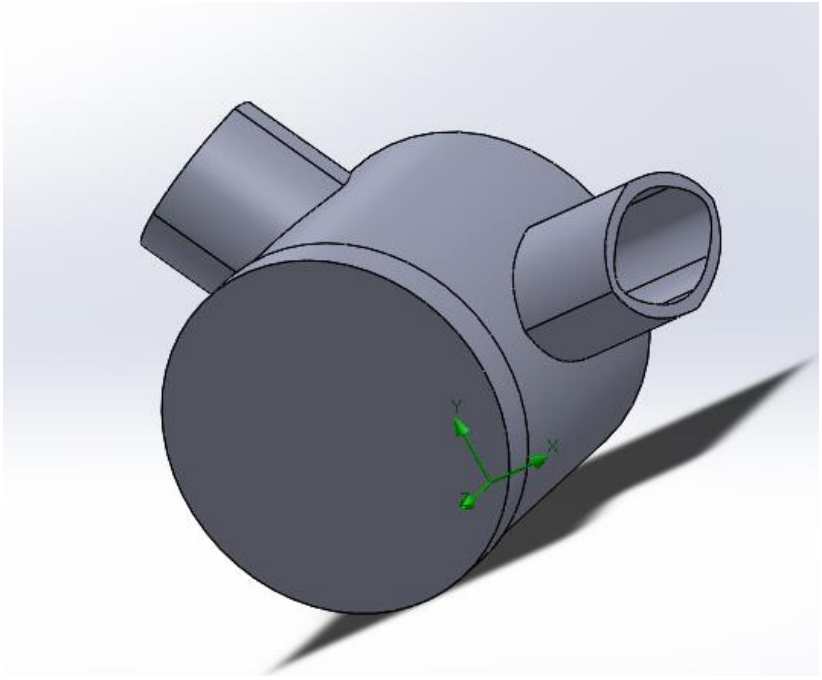


Рис. 3.1.2 Загальний вид ТВО

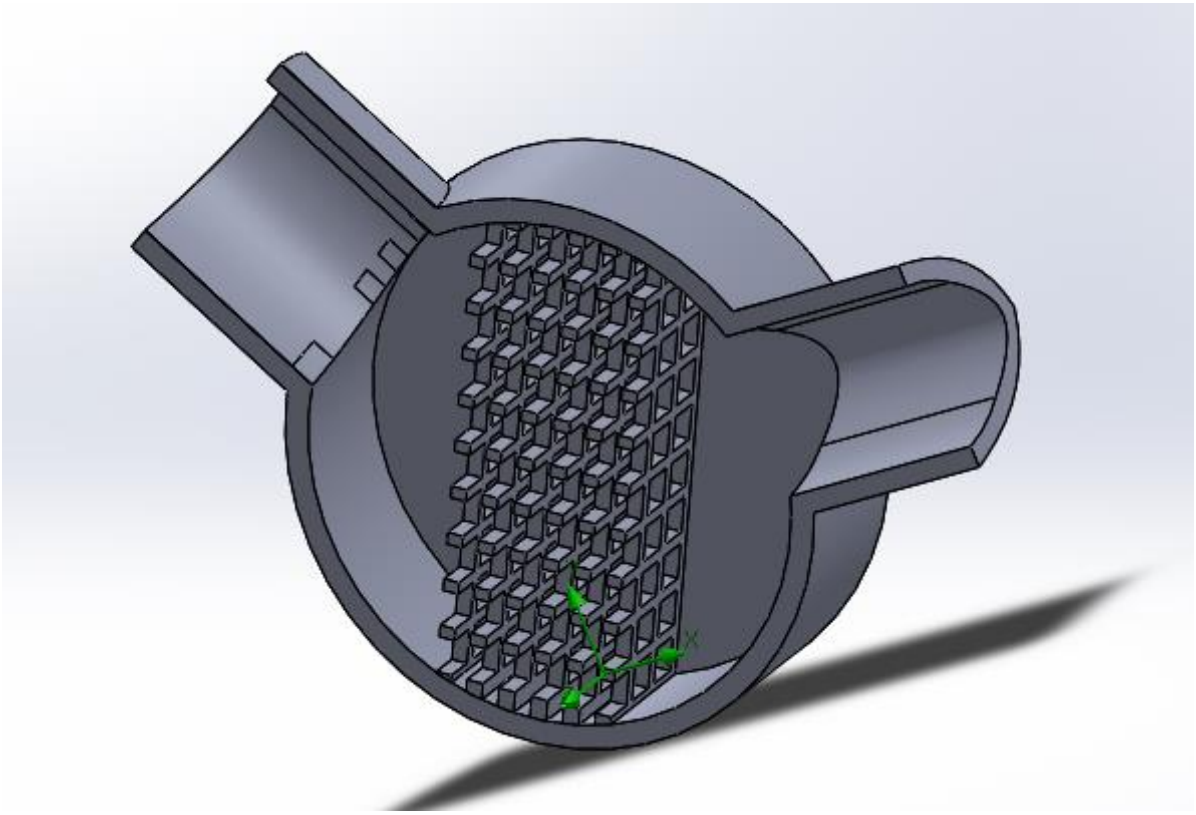


Рис. 3.1.3 переріз ТВО

Було збудовано декілька варіантів решіток.

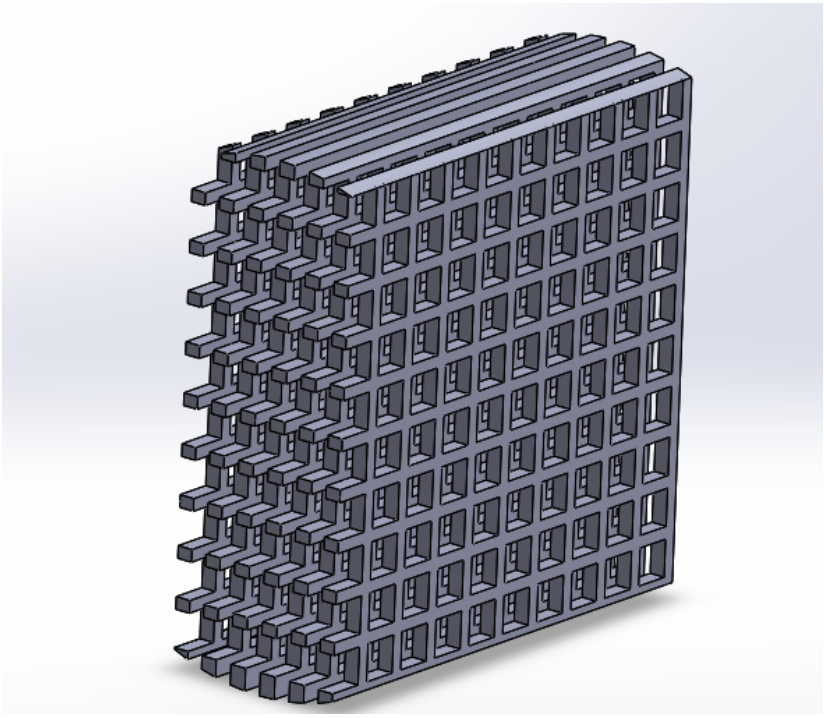


Рис. 3.1.4 Решітка №1

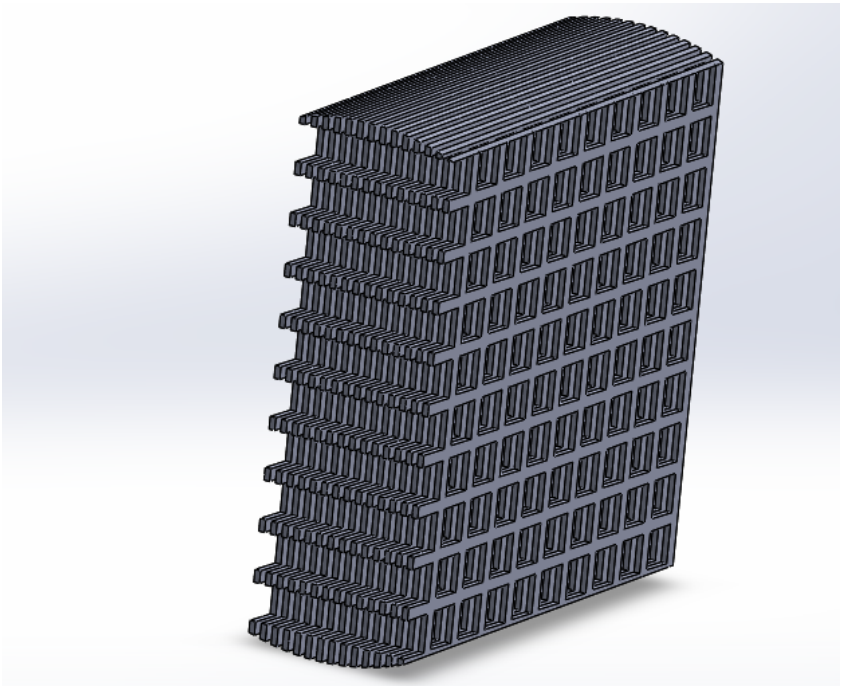


Рис. 3.1.5 Решітка №2

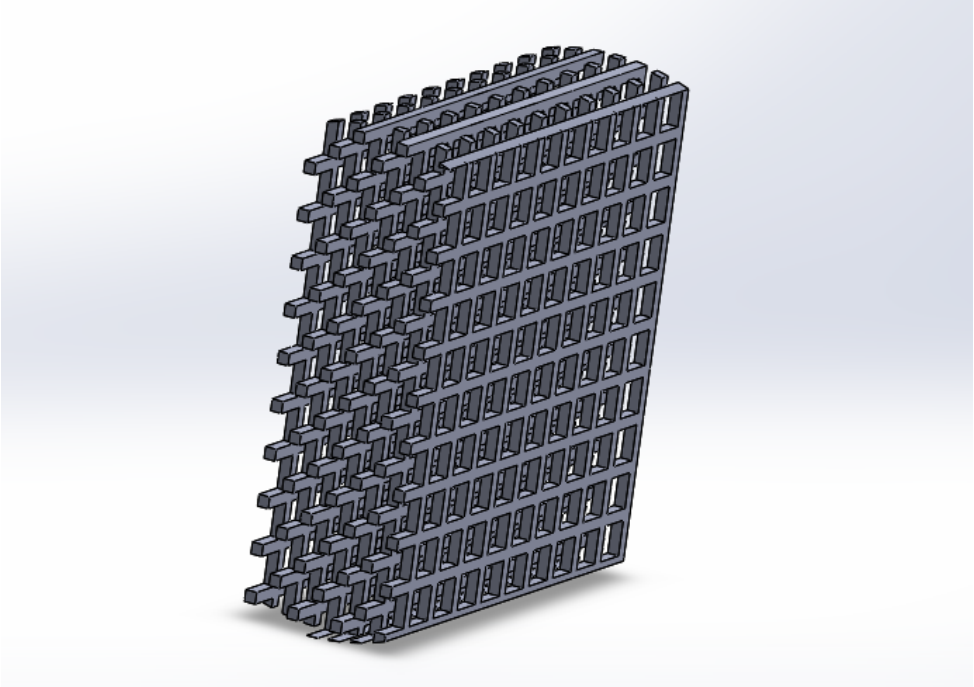


Рис. 3.2.6 Решітка№3

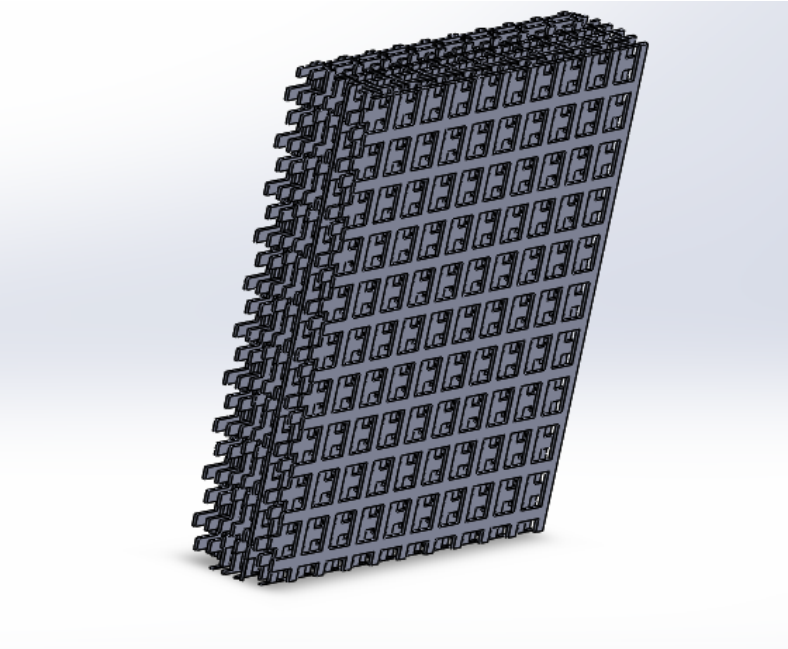


Рис. 3.2.7 Решітка №4

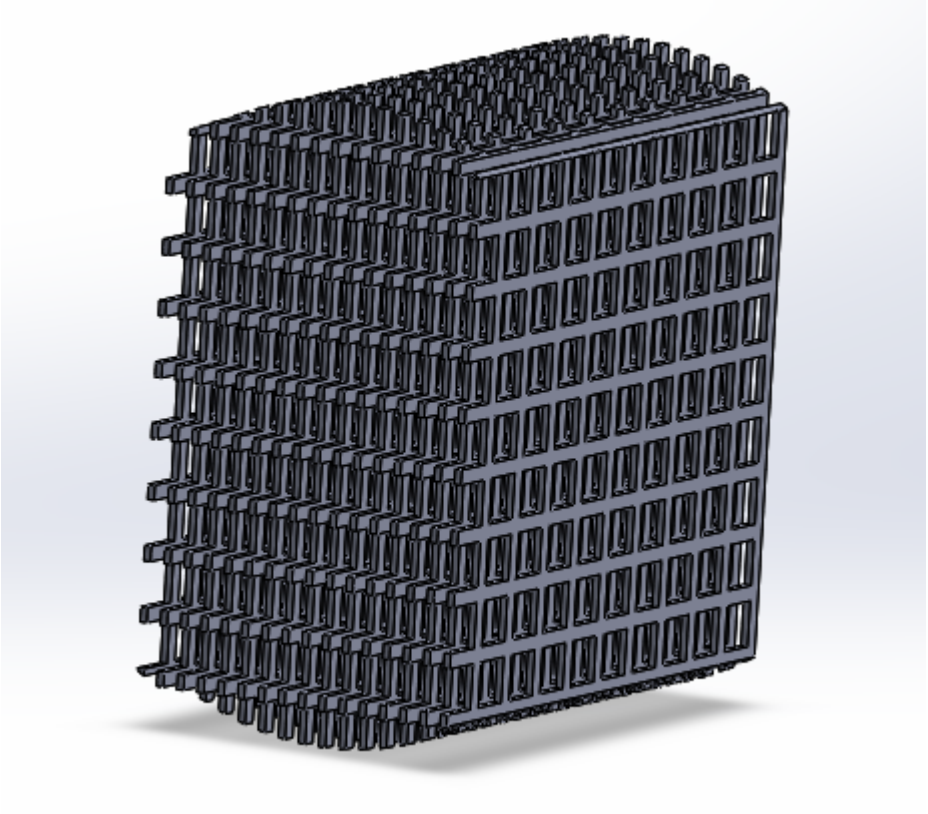


Рис. 3.2.8 Решітка №5

3.2 Результати експерименту

Робоча суміш в експерименті - кисень

Для проведення експерименту було використано такі граничні умови

Таблиця 3.1.

Граничні умови

Вхідний об’ємний потік	Q_1=0.00058 m^3/s при T=60°C
Вихідний об’ємний потік	$Q_2 = Q_1$ =0.00058 m^3/s
Статичний тиск	101 325 Па при T=60°C
Зовнішня стінка	α = 5 $W/m^2/K$ при $T_{зов}$ = 20 °C

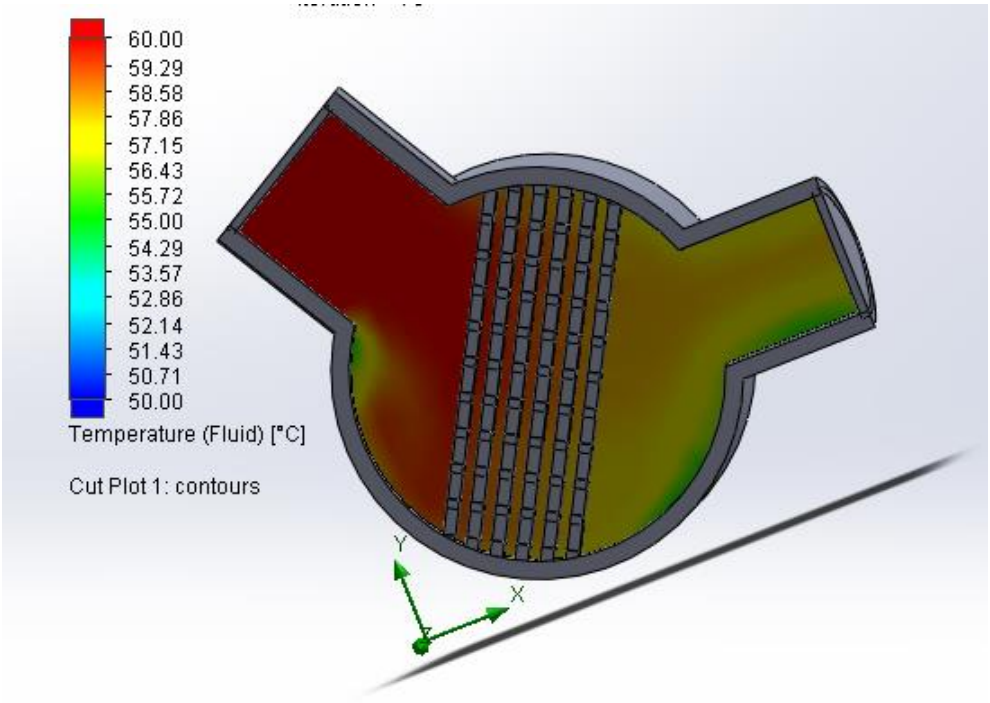


Рис.3.2.1 Температурне поле ТВО з решіткою №1

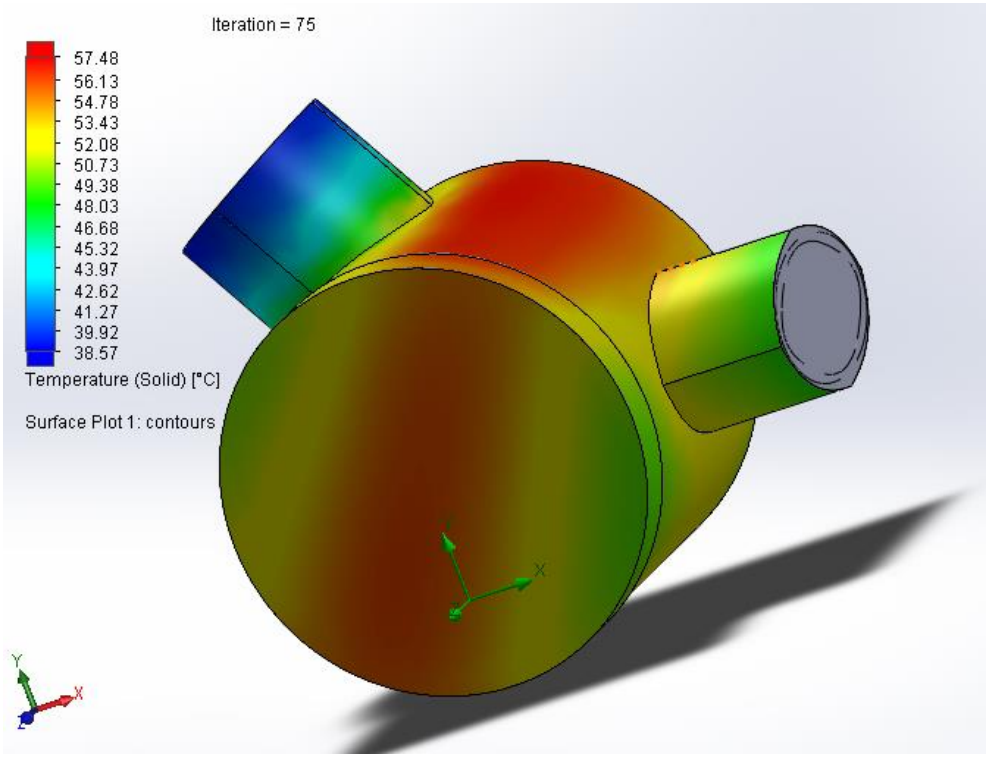


Рис. 3.2.2. Температура поверхні ТВО з решіткою №1

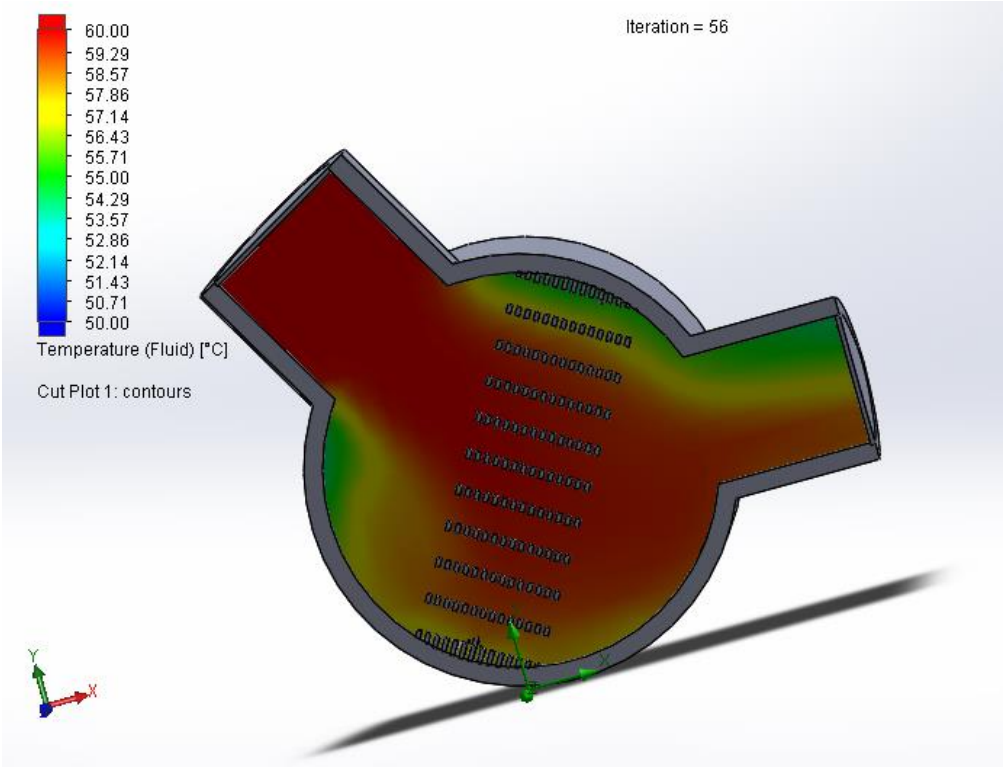


Рис.3.2.3 Температурне поле з решіткою №2

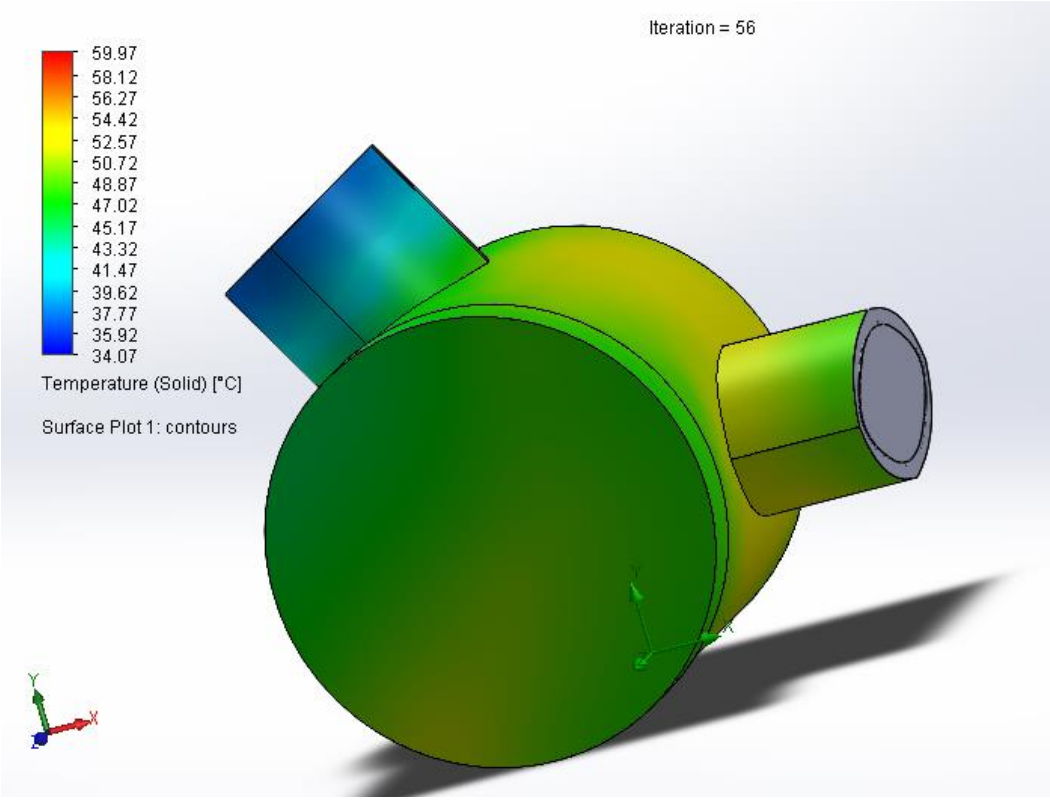


Рис.3.2.4 Температура поверхні з решіткою №2

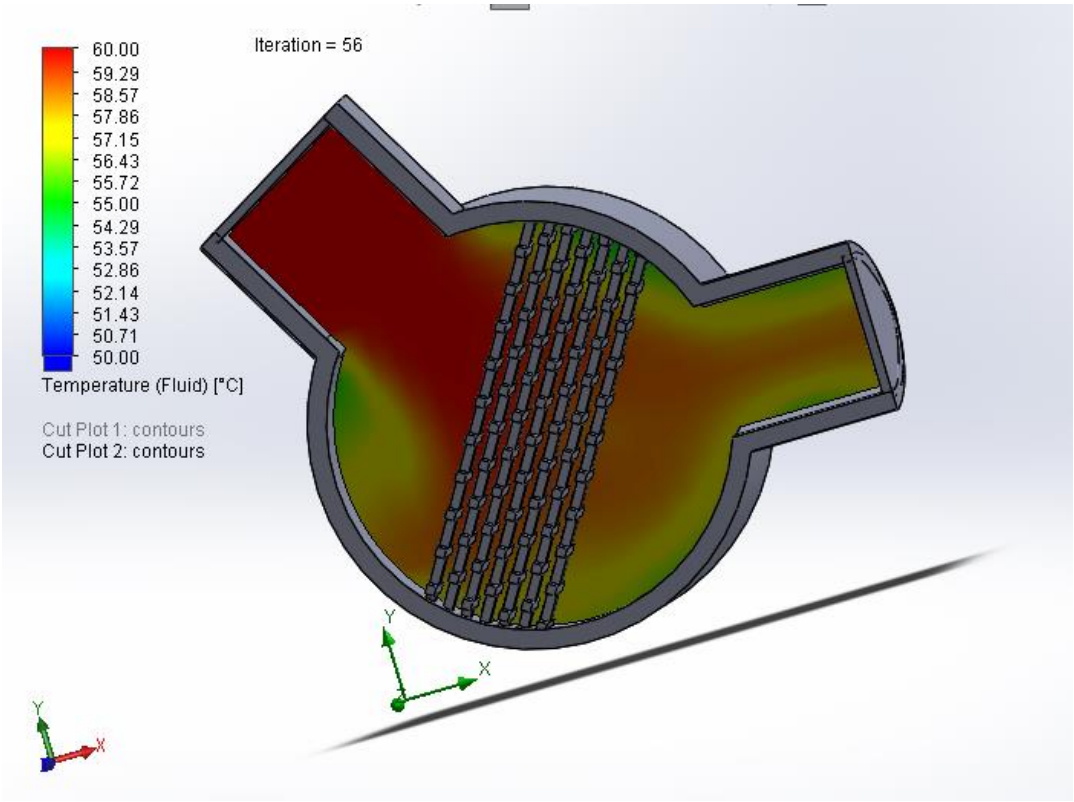


Рис. 3.2.5 Температурне поле зрешіткою №3

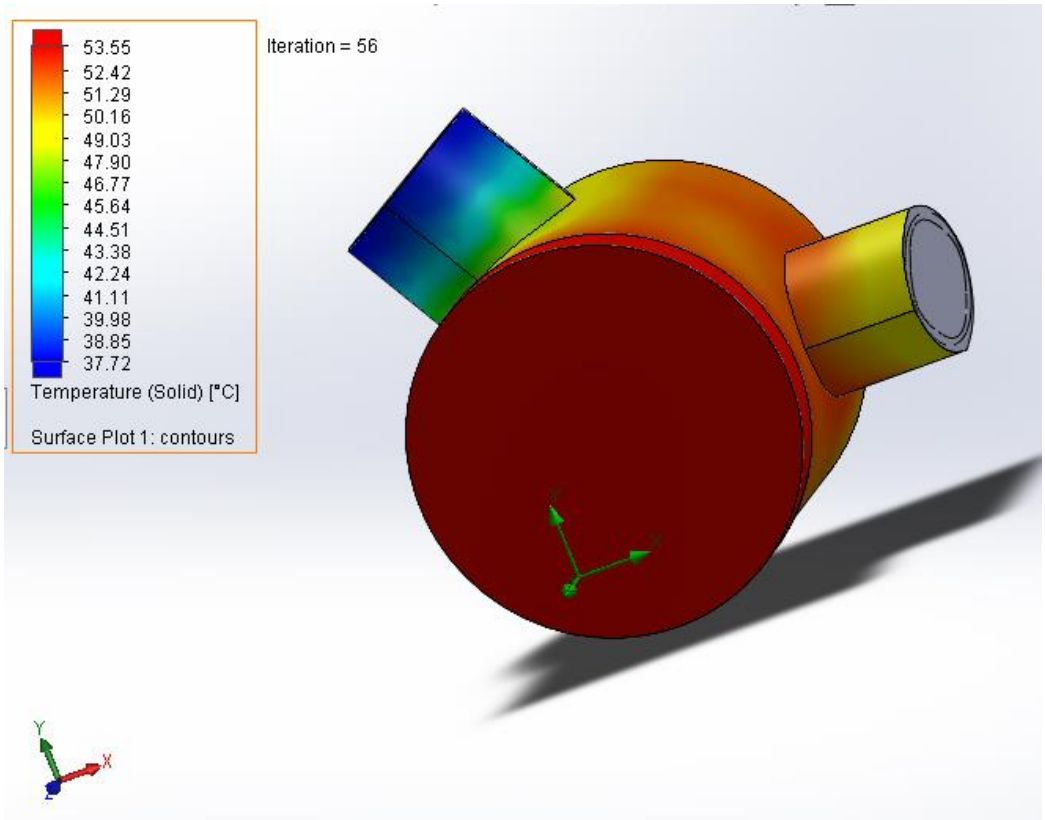


Рис. 3.2.6 Температура поверхні з решіткою №3

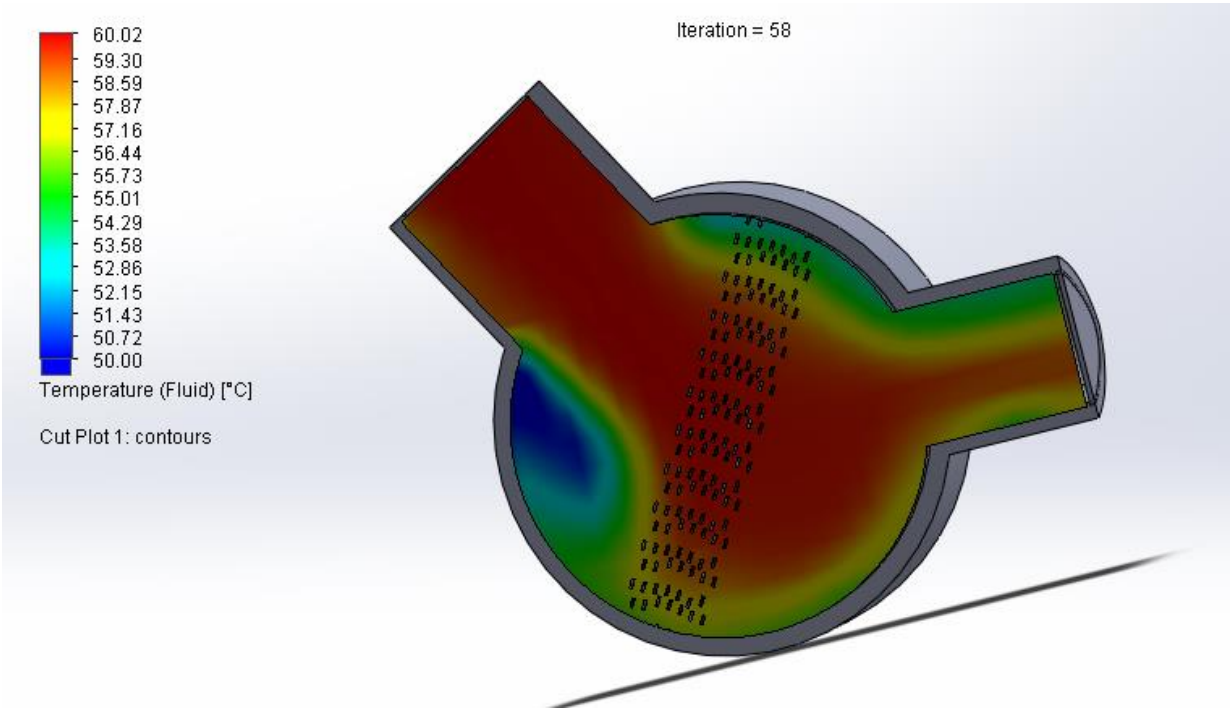


Рис. 3.2.7 Температурне поле з решіткою №4

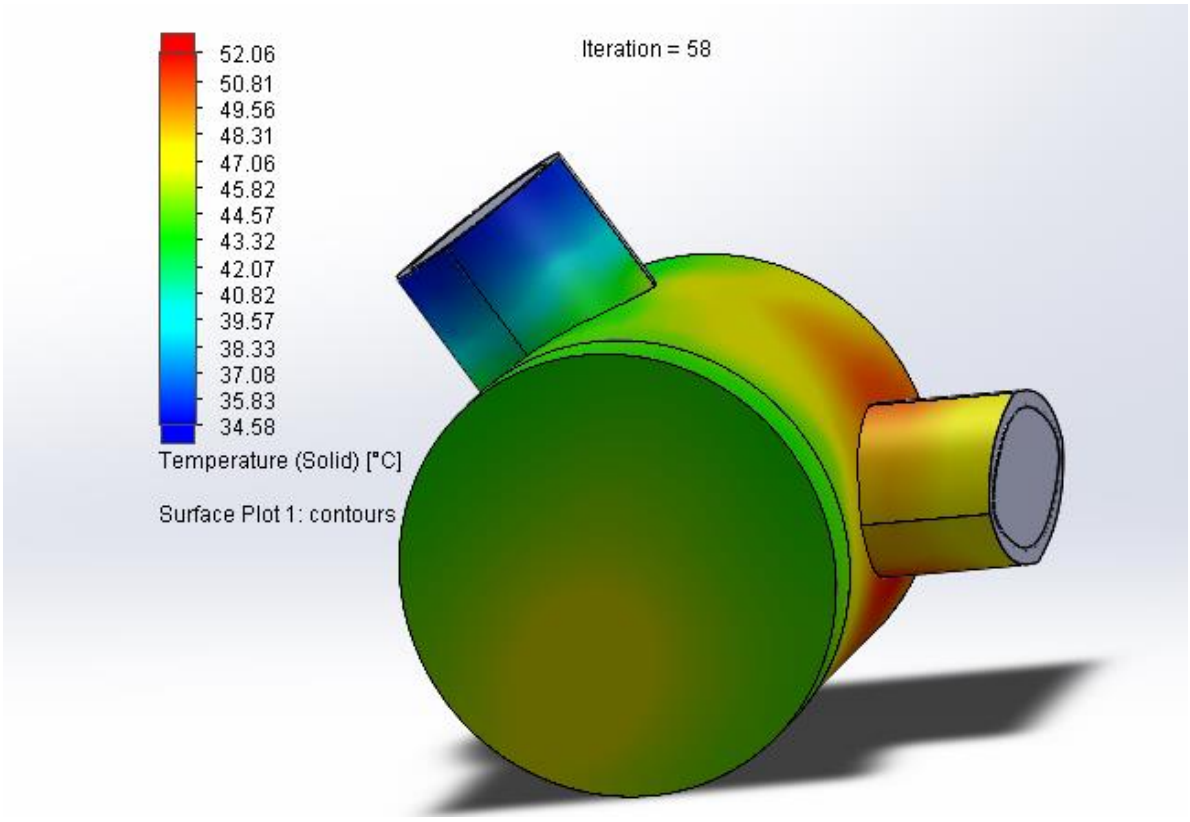


Рис. 3.2.8 Температура поверхні с решіткою №4

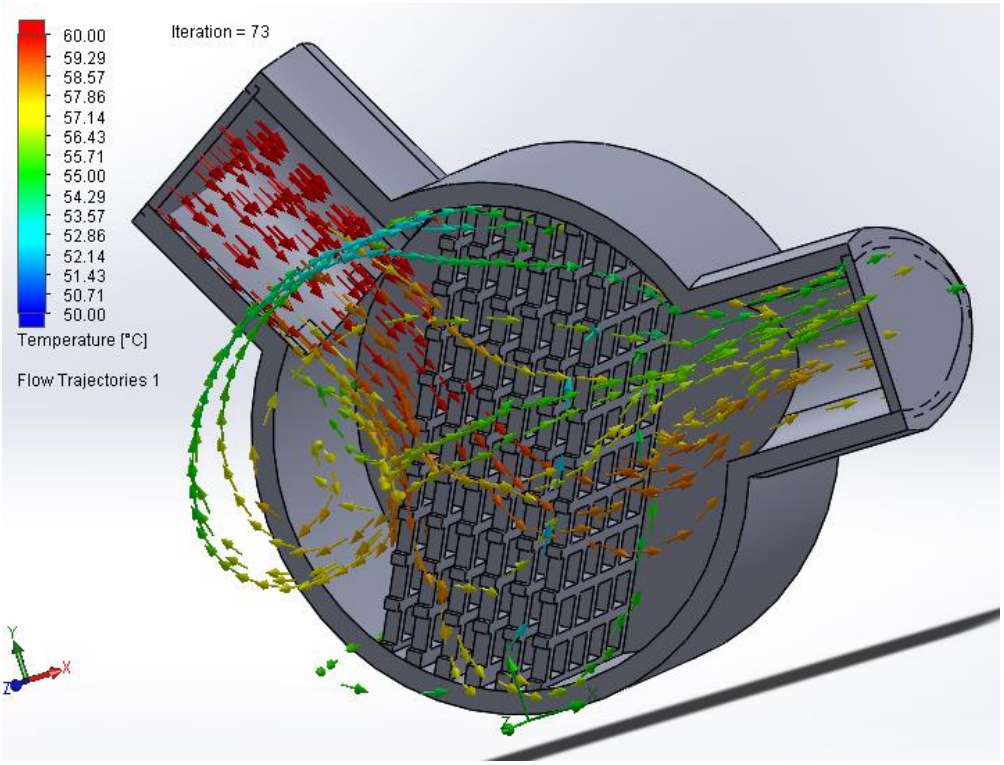


Рис. 3.2.9 Траєкторія руху потоку всередині ТВО з решіткою №1

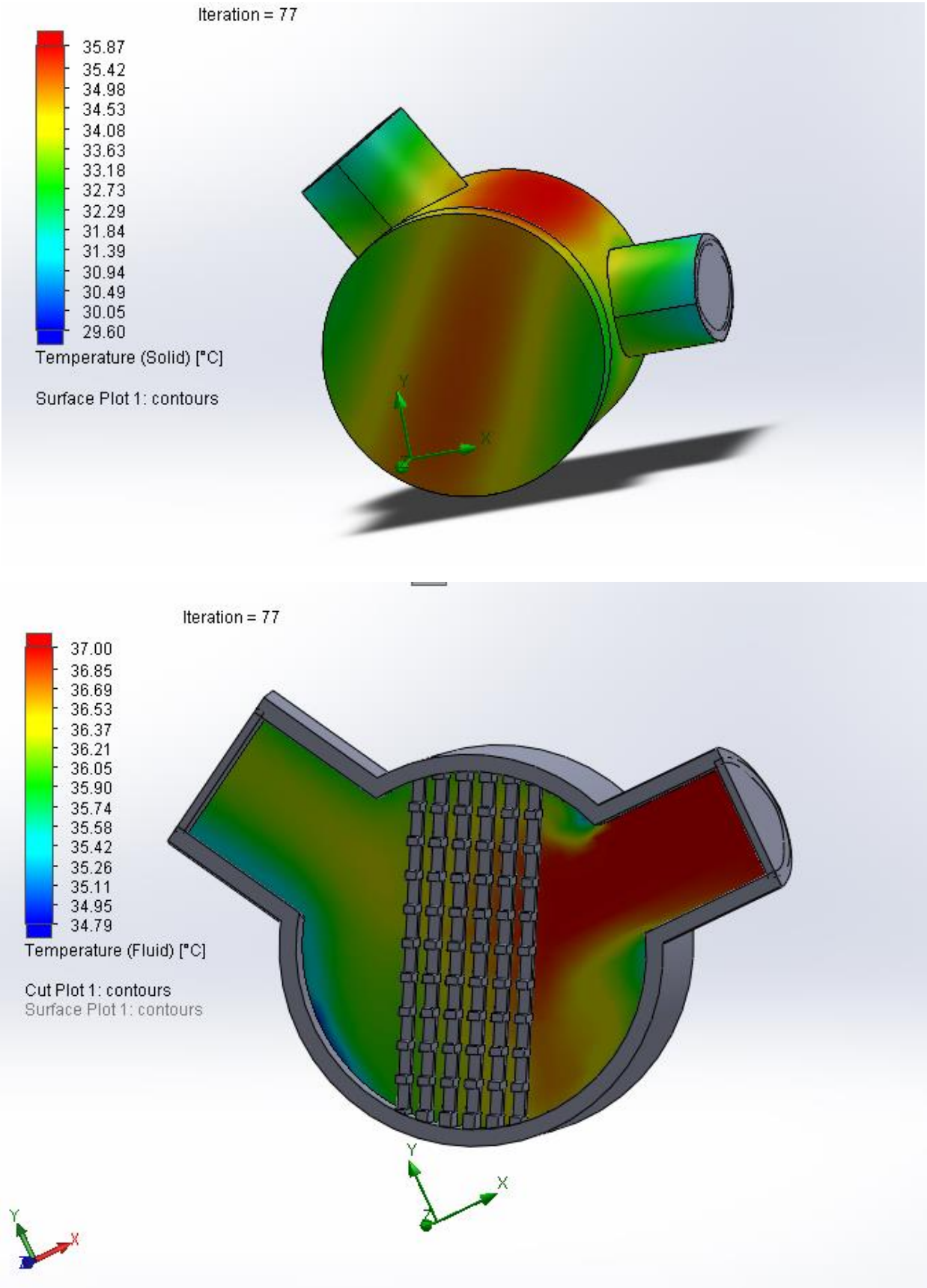
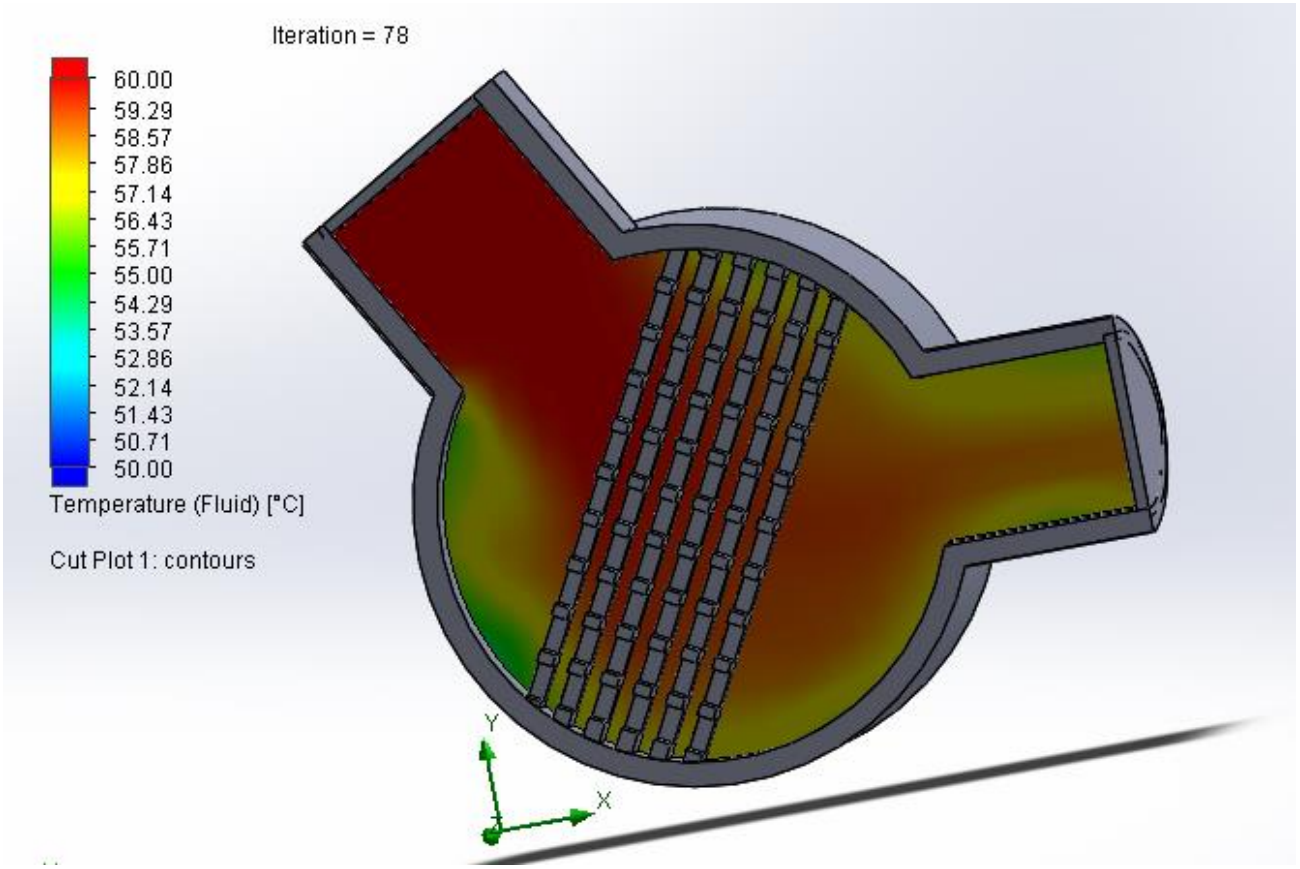


Рис 3.2.10 Обернена ітерація



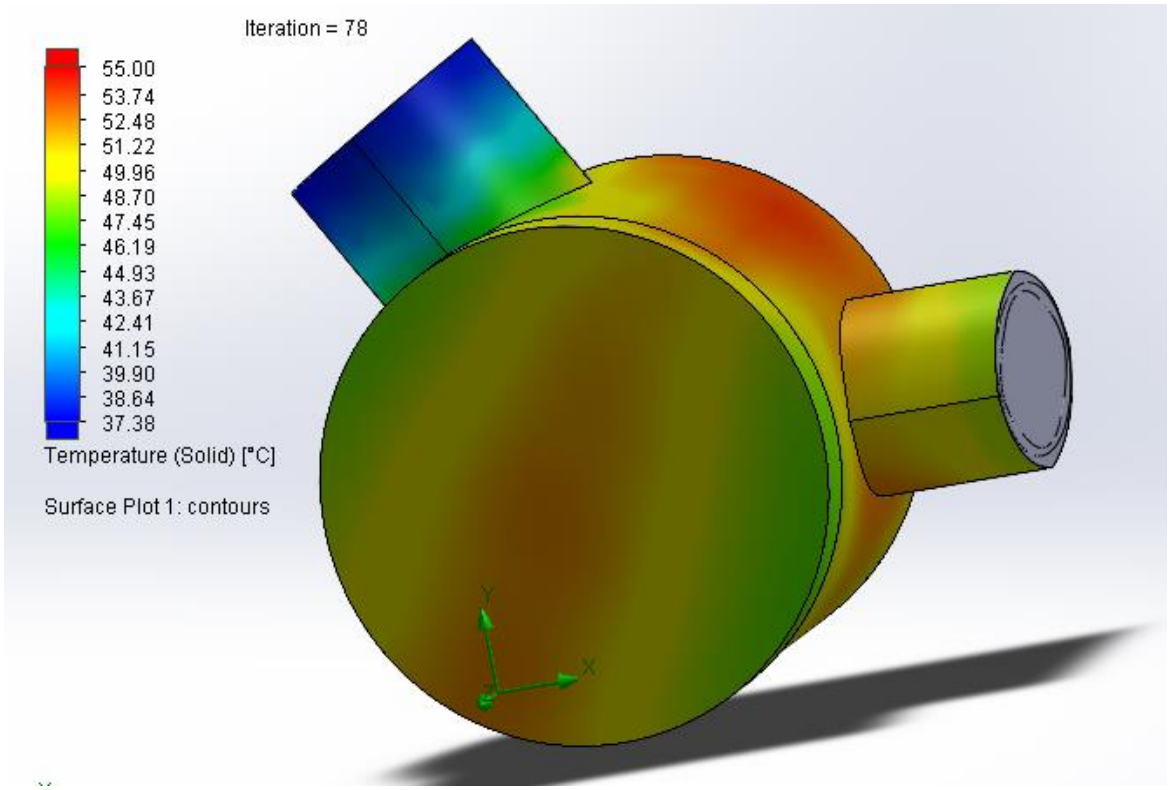


Рис 3.2.11 Нікель

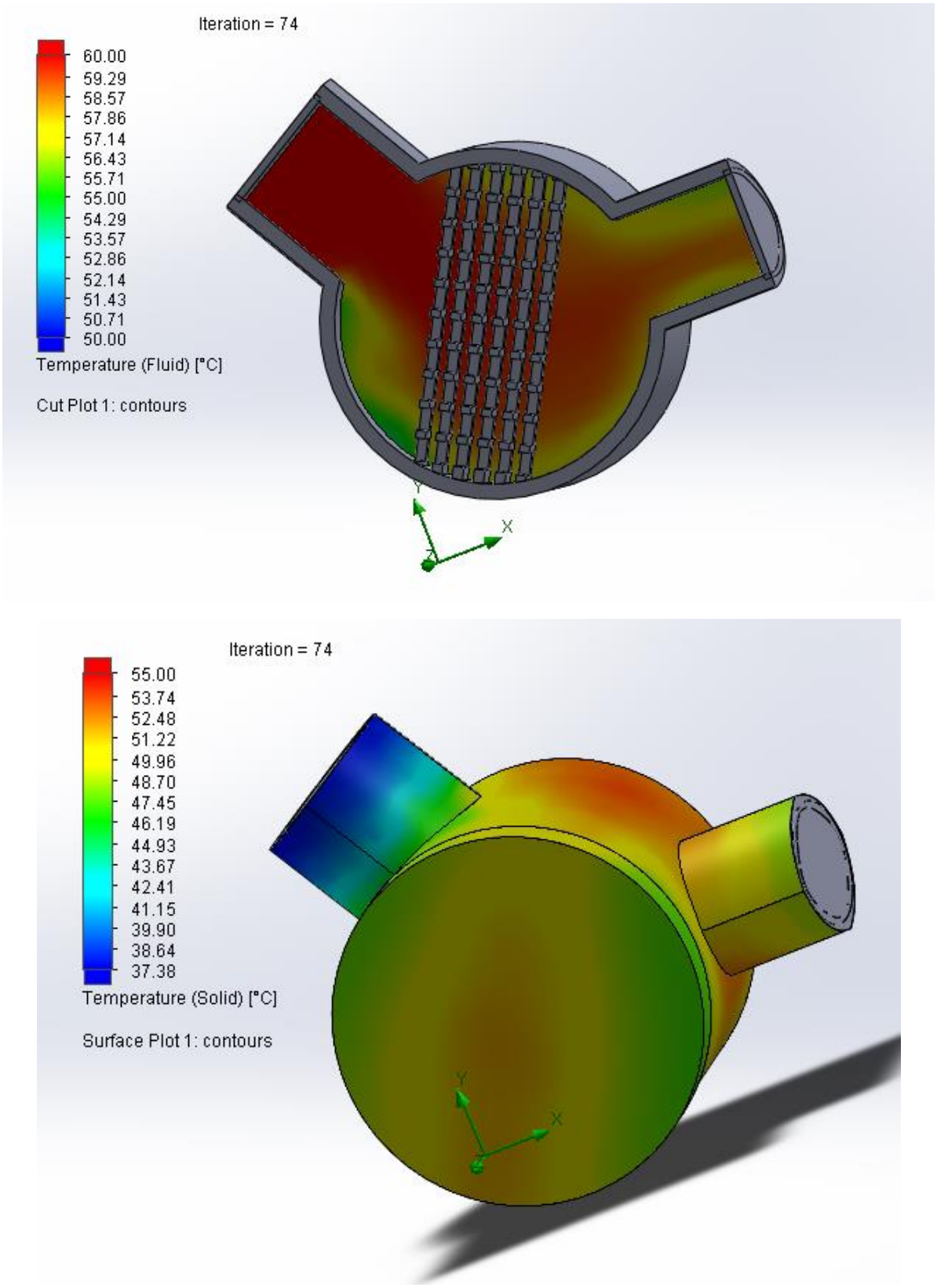


Рис 3.2.12 Бронза

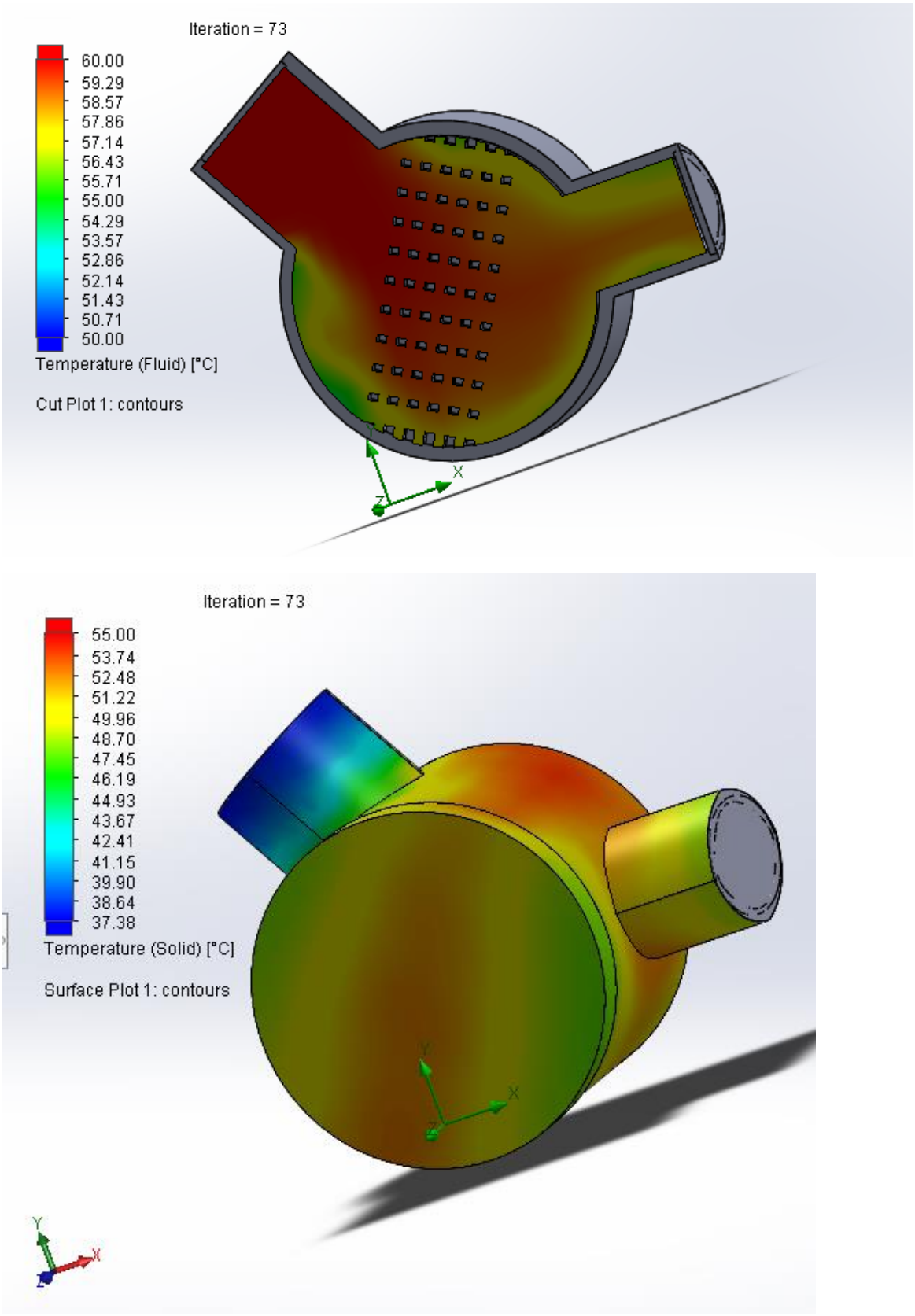
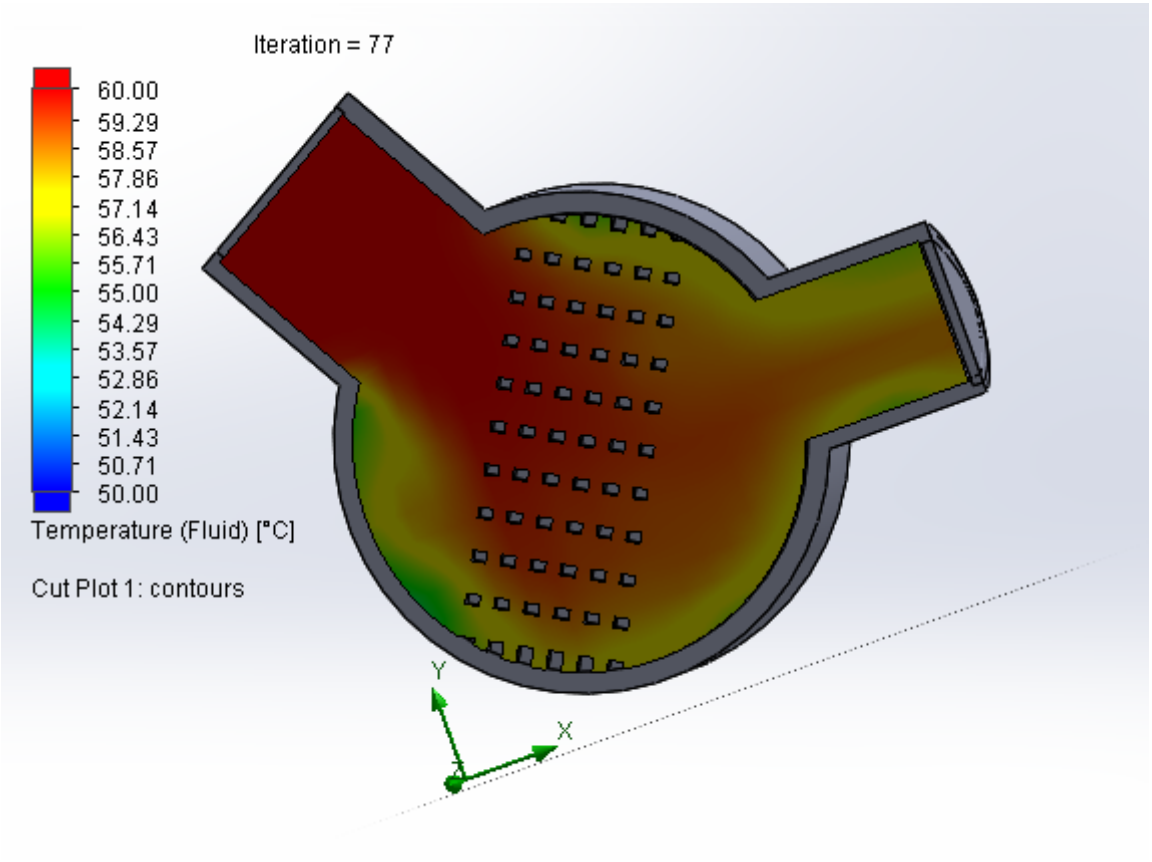


Рис 3.2.13 Латунь



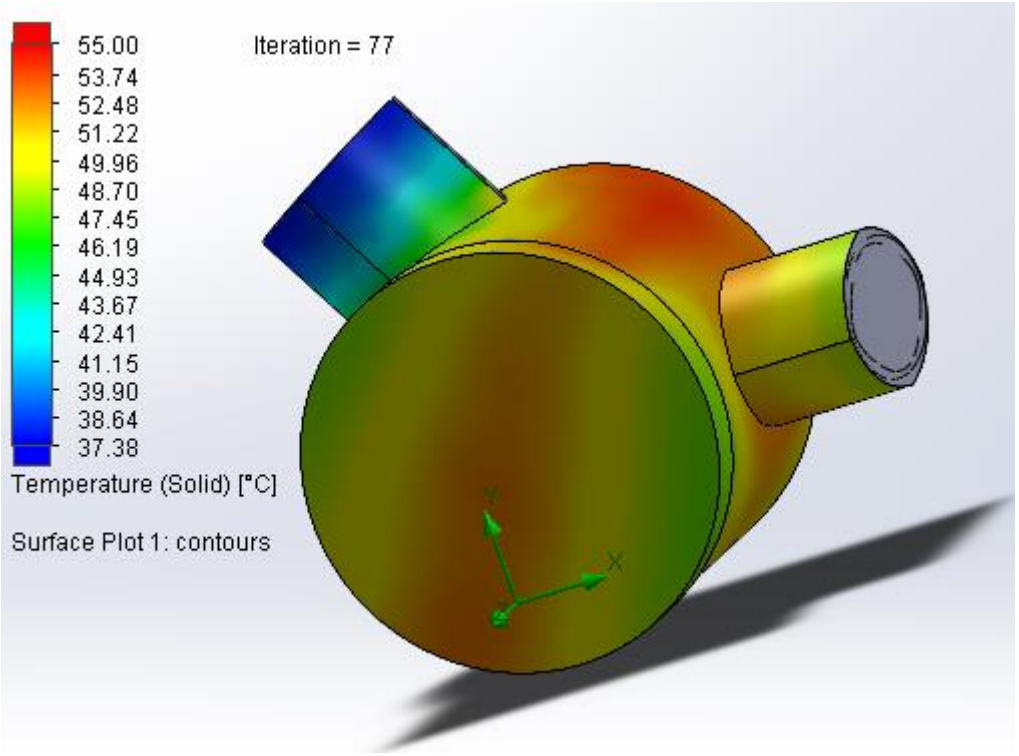
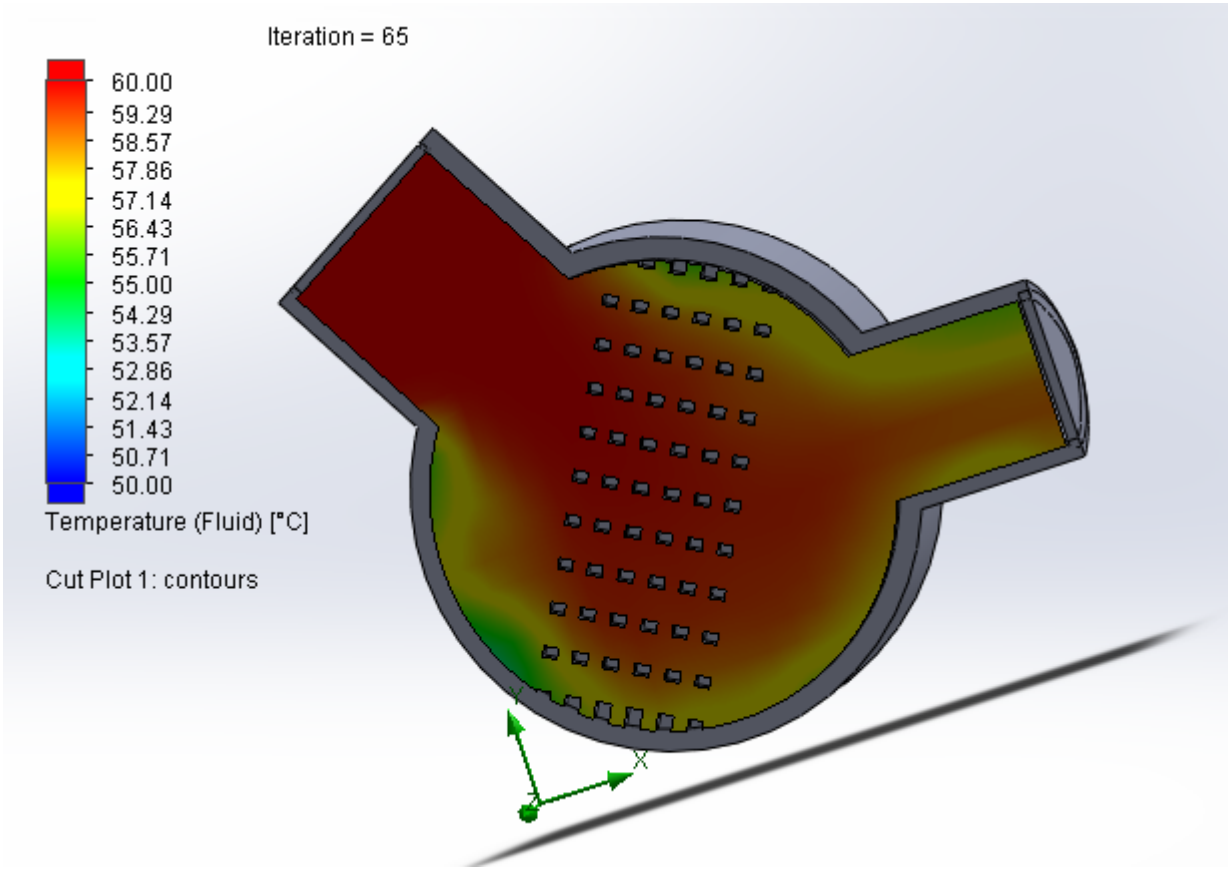


Рис 3.2.14 Мідь



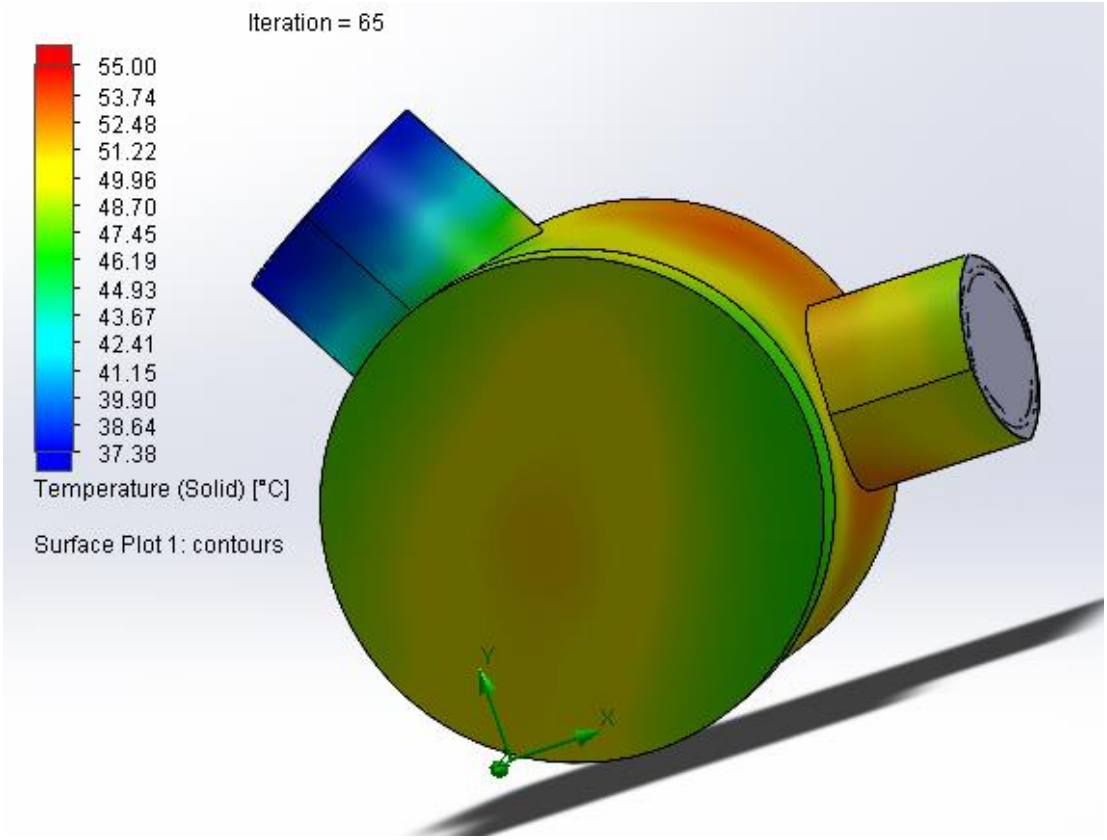


Рис 3.2.15 Нержавіюча сталь 302

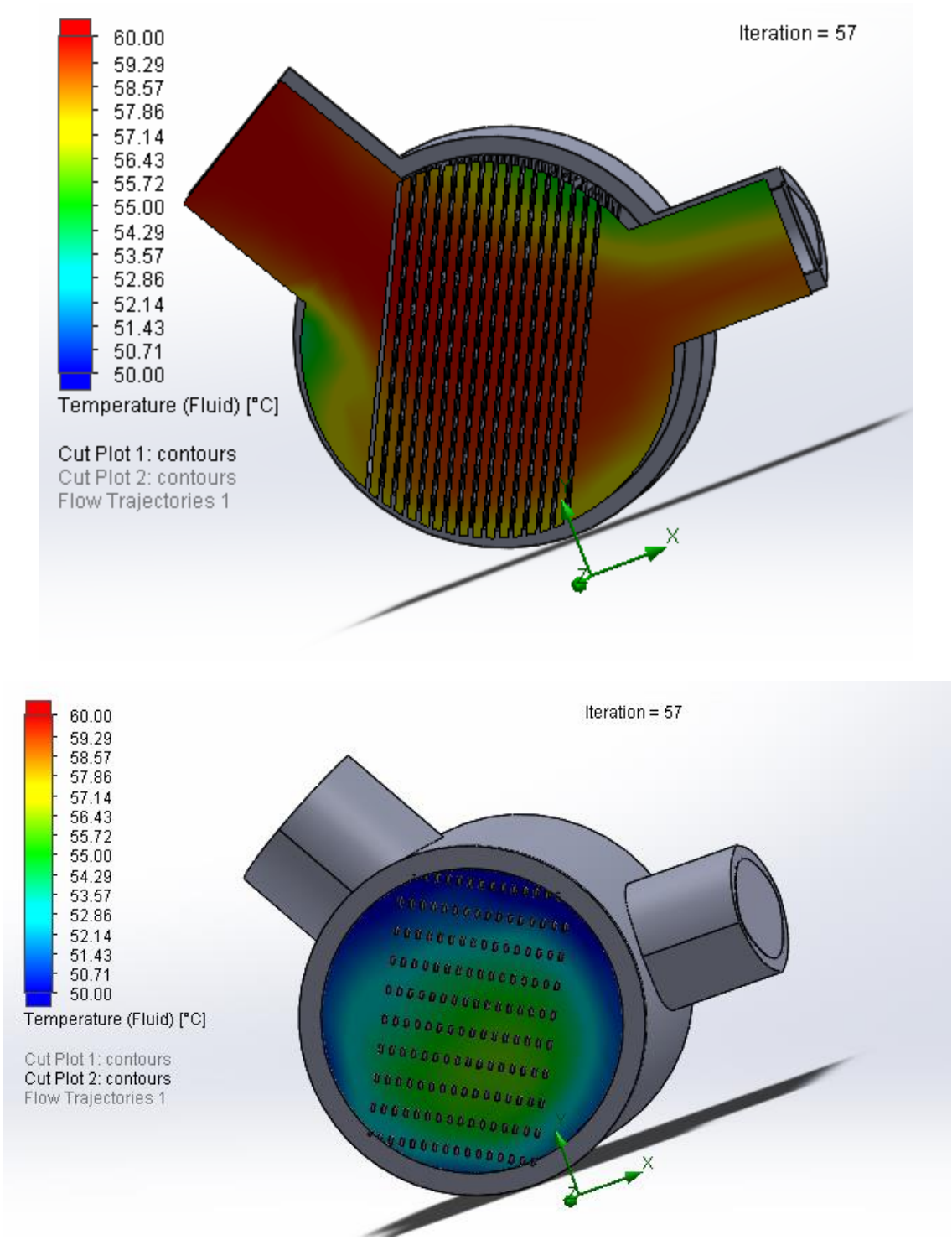
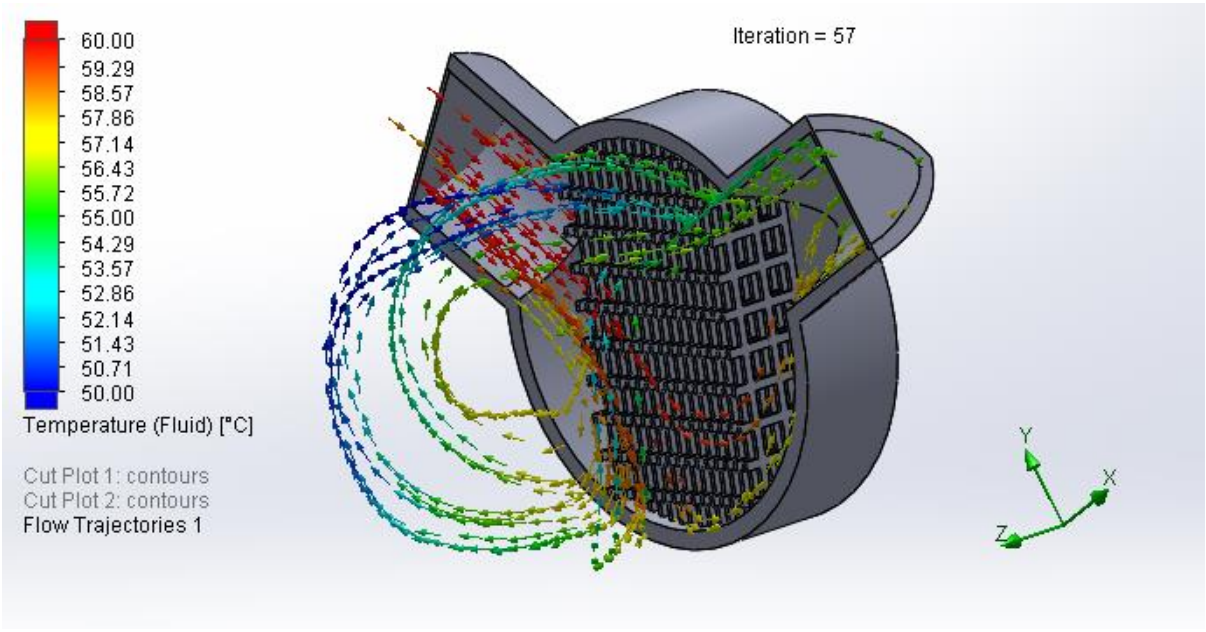


Рис 3.2.16 Температурне поле з решіткою №5 (алюміній)



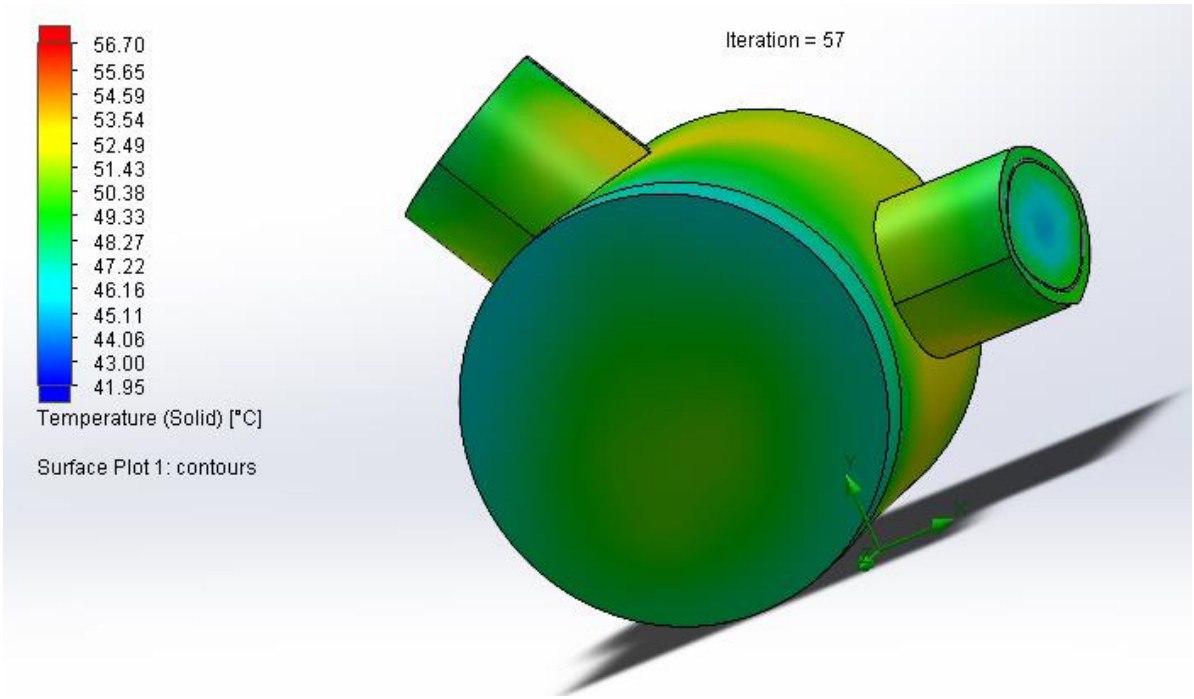


Рис 3.2.16 Рух потоку та температура поверхні з решіткою №5 (алюміній)

Було отримано наступні результати

Таблиця 3.1

Найменші температури на виході для решіток

Номер решітки	Температура, °C
1	54,38
2	53,72
3	53,59
4	53, 18
5	53, 9

Таблиця 3.2

Найменші температури на виході для металів

Назва матеріалу	Отримані температури °C
Алюміній	54.38
Бронза	54.45
Мідь	54.56
Латунь	54.67
Нержавіюча сталь	54.34
Нікель	54.13

РОЗДІЛ 4

4.1 Економічна складова

Таблиця 4.1

Вартість в грн. кольорових металів за лист 1 х 200 х 300 мм за 2018 рік. [5]

Назва металу	Ціна
Алюміній технічний	85,48
Мідь	341,94
Латунь	341,94
Бронза	512,91
Нікель	1624,20
Нержавіюча сталь Cr18/Ni8	256,45

ВИСНОВКИ

Методом комп’ютерного моделювання було спроектовано корпус ТВО та декілька варіантів решіток. Проведено комп’ютерну симуляцію руху потоку через ТВО з початковою температурою потоку 60 °С. Було використано дукілька видів металів для решіток: алюміній, мідь, латунь, бронза, нікель та нержавіюча сталь Cr18/Ni8. Було виміряно та порівняно температури на виході з ТВО. Найменша температура на виході з ТВО, а саме 53, 18 °С, була досягнута з решіткою №4. Найменша температура на виході з ТВО, а саме 54, 13, була досягнута з решіткою з нікелю. Можна зробити висновок, що самою раціональною комбінацією ТВО є використання її з решіткою №4, виготовленою з нікелю. Враховуючи економічну складову, нікель є досить дорогим матеріалом, та використовувати його в комерційних потребах не доцільно. Кращим варіантом з урахуванням економічної складової буде варіант використання комбінації решітки №4 з алюмінію, враховуючи найнижчу ціну алюмінію серед усіх металів, що представлені у роботі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2001—2004.

2. Нікулін В.В., Сидорчук В.К., Андріанов С. Н. 1 частина // Регенеративні дихальні апарати на стиснутому і хімічно пов'язаному кисні. - Ізолюючі дихальні апарати. - Тула, 2008. - 244 с. - ISBN 978-5-8125-1132-6.

3. В.А. Огурецкий, В.Н. Єгоров. Роздуми про використання саморятівників ізолюючих з хімічно зв'язаним киснем у вугільних шахтах (рус.) // Федеральна служба з екологічного, технологічного і атомного нагляду (Ростехнагляд); Закрите акціонерне товариство «Науково-технічний центр досліджень проблем промислової безпеки» (ЗАТ НТЦ ПБ) Безпека праці в промисловості. - Москва: ЗАТ "Алмаз-Прес", 2012. - № 4. - С. 54-60. - ISSN 0409-2961.

4. ГОСТ Р 22.9.09-2005 Средства индивидуальной защиты населения в чрезвычайных ситуациях. Самоспасатели фильтрующие. Общие технические требования - М.: Стандартинформ.

5. Біляк В.Л., Вардугін А.С., Єрмак Г.П. та ін. Федеральні норми і правила в галузі промислової безпеки "Правила безпеки у вугільних шахтах", серія 05, випуск 40. - Москва: ЗАТ "Науково-технічний центр досліджень проблем промислової безпеки", 2014. - 196 с. - 1000 екз. - ISBN 978-5-9687-0581-5.

6. С.В. Гудков, В.Г. Матвейкін і Г.Г. Шаповалов. Переваги використання ізолюючих саморятівників з хімічно зв'язаним киснем у вугільних шахтах (рус.) // Федеральна служба з екологічного, технологічного і атомного нагляду (Ростехнагляд); Закрите акціонерне товариство «Науково-технічний центр досліджень проблем промислової безпеки» (ЗАТ НТЦ ПБ) Безпека праці в промисловості. - Москва: ЗАТ "Алмаз-Прес", 2012. - № 11. - С. 40-44. - ISSN 0409-2961.

7. Безпека сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива / В. Г. Рудичев, С. В. Альохіна, В. Н. Голощапов і ін. / За заг. ред. акад. НАН України Ю. М. Мацевитим, чл.-кор. НАН України І. І. Залюбовський. - Х .: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. - 200 с.

8. Гіршфельдер Дж., Кертісс Ч., Берд Р. Молекулярна теорія газів і рідин. М .: ІЛ, 1961. - 931с.

9. Каталог саморятівників фірми DEZEGA http://www.dezega.com/ru/catalog/izoliruusii-samospasatel-dezega-ci-30-ks

10. Онлайн-магазин кольорових металів http://kabelgarant.ru