МІНІСТЕРСТВО ОСІТИ 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-1PVM»

Виконав студент 2 курсу, групи НФ-62
Круглов С.О.
(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 – шахтарський саморятівник

Реферат

Круглов Сергій Олександрович «Дослідження параметрів роботи з метою підвищення ефективності тепловологообмінника шахтного саморятівника ШСС-1PVM» (випускна робота магістра). – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. –58с.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків; містить 67 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел з 5 найменування.

У роботі шляхом чисельного моделювання проведені дослідження теплового стану тепловологообміннка шахтного саморятівника в напрямку вдосконалення теплофізичних властивостей. Розглянуті варіанти тепловологообміннків: стандартна модель та зменшена. Проаналізовані різні варіанти конструкцій сітки (розглядалися: товщина решітки, розмір та кількість комірок, кількість решіток та створення нової конструкції). Для моделювання решітки сітки використали різні матеріали(мідь, бронза, алюміній, латунь, нержавіюча сталь). В дослідженні був врахований людський фактор, тому моделювання проходило в найжорсткіших умовах, а саме стан стресу. Проаналізовані температурні виміри та конструкційні особливості та визначені з них найбільш ефективні комбінації, з урахуванням економічної складової.

Ключові слова: тепловій стан, тепловологообмінник, конструкції сітки, температурні виміри.

Abstract

Kruglov Sergey Aleksandrovich "Investigation of parameters of work for the purpose of increasing the efficiency of the heat exchanger of the shaft self-regulator SHS-1PVM " (master's thesis). - Kharkiv: KhNU named after VN Karazin, 2018. -58s.

The work consists of an introduction, three sections, conclusions; contains 67 drawings, 12 tables, list of used sources with 5 names.

In the work by numerical simulation, the research of the thermal state of the heat-exchanger of the mine self-restraint in the direction of improving the thermophysical properties has been carried out. Considered variants of heat exchange: the standard model and reduced. Different variants of grid designs were analyzed (grating thickness, size and number of cells, number of grids and creation of a new design). Different materials (copper, bronze, aluminum, brass, stainless steel) were used to simulate lattice grids. The study took into account the human factor, so simulation was held in the toughest conditions, namely the state of stress. The temperature measurements and structural features are analyzed and the most effective combinations are identified, taking into account the economic component.

Key words: thermal state, heat exchanger, grid construction, temperature measurements.

ЗМІСТ

ВСТУП. ……6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. ……7
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ……12
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ ТВО…….…19
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА СКЛАДОВА……...63
ВИСНОВКИ…….….64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ……..65

Вступ

Україна та інші країни світу(для прикладу Африка), мають чимало шахт на своїй території. Робота шахтаря небезпечна та важка. Інколи трапляється так, що в шахті проходить вибух метану або руйнування балок і з'являється обвал. В цій ситуації шахтарі користають саморятівники плечового типу, для того щоб вони могли дочекатися рятівників.

Основна мета роботи – дослідити тепловий стан тепловологообмінника та визначити ефективніший варіант решітки, який зміг знизити температуру повітря в ТВО, яке йде від фільтру.

Мета та задачі роботи полягають в тому, щоб розробити такі варіанти решіток, які б зменшили температуру повітря, яким дихає шахтар. Для розробки решіток використовуються різні матеріали, тому треба визначити найбільш ефективний та економічний варіант.

З огляду на конфіденційність інформації щодо досліджуваного об'єкта в нашому розпорядженні були вихідні дані: це сама деталь ТВО та принцип роботу шахтного саморятівника. Дана робота є унікальною, оскільки дослідженню теплових режимів шахтних саморятівників робіт майже не присвячено. Зазвичай досліджуються хімічні властивості абсорбуючих фільтрів або конструктивні характеристики. Матеріали роботи основані на характеристиках продукції компанії «Dezega», яка не має аналогів в Україні.

Практичне значення розробки: комбінації корпусу ТВО з новими варіантами решіток зменшували температуру від фільтру, до користувача. Таким чином температура в ТВО буде зменшена від 60^{o} С на 2^{o} С - 5^{o} С.

Особистий внесок полягає в створенні нових варіантів решіток та проведені розрахунків.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Саморятівник 1PV(M). Так як проходять досліди с цим пристроєм, робітниками фірми «Dezega» була надана інформація щодо цієї моделі.

Саморятівник 1PV(M)(Рис.1) – є покращеною версією саморятівника ШСР – 1У, котрим користуються на багатьох шахтах по всьому світу та з 1983 року врятував чимало життів. [2]

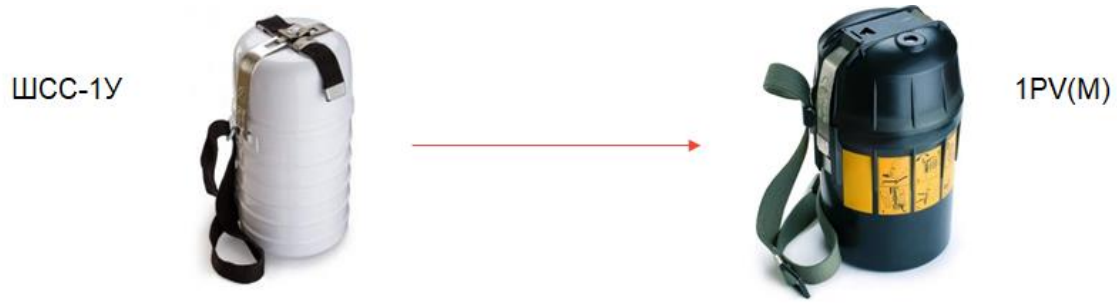


Рис. 1.1 Еволюція саморятівника

Саморятівник 1PV(M) – засіб індивідуального захисту на хімічно пов’язаному кисню (КО2) з часом захисної дії 60 хвилин. Використовується для евакуації шахтарів у випадку появи атмосфери, непридатна для дихання (дим, токсичні гази, не достаток кисню та інше) та розраховане, щоб постійно носити на плечі або ремені.

1.1 Принцип роботи

Процес регенерації в саморятівнику

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

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

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

Усі хімічні реакції, які проходять в абсорбуючому фільтрі, виділяють тепло.

1.2 Умови дихання в саморятівнику, які відрізняються від дихання атмосферним повітрям:

Середній об’єм кисню 85-95%;

Середній об’єм діоксиду вуглецю 0,5-1,5%;

Опір диханню до 0,75 кПа;

Нагрів дихальної суміші до 50°С.

1.3 Устрій пристрою

Нижче наведено детальній опис саморятівника (рис.2) [1]

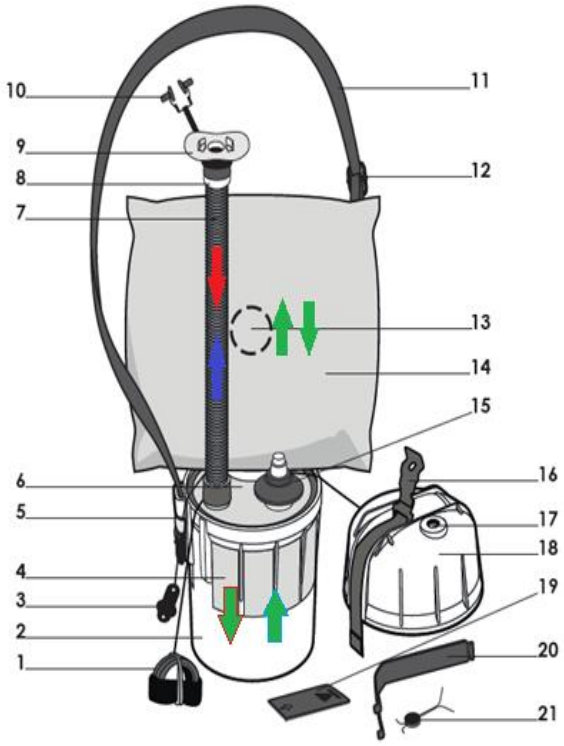


Рис.1.2 Детальний устрій саморятівника

1. Противодимні окуляри (додаткова опція).
2. Корпус.
3. Заглушка.
4. Піктограма.
5. Фіксатор.
6. Регенеративний картридж.
7. Гофрована трубка.
8. Тепловологообмінник.
9. Загубник.
10. Носовий затискач.
11. Плечовий ремінь.
12. Пряжка.
13. Надлишковий клапан.
14. Дихальний мішок.
15. Пусковий пристрій.
16. Важіль замка стяжних стрічок.
17. Індикатор герметичності. (додаткова опція).
18. Кришка.
19. Захисна накладка.
20. Стяжна стрічка.
21. Ущільнення.

В патроні відбуваються хімічні реакції з відділенням тепла. Причому температура в середині патрона може досягати від 200 до 400°С. Корпус патрона гріється до 120-140°С, особливо під час інтенсивного дихання (35л/хв.). При спокійному диханні гріється до 80°С. Це можна прослідкувати на знімках тепловізора Рис.1.4 під час роботи стенду, який називається «штучні легені».

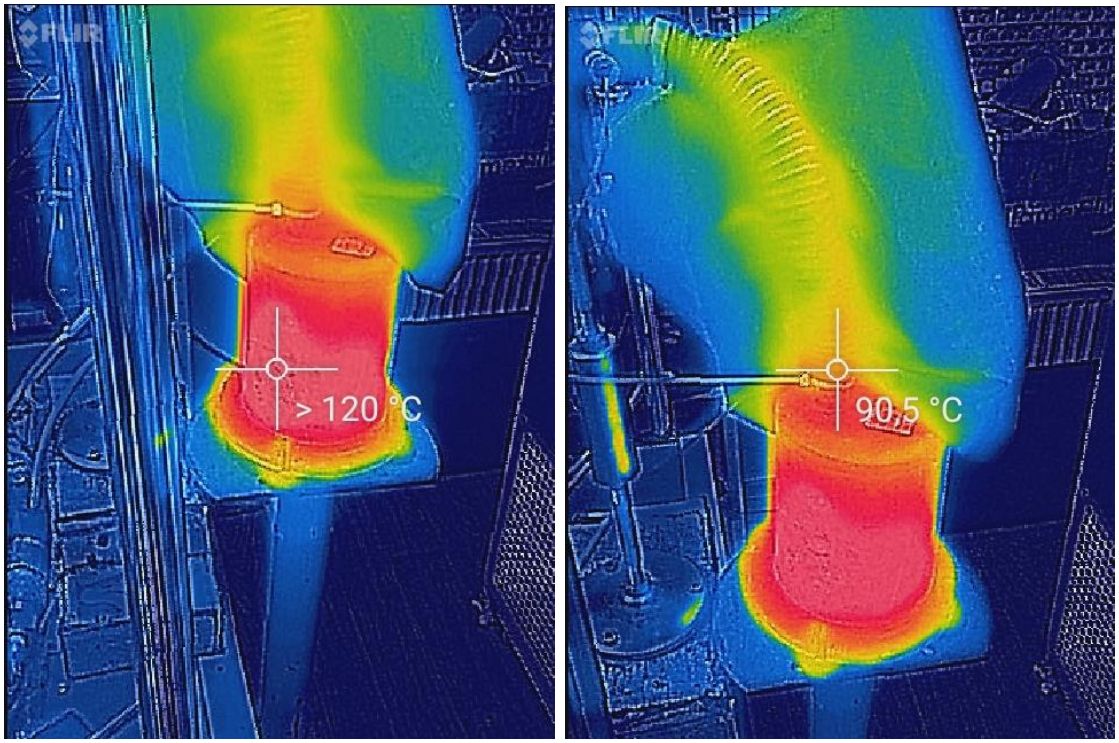


Рис. 1.4 Температурні характеристики під час експерименту (патрон).

Після патрону нагріте повітря йде до гофрованої трубки, який слугує теплообмінником та знімає значну частину тепла (Рис 1.5). А для зменшення температури повітря, яким дихає людина, слугує ТВО. Він зменшує температуру на 5-10°С.



Рис. 1.5 Температурні характеристики під час експерименту (гофрована трубка та тепловологобмінник

Намагався знайти корисну інформацію в працях вчених. Була робота з назвою «Підвищення ефективності дихальних апаратів на хімічно зв’язаному кисні». Основна суть роботу полягає в наступному: в патроні міняють конструкцію таким чином, щоб зменшити гранули продуктів, які містять в собі кисень. Тому в патрон додають рівномірний шар мертвого абсорбенту, рівномірно розподіляють екзотермічні джерела та зм’якшують температурний режим регенеративного патрону. [5]

Наступна робота «Оптимізація теплового режиму шахтного саморятівника на хімічно пов’язаному кисні». В цій роботі дослідники користуючись набором рівнянь та математичним пакетом Mathcad для визначення оптимального розміру гранул та місця їх стрибка в регенеративному патроні. В результаті був зменшений шар мертвого

абсорбенту, що посприяло збільшенню терміну захисної дії апарату. Але чітких температурних полів не було отримано.

Постановка задачі

1. Створити 2 моделі ТВО: оригінальний та зменшений.
2. Створити решітки до моделей ТВО.
3. За допомогою симуляції отримати значення температур.
4. Упорядкувати отриманні дані з врахуванням економічної складової.

РОЗДІЛ 2. 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 (2.1):

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

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

- рівняння руху в’язкої ньютонівської рідини Нав'є-Стокса (2.2):

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

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 (2.3):

$$\rho \frac{\partial U}{\partial t} = -p\ div(v) + \mu_{\text{еф}} \Phi(v) + q, \tag{2.3}$$

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

Усі рівняння записано в загальному вигляді. Зупинимося детальніше на особливостях математичної моделі при розгляду 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 (2.4):

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

де g – прискорення вільного падіння;

У ТВО в якості рухомого середовища виступають повітря при відносно невеликих значеннях тиску і температур, що дозволяє їх розглядати як ідеальний газ, тобто прийняти залежність для питомої внутрішньої енергії (2.5):

$$\text{U} = c_v T \qquad (2.5)$$

а в якості рівняння стану використовувати рівняння Менделєєва-Клапейрона (2.6):

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

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 (2.7):

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

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

Для твердих тіл використовується ще рівняння теплопровідності (2.8):

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

В якості моделі турбулентності можна використовувати k-ε-модель, яка дуже точна в процесі моделюванні 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 (2.9) та (2.10):

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

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

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) (2.11):

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

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

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

Турбулентна складова динамічної в’язкості визначаться наступним твердженням (2.12):

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

а турбулентна складова теплопровідності дорівнює наступному(2.13):

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

де Pr_t =0,85 – турбулентне число Прандтля.

Всі записані вище диференціальні рівняння наведені для нестаціонарного випадку. Теплові процеси в досліджуваному об'єкти 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:

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

$$\rho\big(v \times grad(v)\big) = -grad\left(p + \frac{2}{3}\mu_{\text{еф}} div(v)\right) + 2div\big(\mu_{\text{еф}} S'\big) + \rho g \qquad (2.15)$$

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

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

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

$$\frac{\partial(p\varepsilon)}{\partial t} + div(\rho\varepsilon v) = div\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right) grad\varepsilon\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{3\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad (2.19)$$

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

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

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

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

$$\rho u\frac{\partial w}{\partial x}+\rho v\frac{\partial w}{\partial x}+\rho w\frac{\partial w}{\partial x}=-\rho g-\frac{\partial \rho}{\partial z}+2\frac{\partial}{\partial z}(\mu_{\text{e}\phi}\frac{\partial w}{\partial z})+\frac{\partial}{\partial x}(\mu_{\text{e}\phi}\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z})+$$
$$+\frac{\partial}{\partial y}(\mu_{\text{e}\phi}\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y})--\frac{2}{3}\frac{\partial}{\partial z}(\mu_{\text{e}\phi}\frac{\partial w}{\partial z}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial u}{\partial x}),\qquad(2.21)$$

$$c_p\rho\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial x}+w\frac{\partial T}{\partial x}\right)-\left(u\frac{\partial \rho}{\partial x}+v\frac{\partial \rho}{\partial x}+w\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{\text{e}\phi}\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{\text{e}\phi}\frac{\partial T}{\partial y}\right)+$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{\text{e}\phi}\frac{\partial T}{\partial z}\right)\qquad(2.22)$$

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

$$\frac{\partial(\rho ku)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho ku)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho ku)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\left(\mu+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial z}\right)+G_k++G_b\ -\ \rho\ ,\qquad(2.24)$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u)}{\partial z}==\frac{\partial}{\partial x}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial z}\right)+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{3\varepsilon}G_b)-C_{3\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k},\quad(2.25)$$

Таким чином, під час моделювання теплових процесів в ТВО необхідно розглядати систему, диференціальних рівнянь в приватних похідних (2.20) - (2.25), що замикають співвідношень (2.6), (2.12), (2.13) Дана математична модель дозволяє знайти скалярні поля тиску, температури і щільності, а також векторне поле швидкостей

Для граничних умови було використано наступне: статичний тиск 101325 Ра, об'ємні витрати на вході та виході 0.0005 $\frac{m^3}{c}$ коефіцієнт тепловіддачі за зовнішній стінці 5 $\frac{W}{m^2*K}$

Для дослідження контейнера 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 (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$\frac{W}{m*K}$).

Охолодження в ТВО відбувається за рахунок того, що повітря проходить через сітку, яка складається с решіток. Проходячи через сітку потік прискорюється, внаслідок чого стає турбулентним. Тому збільшуючи швидкість, потік втрачає тиск, згідно рівняння Бернулі (2.26). А при зменшені тиску зменшується температура, згідно рівняння Мєндєлєєва-Клайперона (2.27).

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

де h - висота, на якій знаходиться розглянутий елемент рідини.

$$PV = \nu RT \tag{2.27}$$

де V – об’єм, ν – кількість речовини, R – універсальна газова постійна. Залишки тепла виділяються в оточуюче повітря через стінки ТВО.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ ТВО

Тепловологообмінник – це частина яка знижую температуру повітря від гофрованої трубки до людини, яка користується саморятівником. Ця частина являється дуже важливою, так як вона робить повітря більш прийнятним для дихання людини. Тому перед тим як розпочати розрахунки була створена модель ТВО. Інформація щодо самої деталі надана працівниками фірми «Dezega». Для завдання потрібні звичайна та зменшена моделі. Нижче наведена модель звичайного ТВО (Рис. 3.1),(Рис. 3.2):

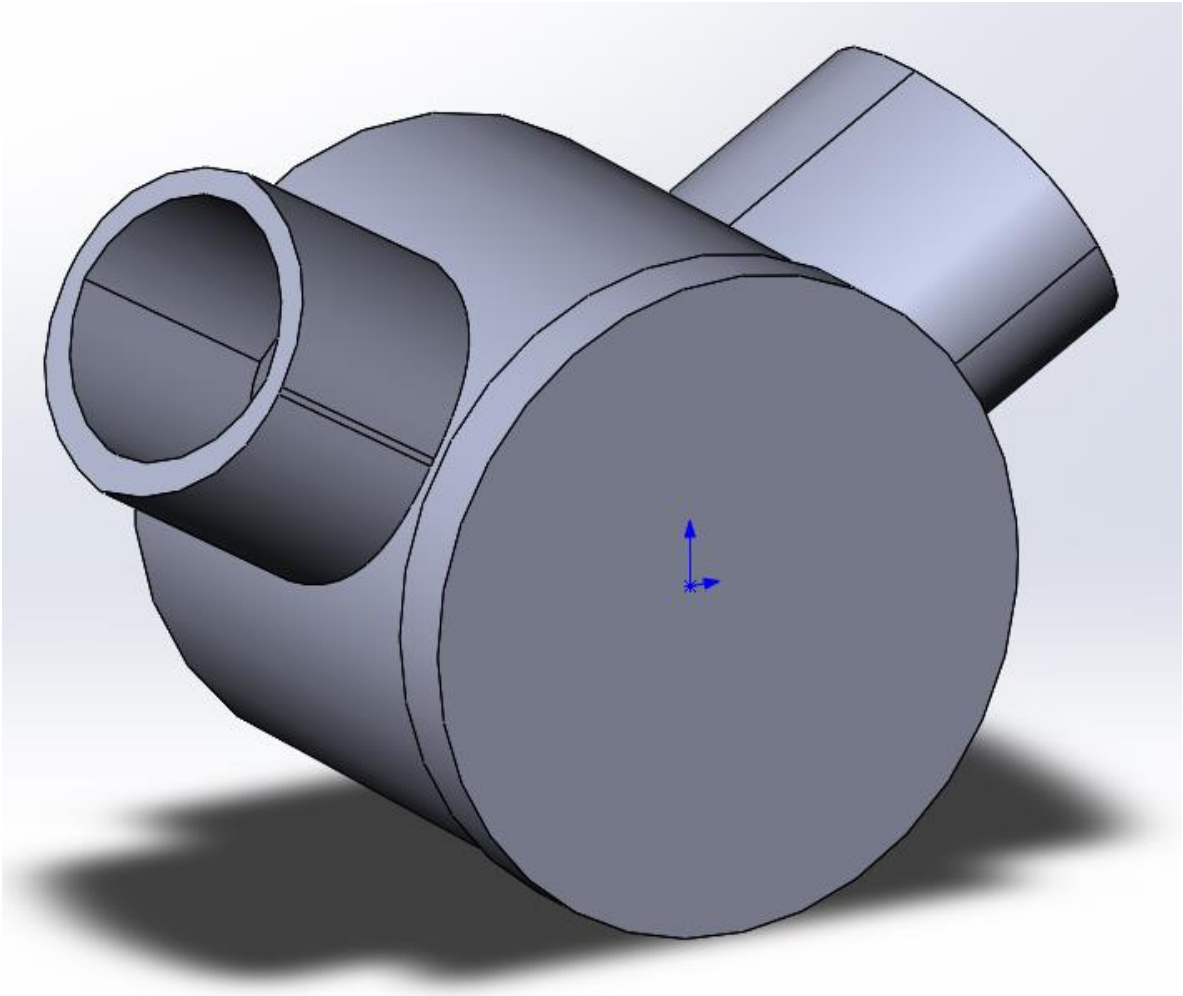


Рис 3.1 Зовнішній вигляд ТВО

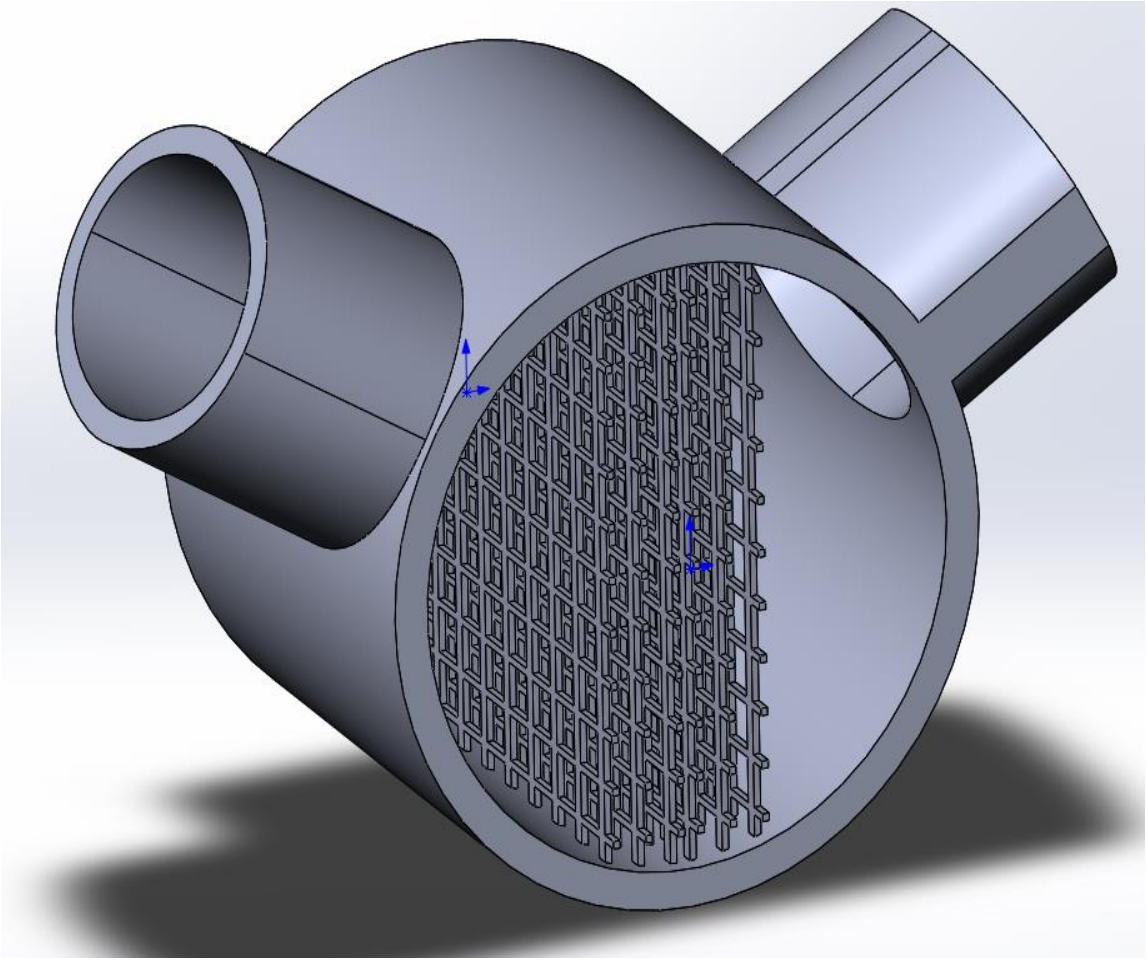


Рис 3.2 Зовнішній вигляд ТВО (розріз)

Наступна задача – зробити розрахунки температурних полів при різних видах решіток або зміненої геометрії. Тому було обрано наступний шлях – зміна кількості решіток в тепловологообміннику, для того щоб визначити, як зміна їх кількості буде впливати на температурний режим. В ТВО при той моделі, яку отримав спочатку було 14 решіток. Тому було вирішено змоделювати ТВО з різною кількістю решіток при тій самій геометрії. Тому в роботі буде для цієї моделі ТВО розглянуто 4, 6, 8, 10, 12 та 14 решіток. Окрім цього будуть проведені розрахунки з використанням різних матеріалів (мідь, латунь, бронза, нержавіюча сталь та алюміній. Тому розрахунки почнуться з 4-х решіток(Рис.3.3).

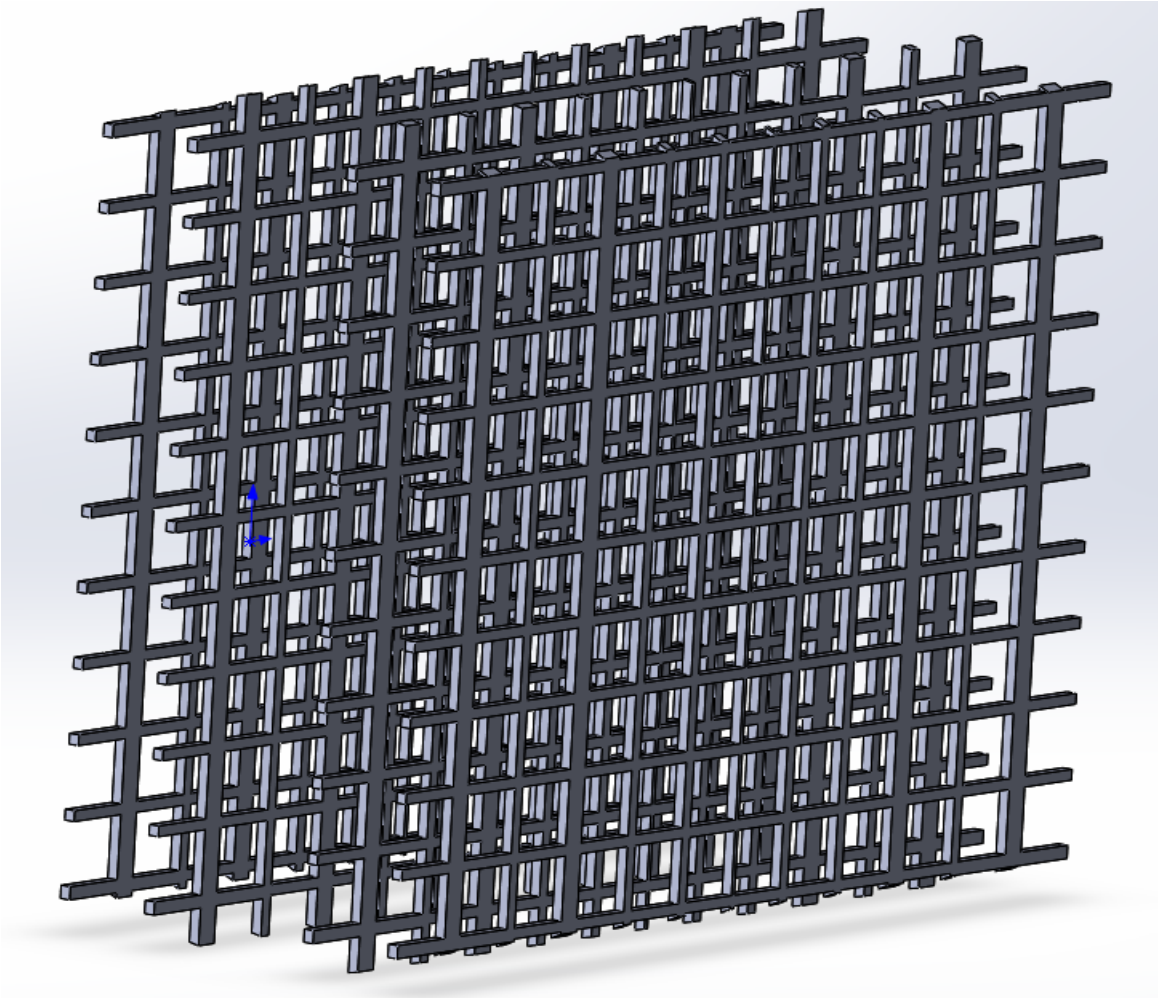


Рис. 3.3 Модель сітки із 4-х решіток.

В цій моделі сіток як і в наступній будуть задані наступні параметри: розмір комірок 3 на 3 мм, по вертикалі відстані між комірками буде 0.5 мм а по горизонталі 1 мм. Тому нижче можна побачити результати моделювання з різними матеріалами (Рис. 3.4), (Рис. 3.5), (Рис. 3.6), (Рис. 3.7), (Рис. 3.8).

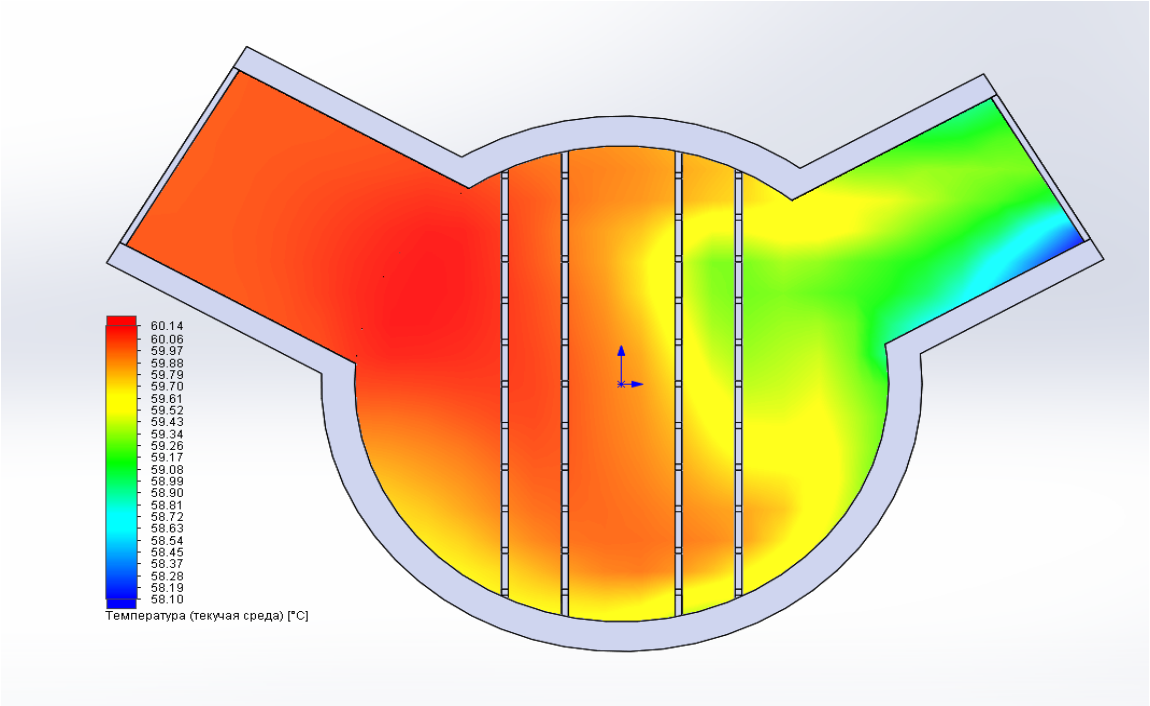


Рис. 3.4 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з алюмінію.

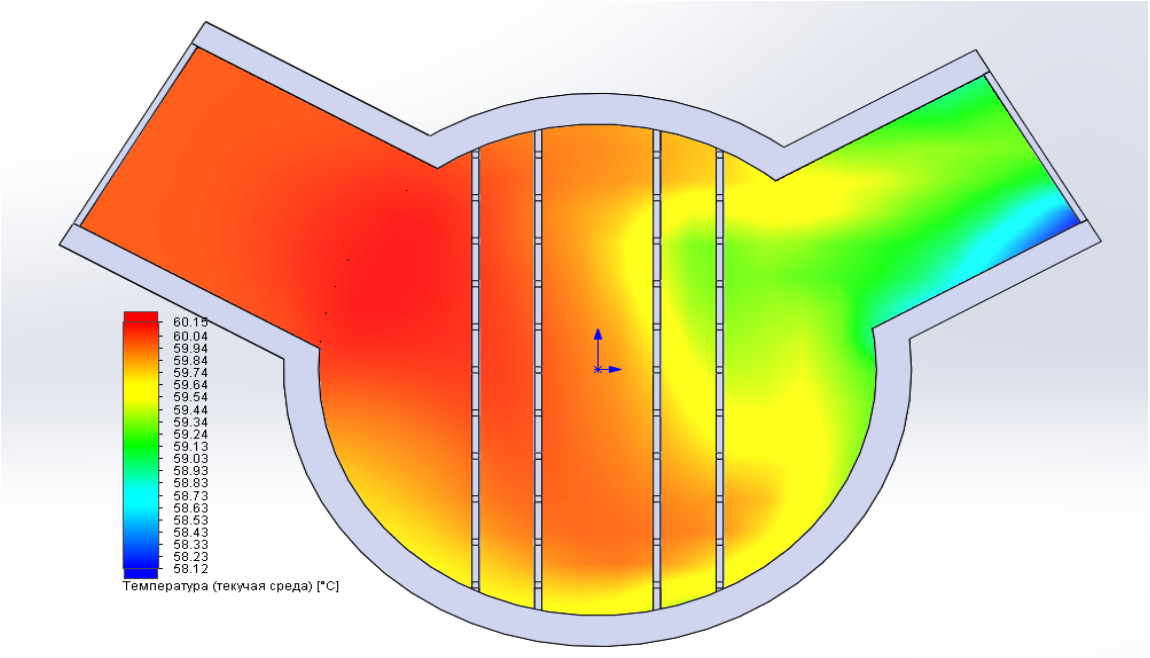


Рис. 3.5 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з бронзи.

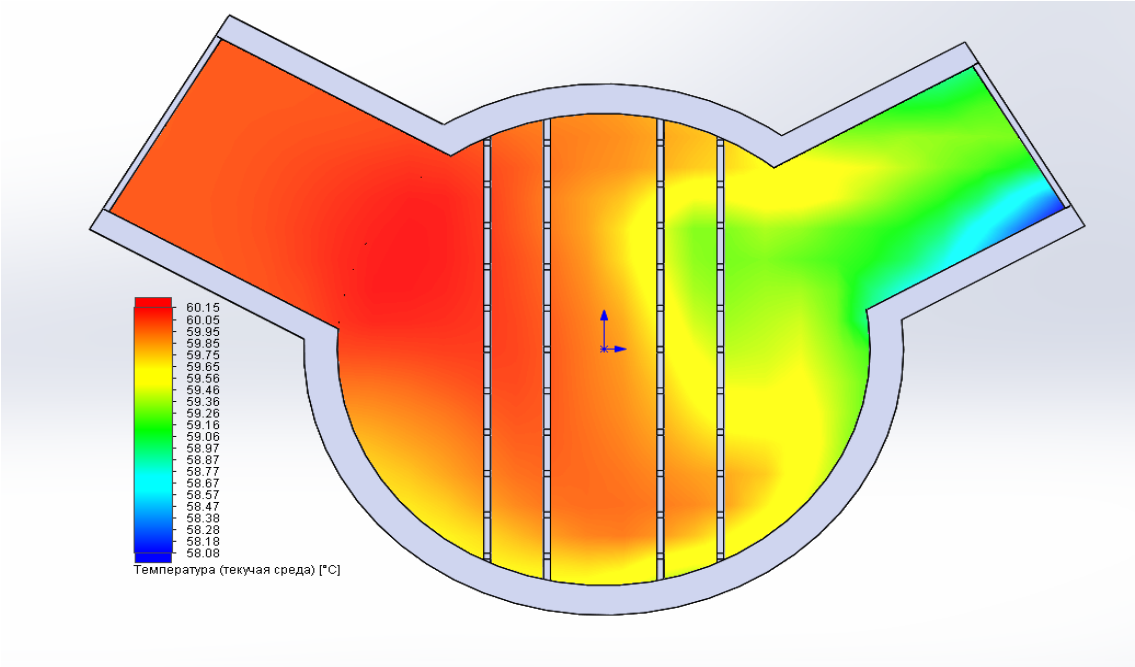


Рис. 3.6 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з міді.

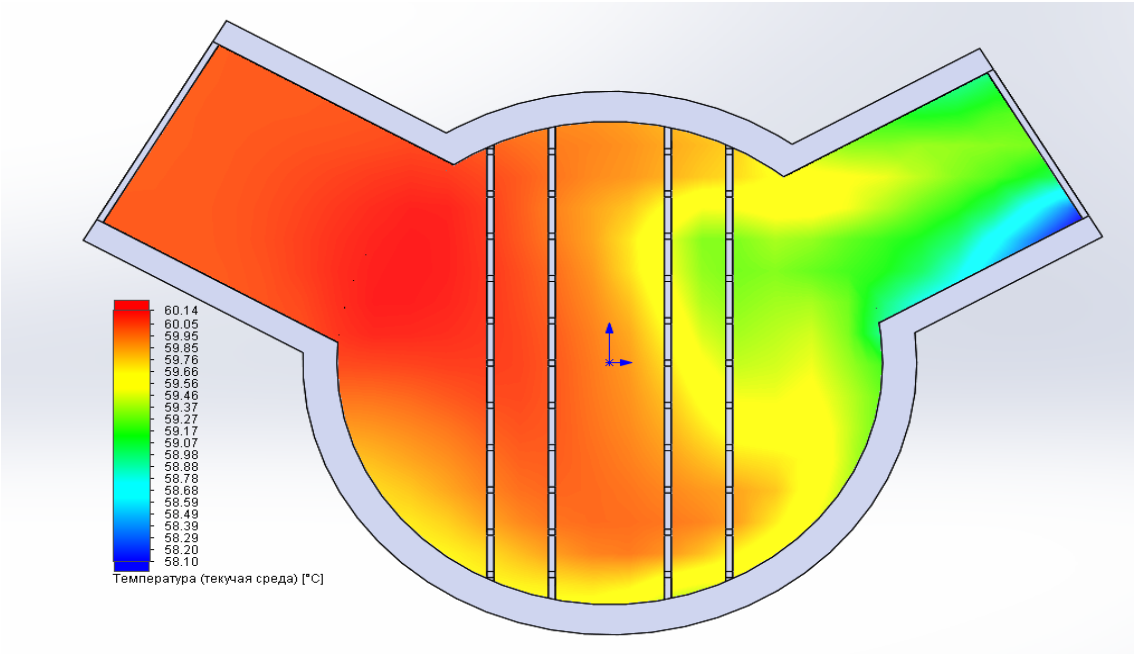


Рис. 3.7 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з латуні.

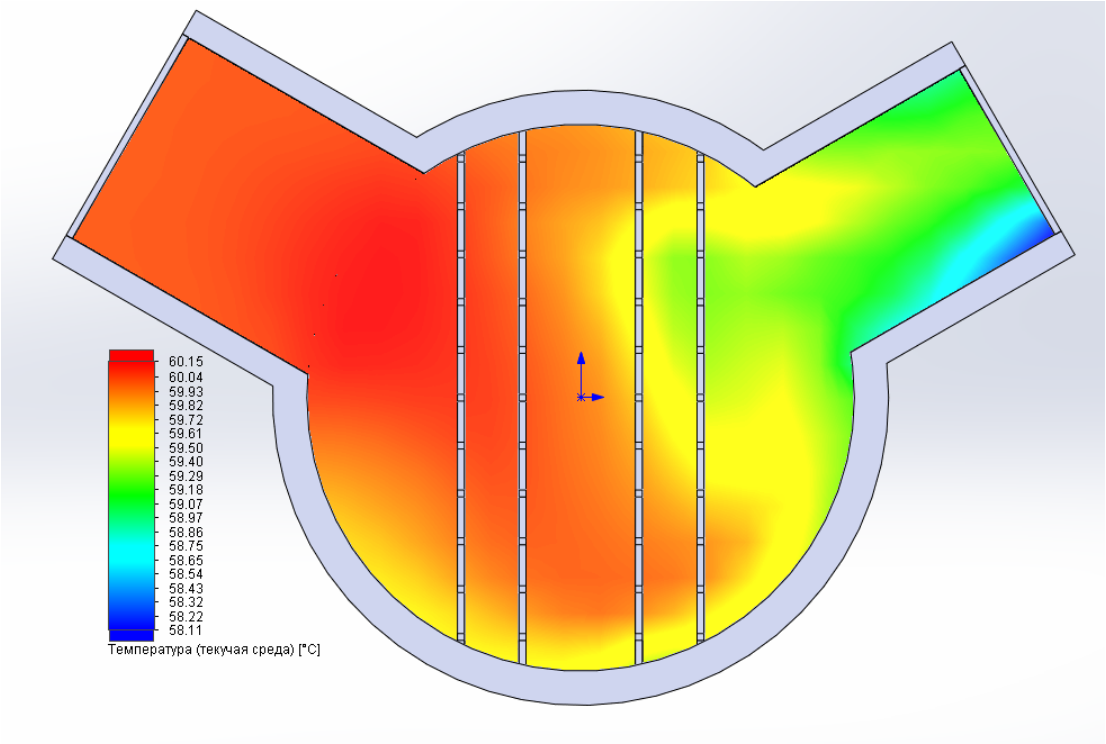


Рис. 3.8 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.1

Найменші значення температур на виході для ТВО з 4-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °C
1	Алюміній	58.10
2	Бронза	58.12
3	Мідь	58.08
4	Латунь	58.10
5	Нержавіюча сталь	58.11

Як можна побачити результат не сильно відрізняється, але краще охолодила повітря мідь. В наступному розрахунку використаємо ТВО з 6-ома решітками (рис 3.9) з тим самим набором матеріалів и побачимо результати (Рис. 3.10), (Рис. 3.11), (Рис. 3.12), (Рис. 3.13), (Рис. 3.14).

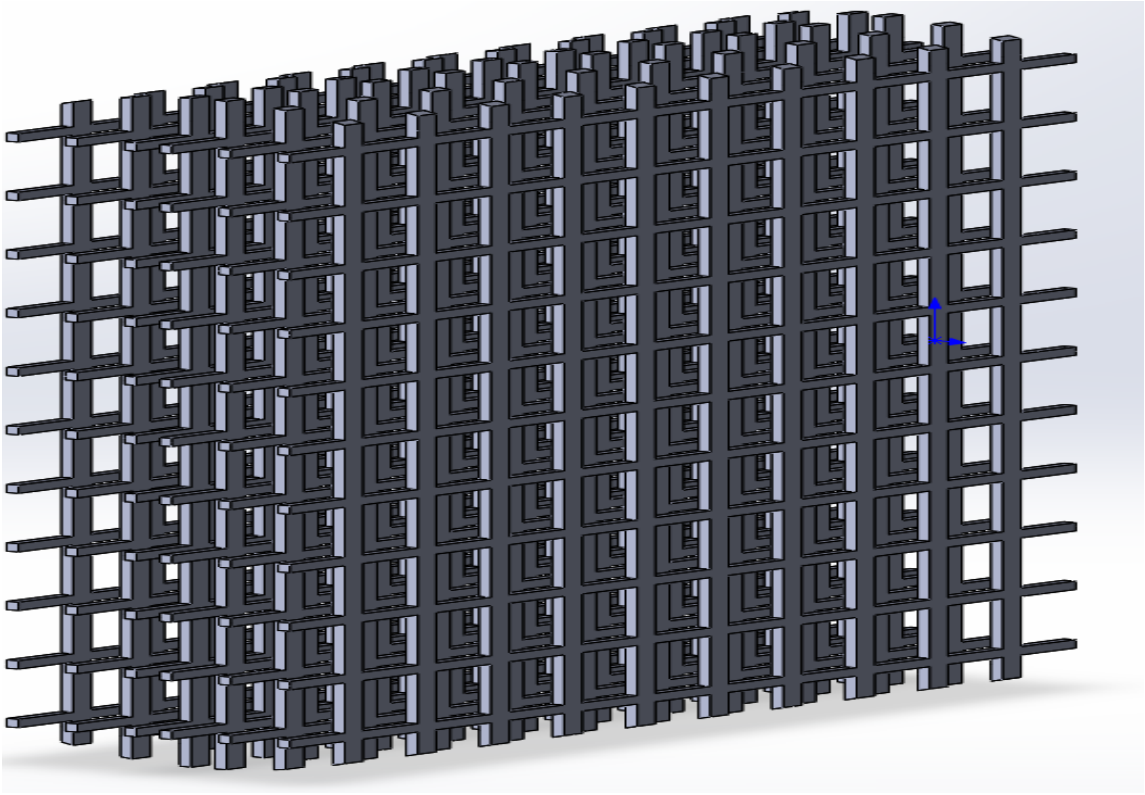


Рис. 3.9 Модель сітки з 6-ти решіток.

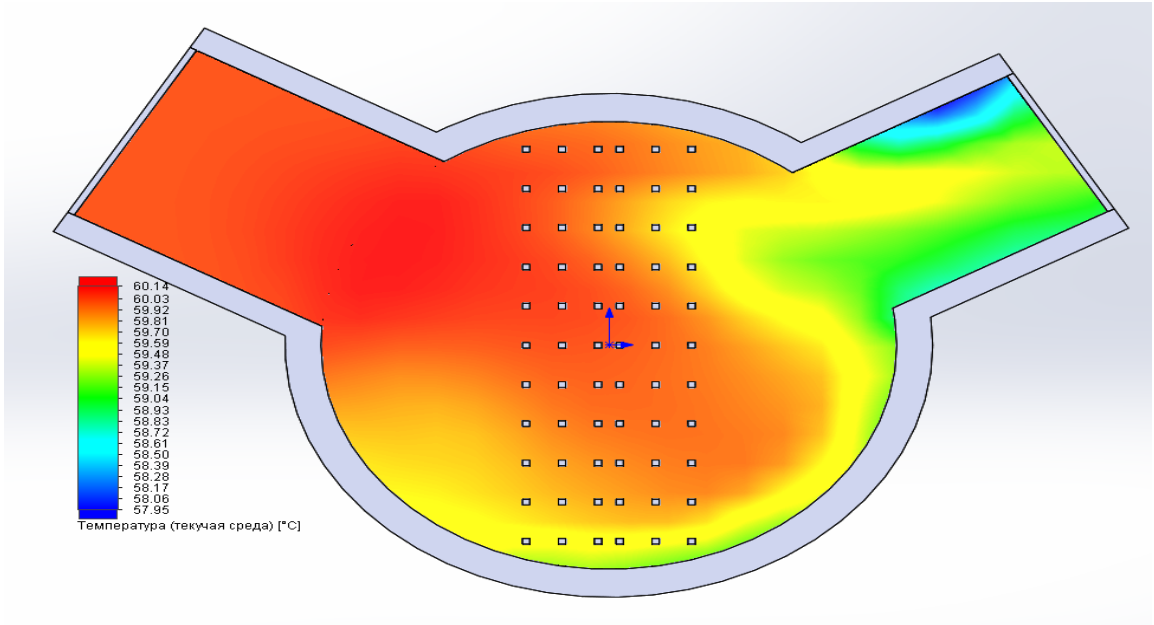


Рис. 3.10 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з алюмінію.

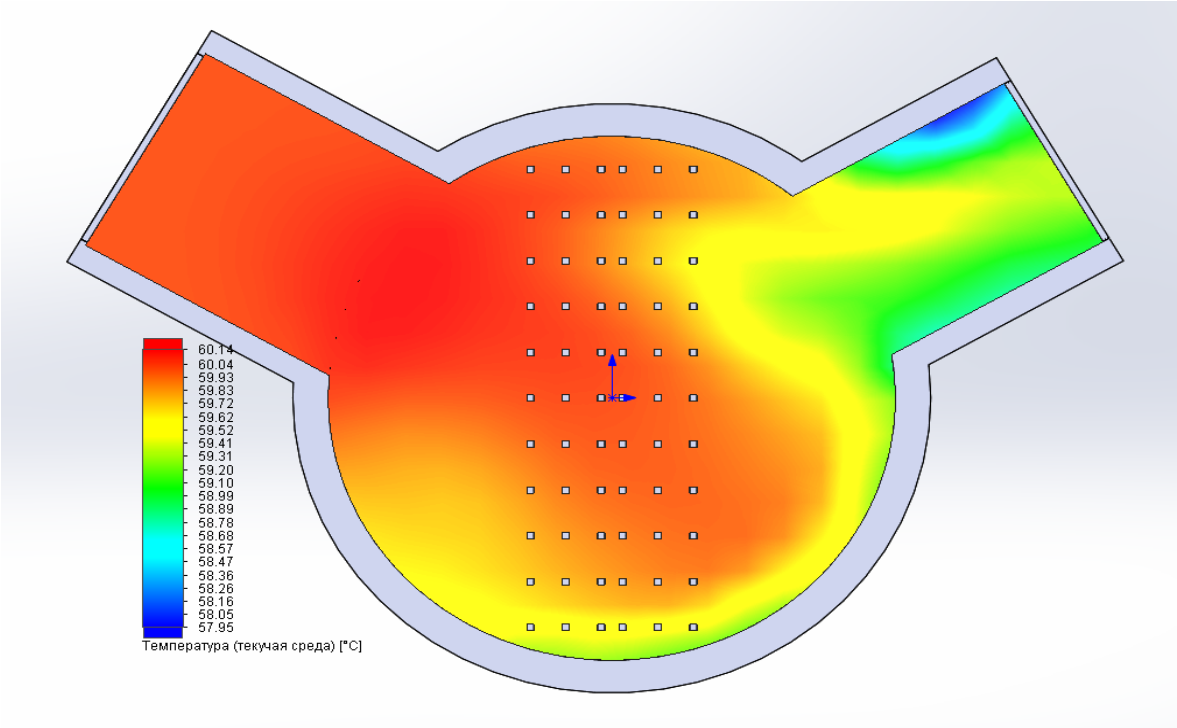


Рис. 3.11 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з бронзи.

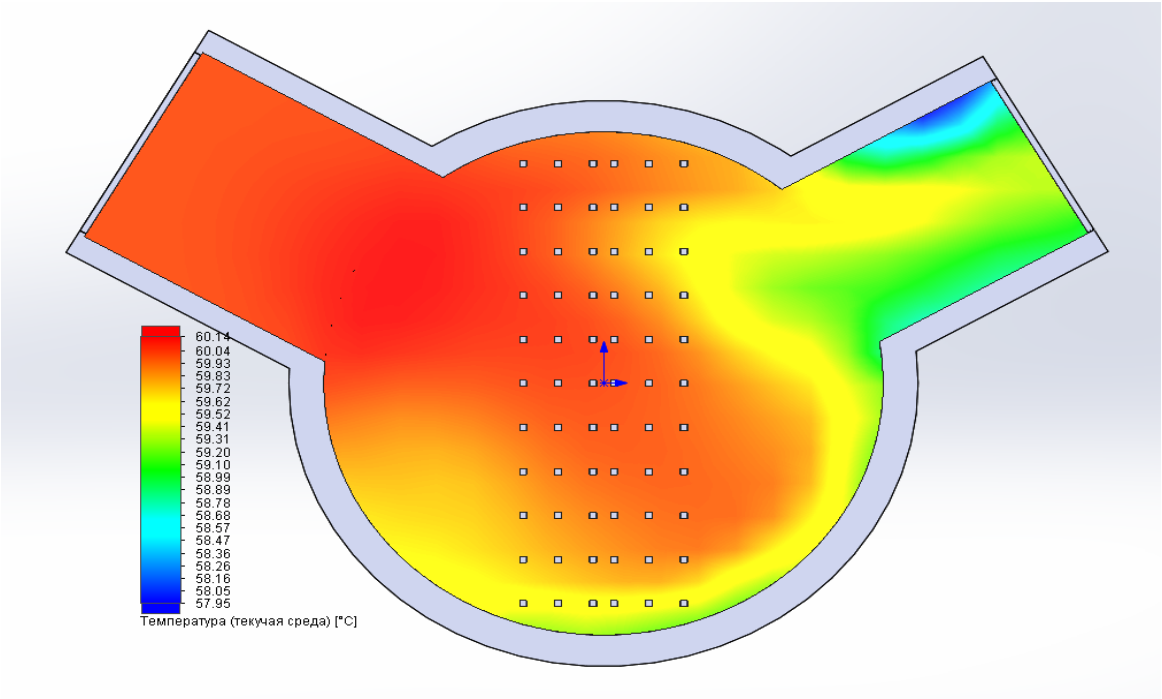


Рис. 3.12 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з міді.

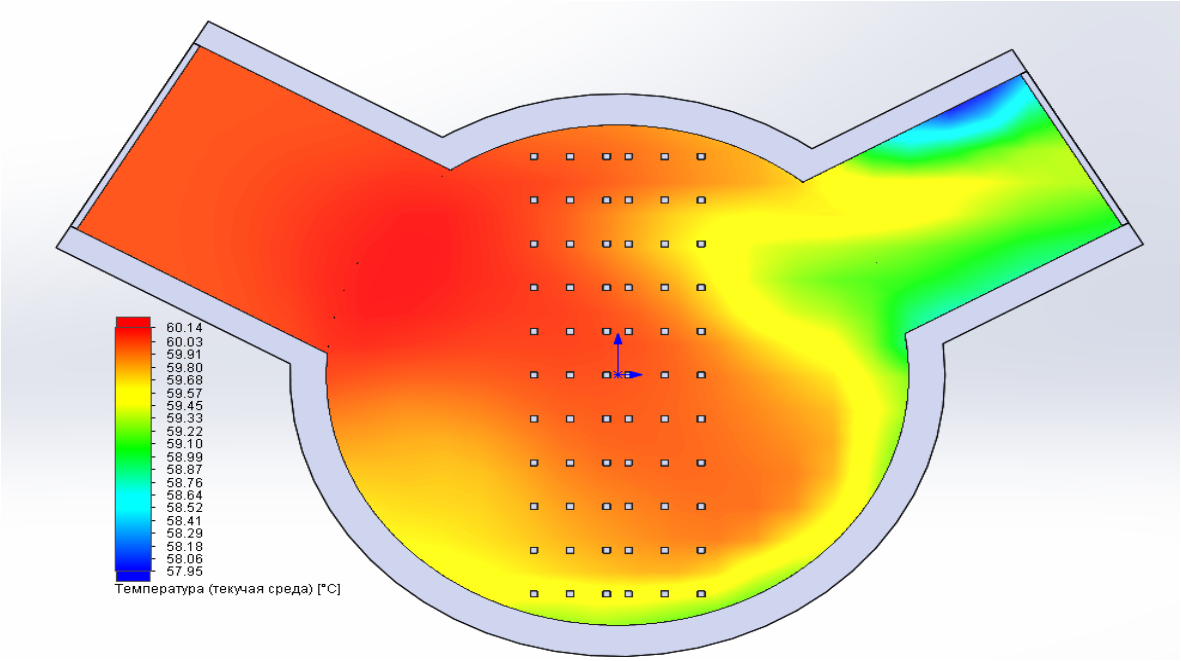


Рис. 3.13 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з латуні.

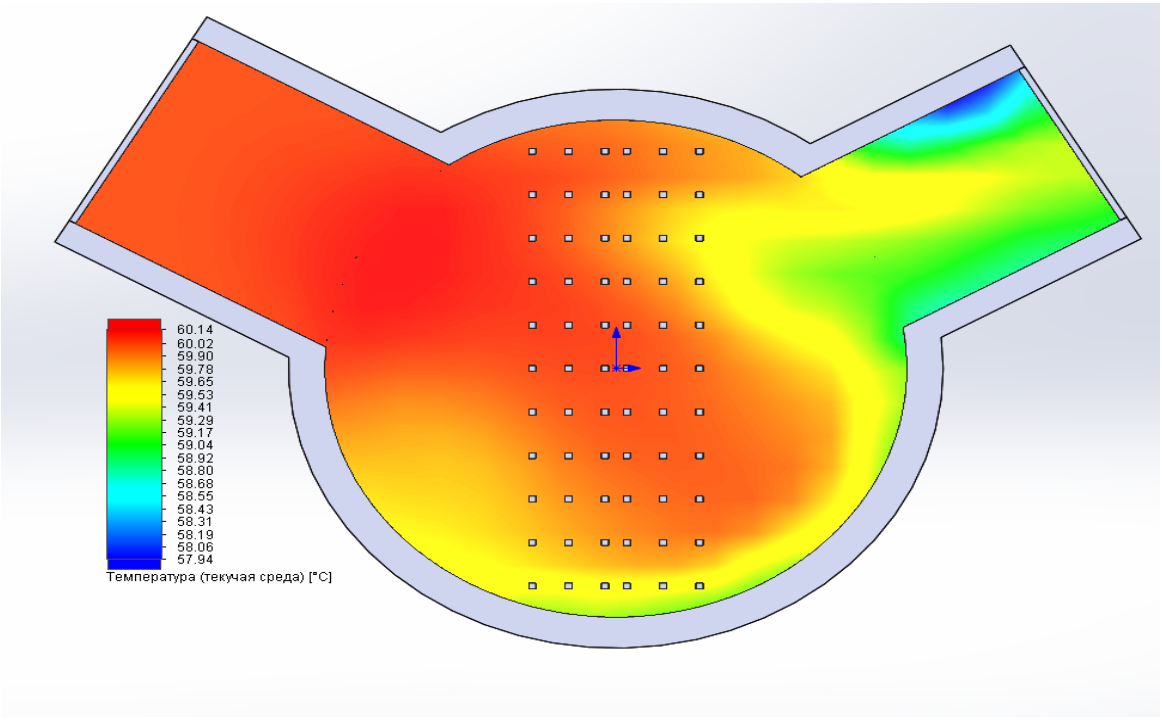


Рис. 3.14 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.2

Найменші значення температур на виході для ТВО з 6-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °C
1	Алюміній	57.95
2	Бронза	57.95
3	Мідь	57.95
4	Латунь	57.95
5	Нержавіюча сталь	57.94

Кращий результат в нержавіючої сталі. Далі розглядатиметься варіант з 8-ма решітками (Рис. 3.15) та побачите отримані результати (Рис. 3.16) (Рис. 3.17) (Рис. 3.18) (Рис. 3.19) (Рис. 3.20)

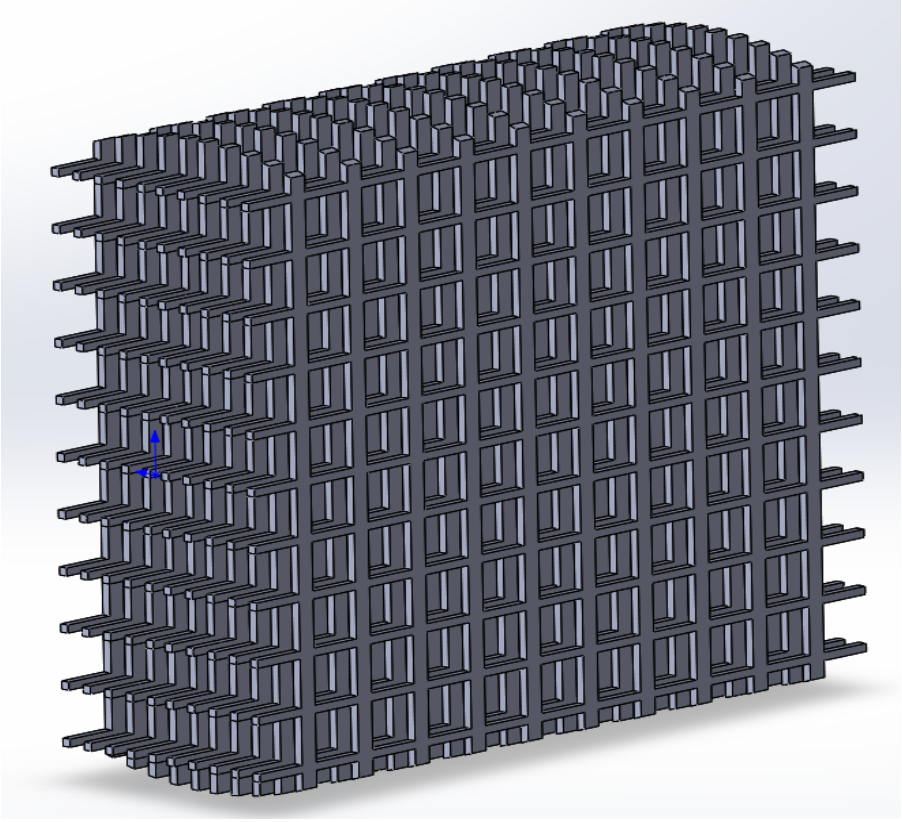


Рис. 3.14 Модель сітки з 8-ти решіток.

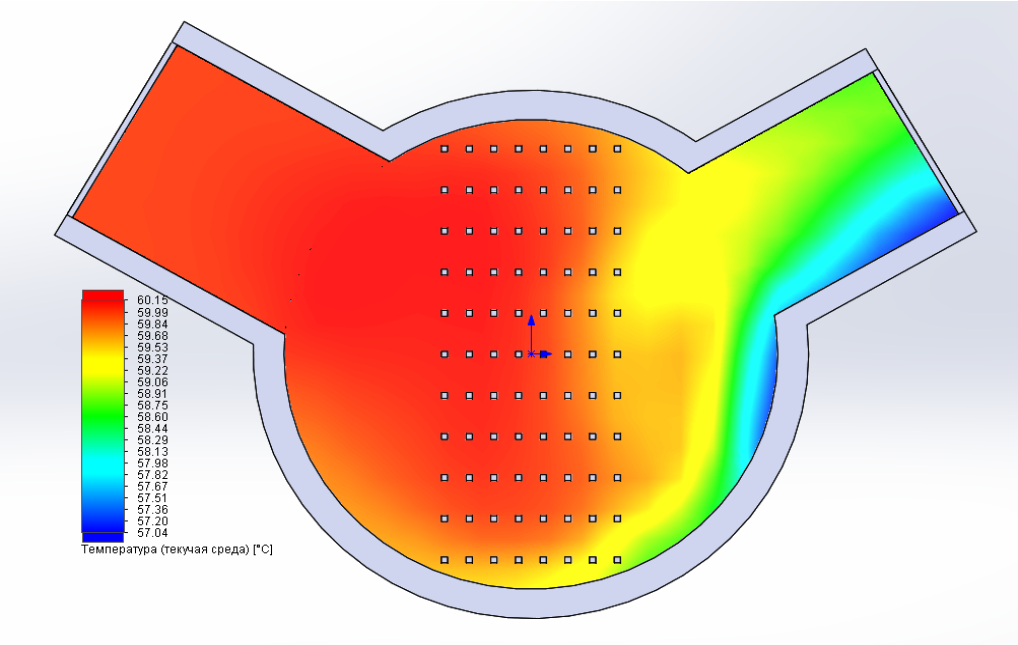


Рис. 3.16 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з алюмінію.

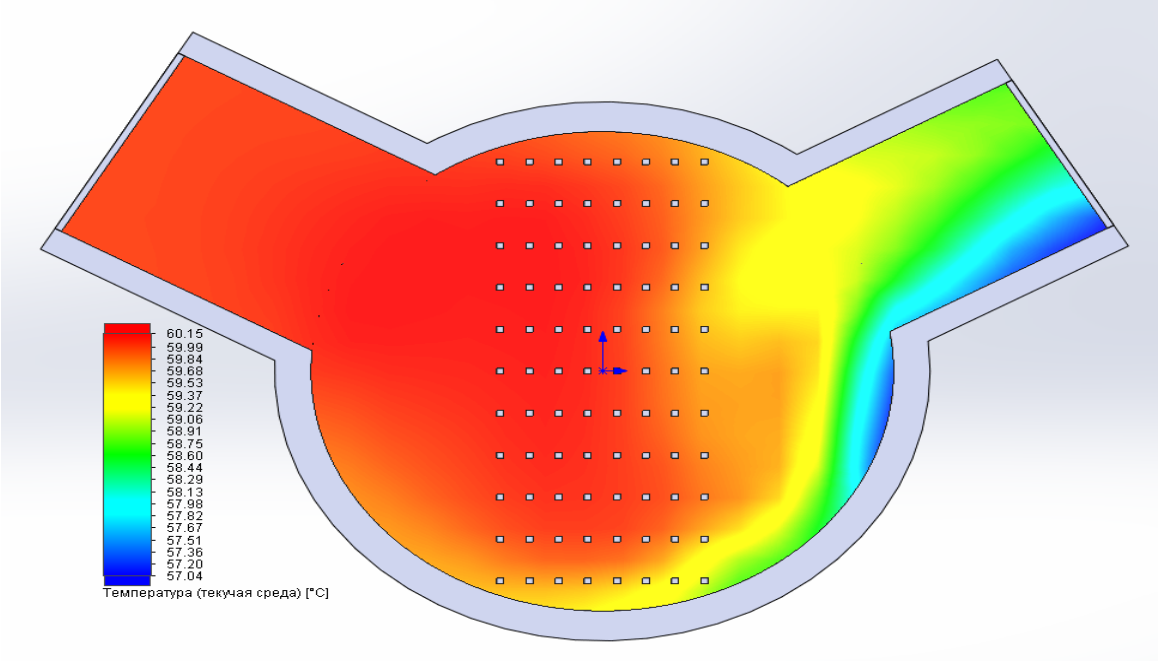


Рис. 3.17 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з бронзи.

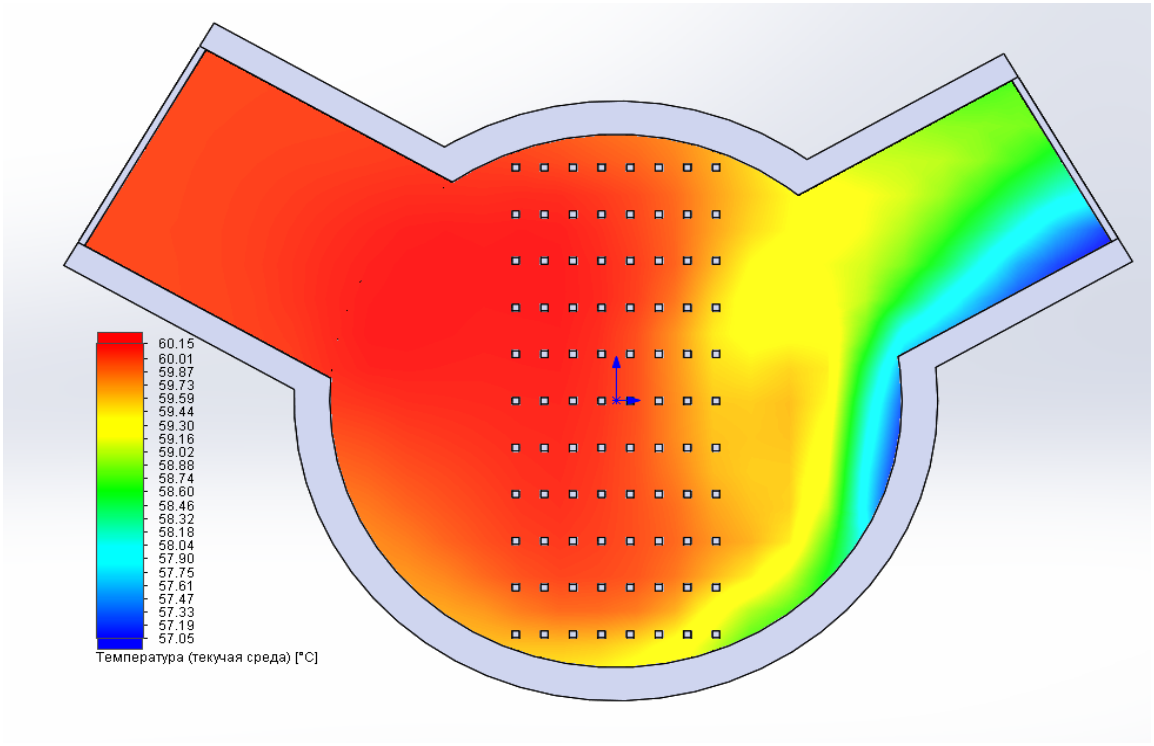


Рис. 3.18 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з міді.

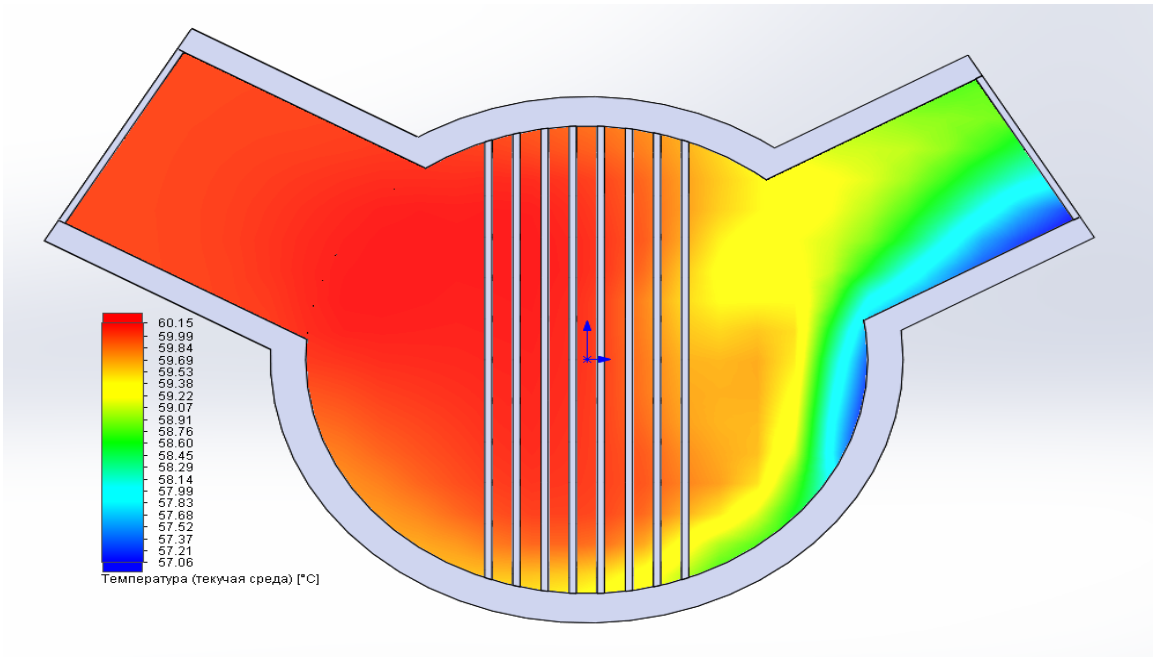


Рис. 3.19 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з латуні.

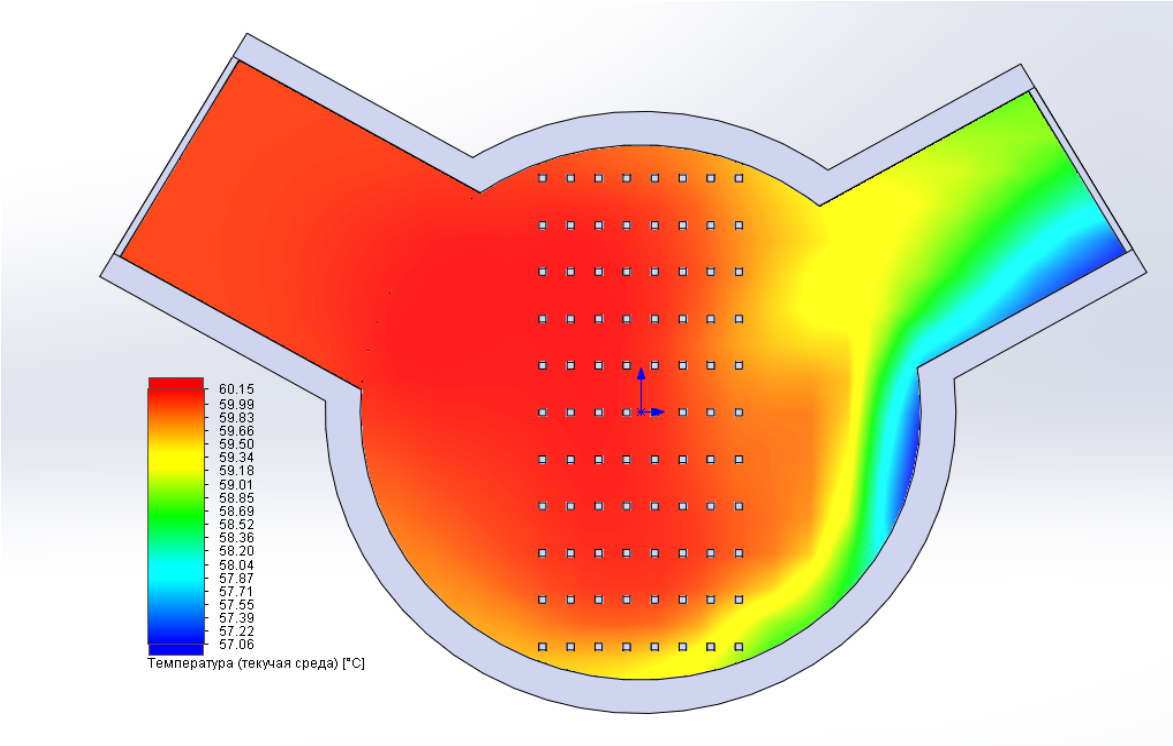


Рис. 3.20 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.3

Найменші значення температур на виході для ТВО з 8-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °С
1	Алюміній	57.04
2	Бронза	57.04
3	Мідь	57.05
4	Латунь	57.06
5	Нержавіюча сталь	57.06

Наступний крок – ТВО з 10-ма решітками (Рис. 3.21) та отримані результати (Рис. 3.22), (Рис. 3.23), (Рис. 3.24),(Рис. 3.25),(Рис. 3.26).

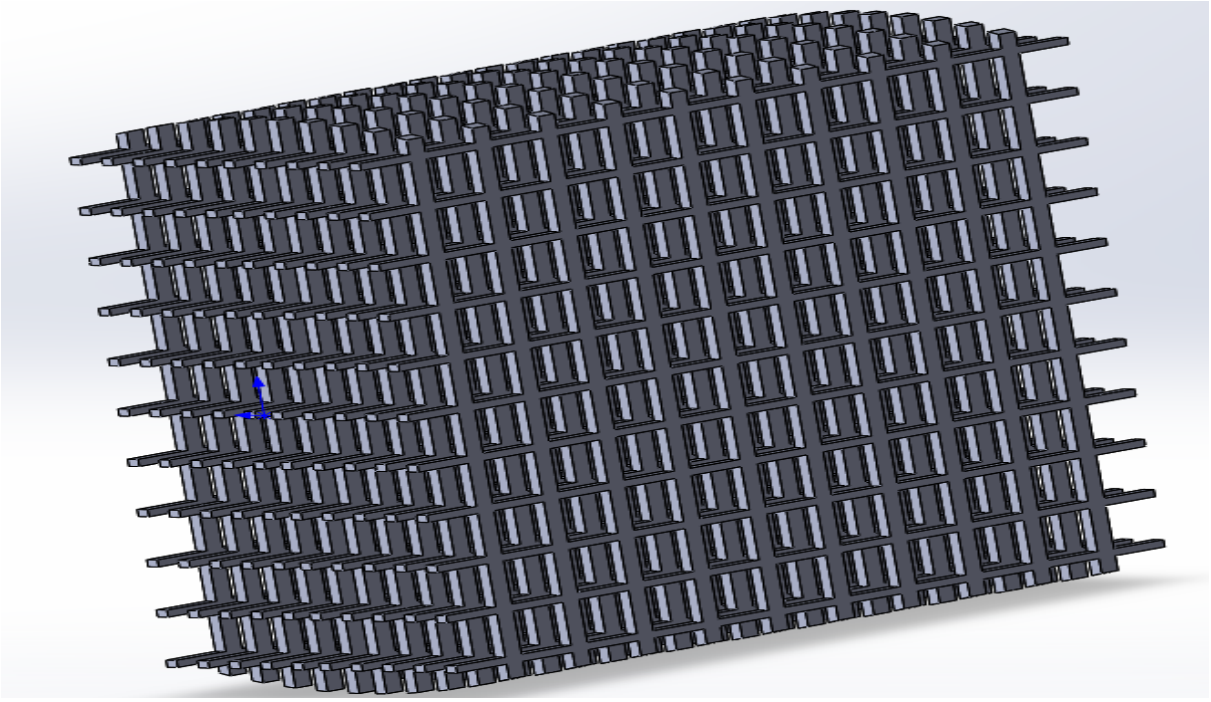


Рис. 3.21 Модель сітки з 10-ти решіток.

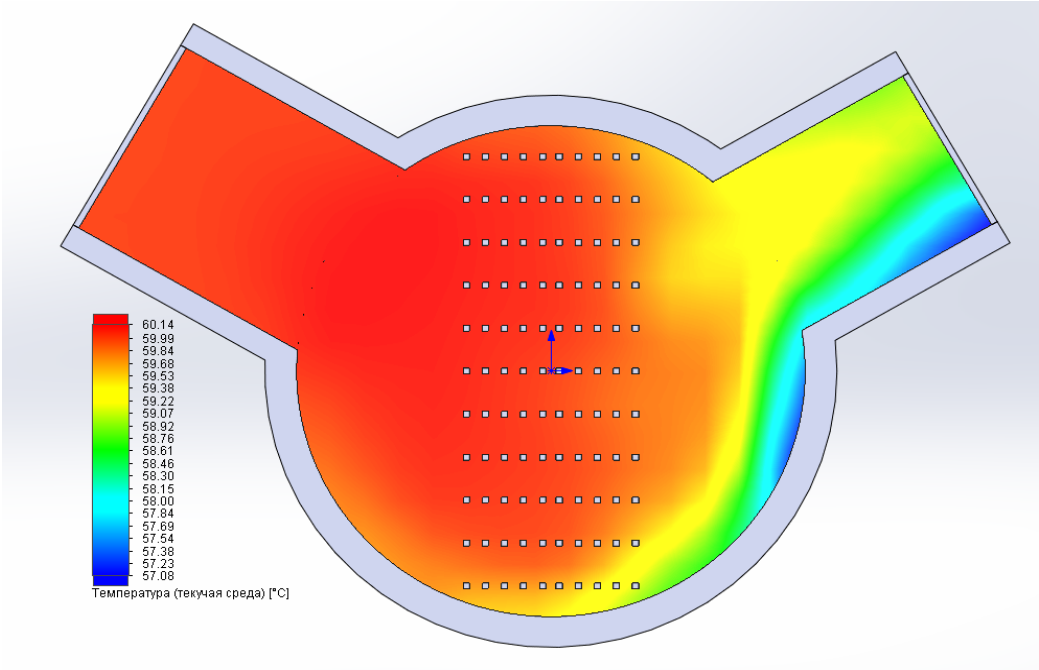


Рис. 3.22 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з алюмінію.

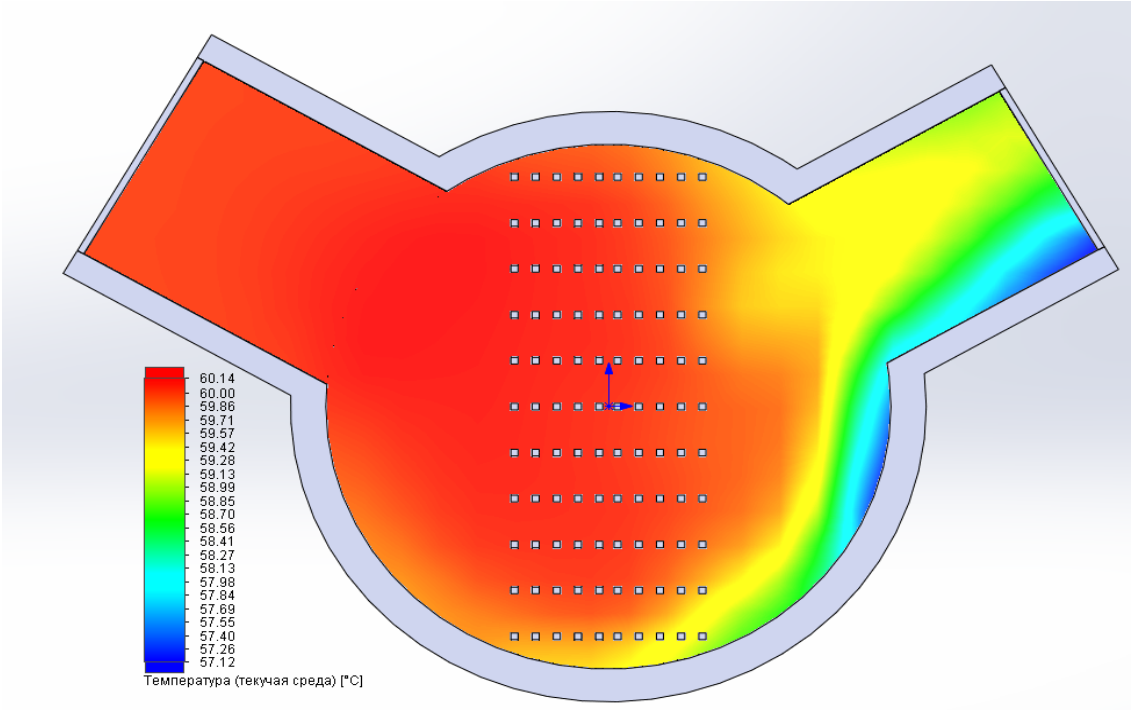


Рис. 3.23 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками бронзи.

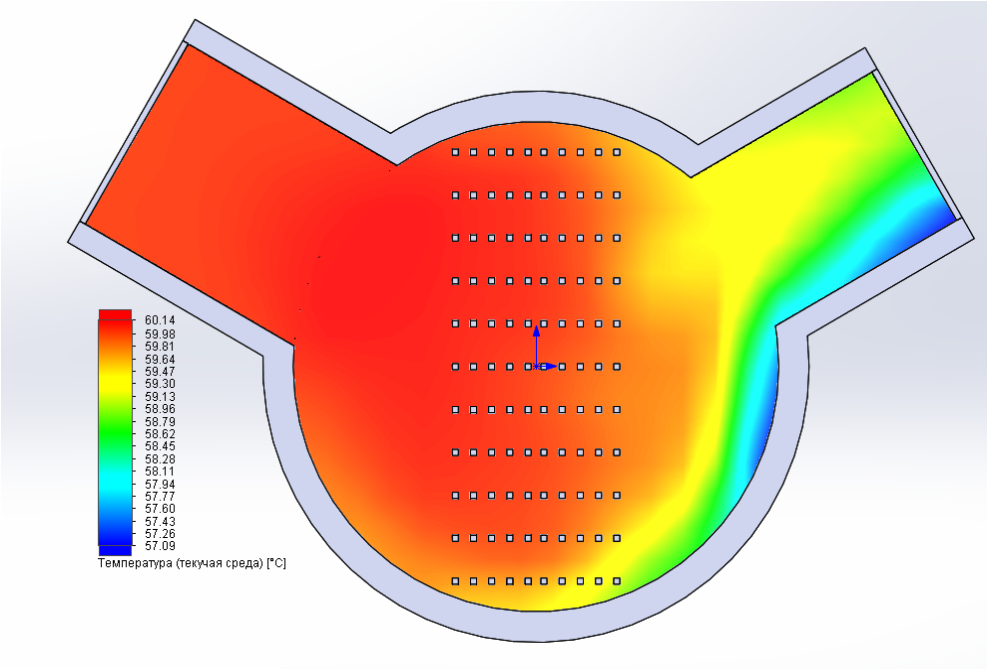


Рис. 3.24 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з міді.

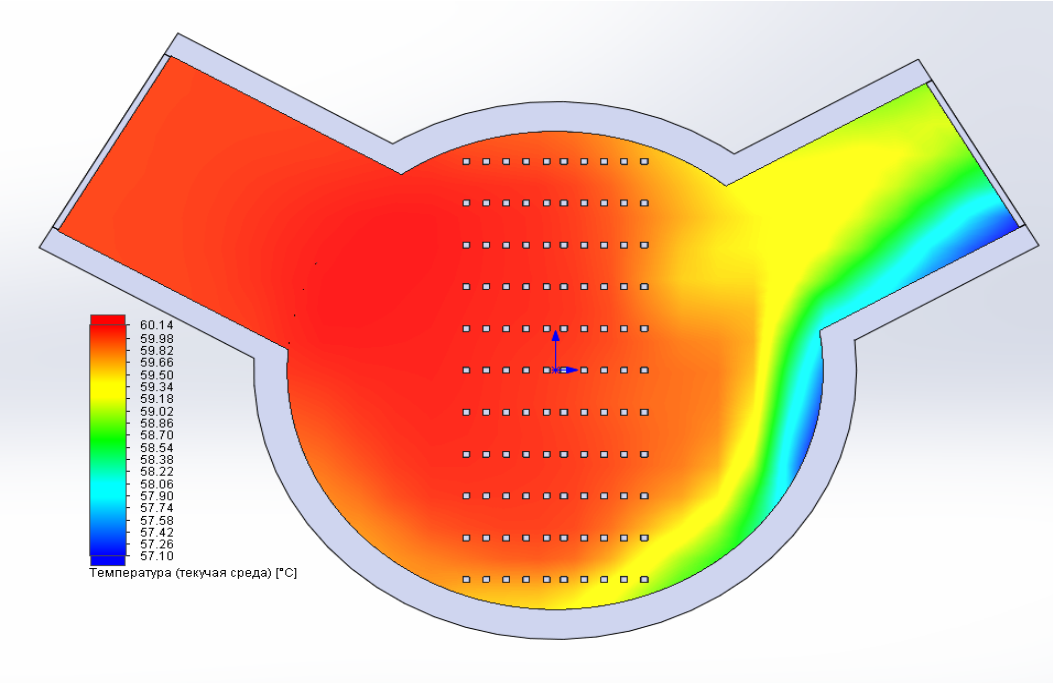


Рис. 3.25 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з латуні.

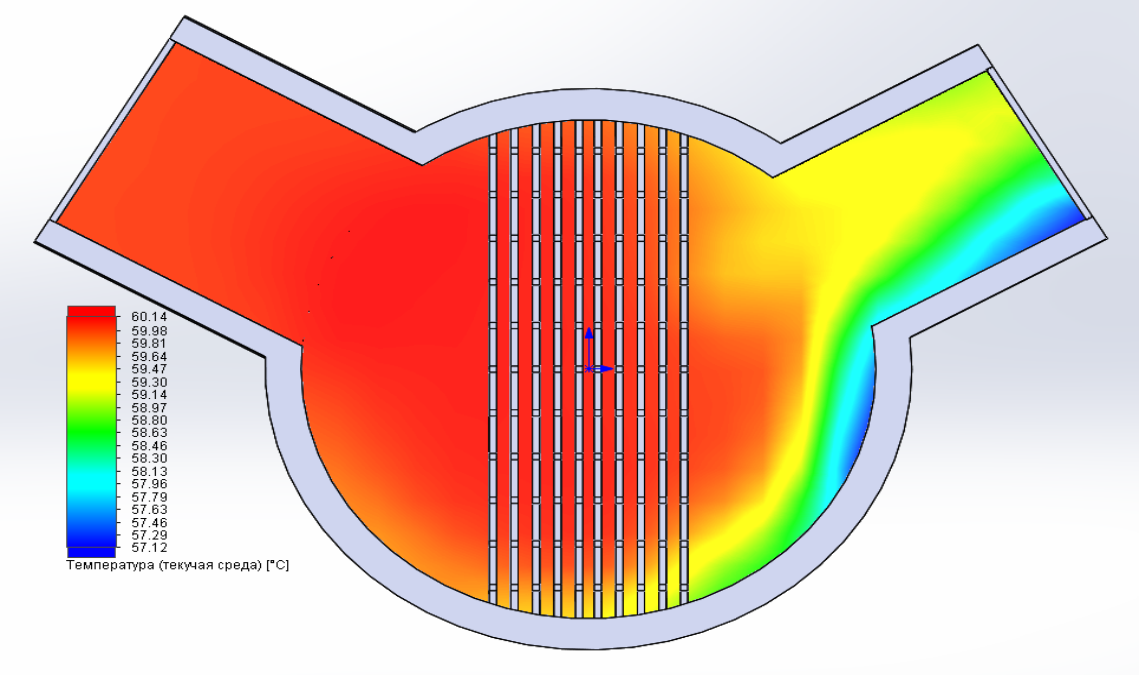


Рис. 3.26 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.4

Найменші значення температур на виході для ТВО з 10-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °C
1	Алюміній	57.08
2	Бронза	57.12
3	Мідь	57.09
4	Латунь	57.10
5	Нержавіюча сталь	57.12

Кращій варіант – алюміній. Далі рахуємо модель з 12-ю решітками (Рис. 3.27) та аналізуємо отримані результати (Рис. 3.28), (Рис. 3.29), (Рис. 3.30), (Рис. 3.31), (Рис. 3.32).

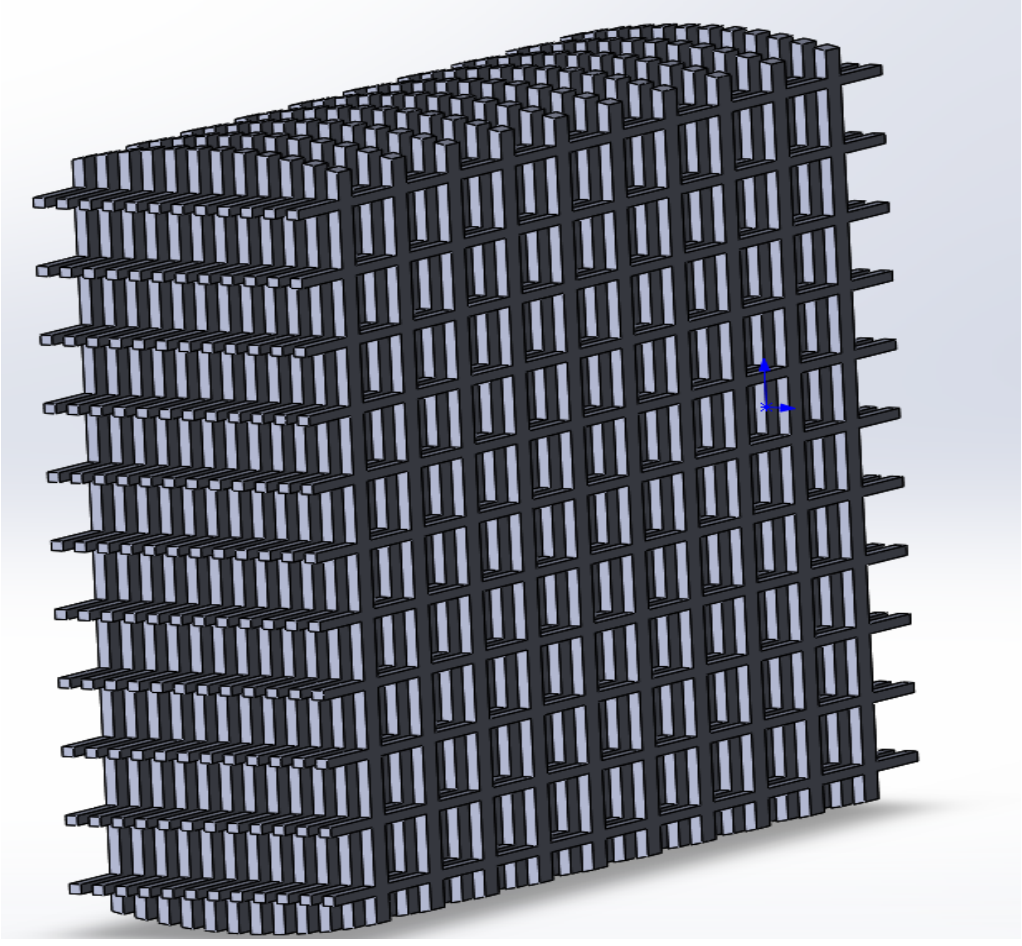


Рис. 3.27 Модель сітки з 12-ти решіток.

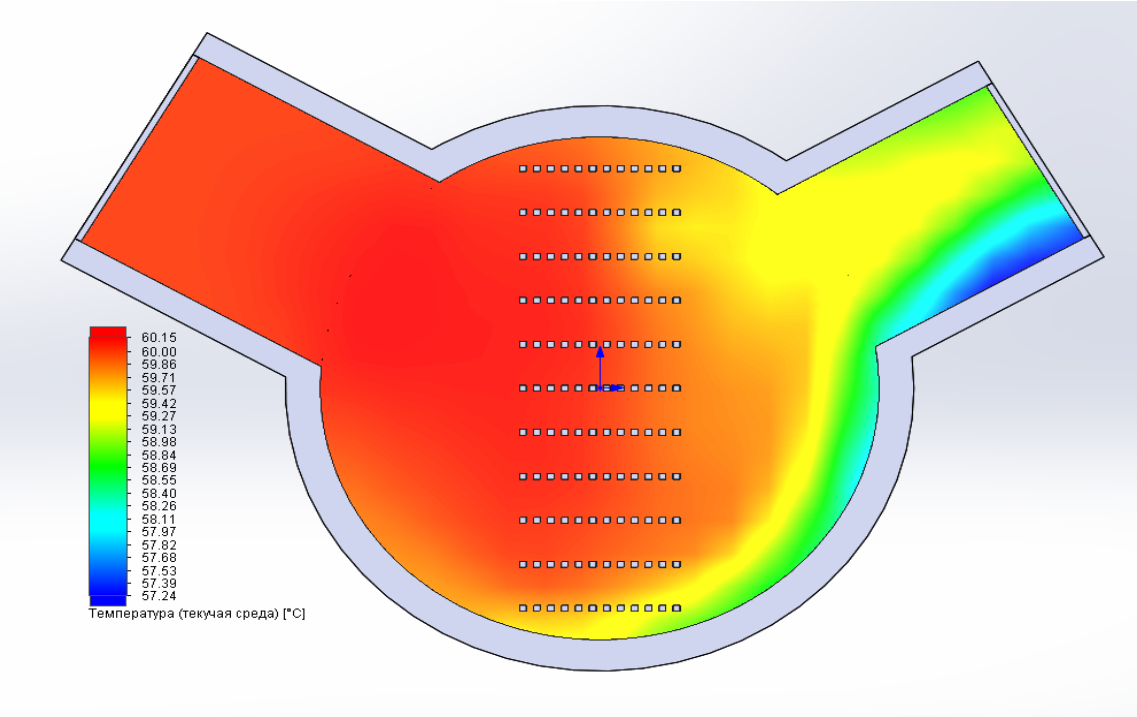


Рис. 3.28 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з алюмінію.

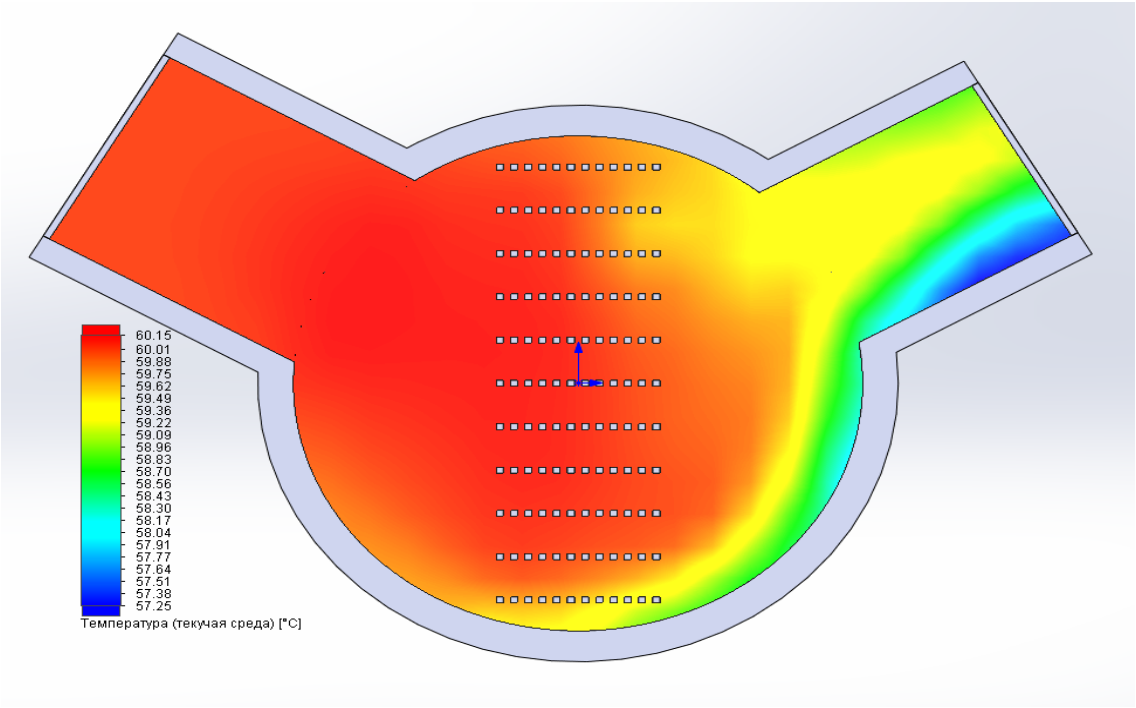


Рис. 3.29 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з бронзи.

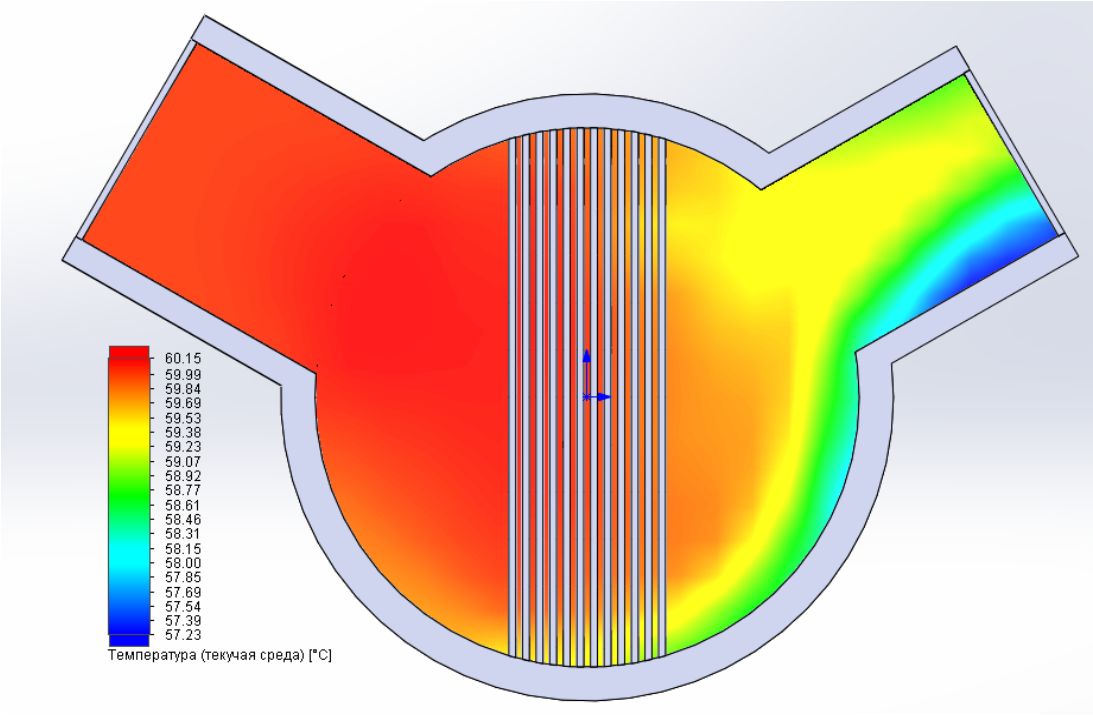


Рис. 3.30 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з міді.

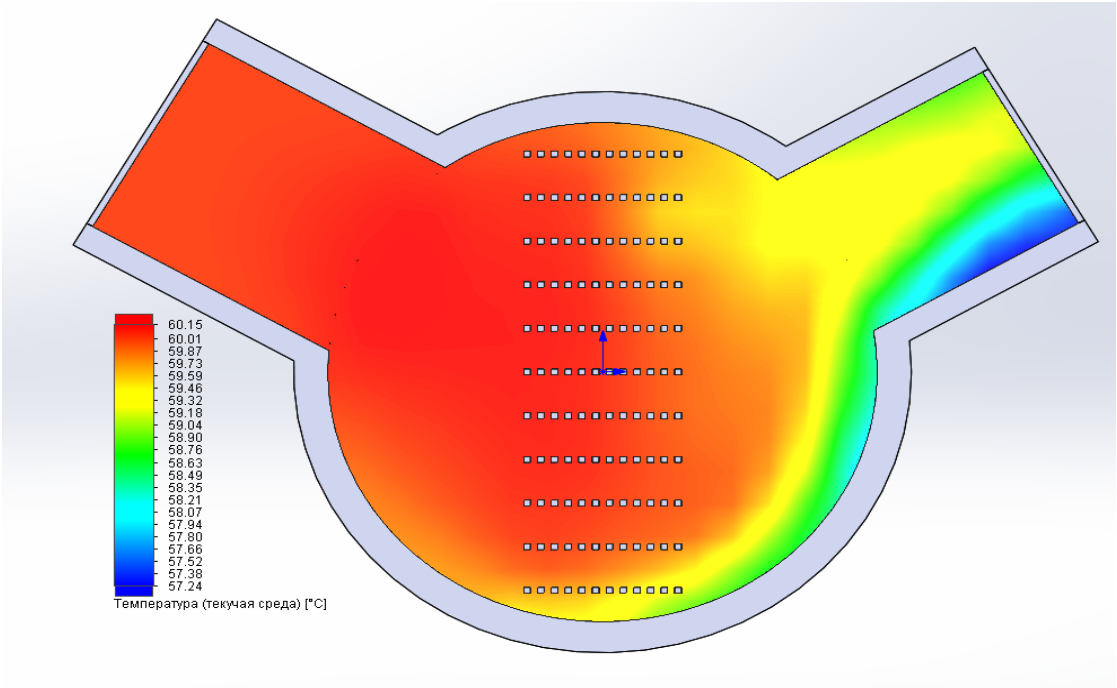


Рис. 3.31 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з латуні.

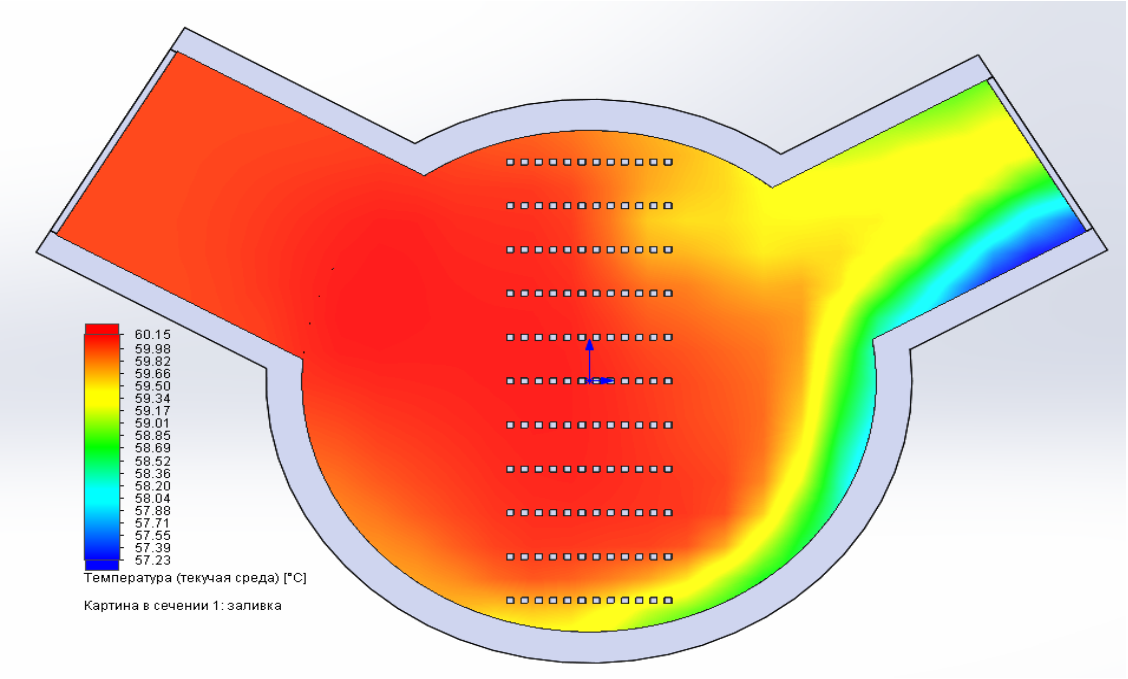


Рис. 3.32 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.5

Найменші значення температур на виході для ТВО з 12-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °С
1	Алюміній	57.24
2	Бронза	57.25
3	Мідь	57.23
4	Латунь	57.24
5	Нержавіюча сталь	57.23

Кращі результати в нержавіючої сталі та міді. Фінальним кроком в дослідженні звичайної моделі ТВО буде модель з 14-ма решітками (Рис.3.33)та ще один варіант, у якому решітки будуть розташовані щільніше (Рис. 3.34). Нижче наведені отримані результати (Рис. 3.35), (Рис. 3.36), (Рис. 3.37), (Рис. 3.38), (Рис. 3.39), (Рис.3.40).

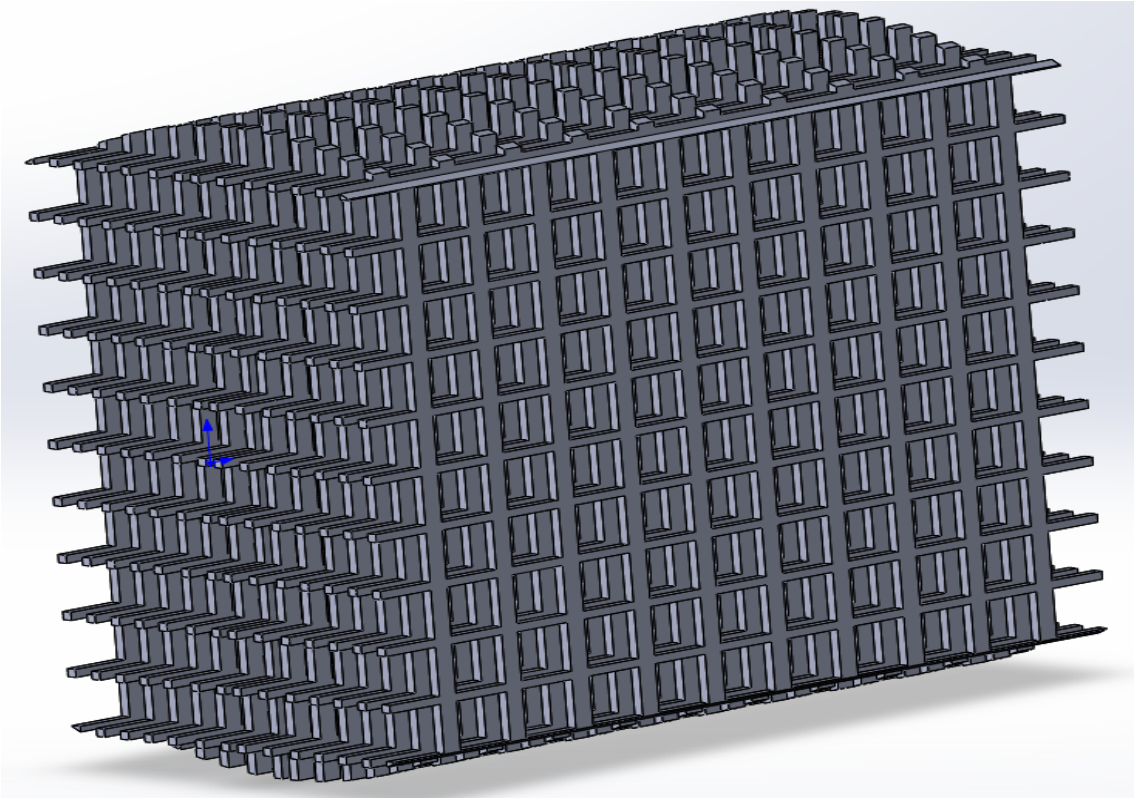


Рис. 3.33 Модель сітки з 14-ти решіток.

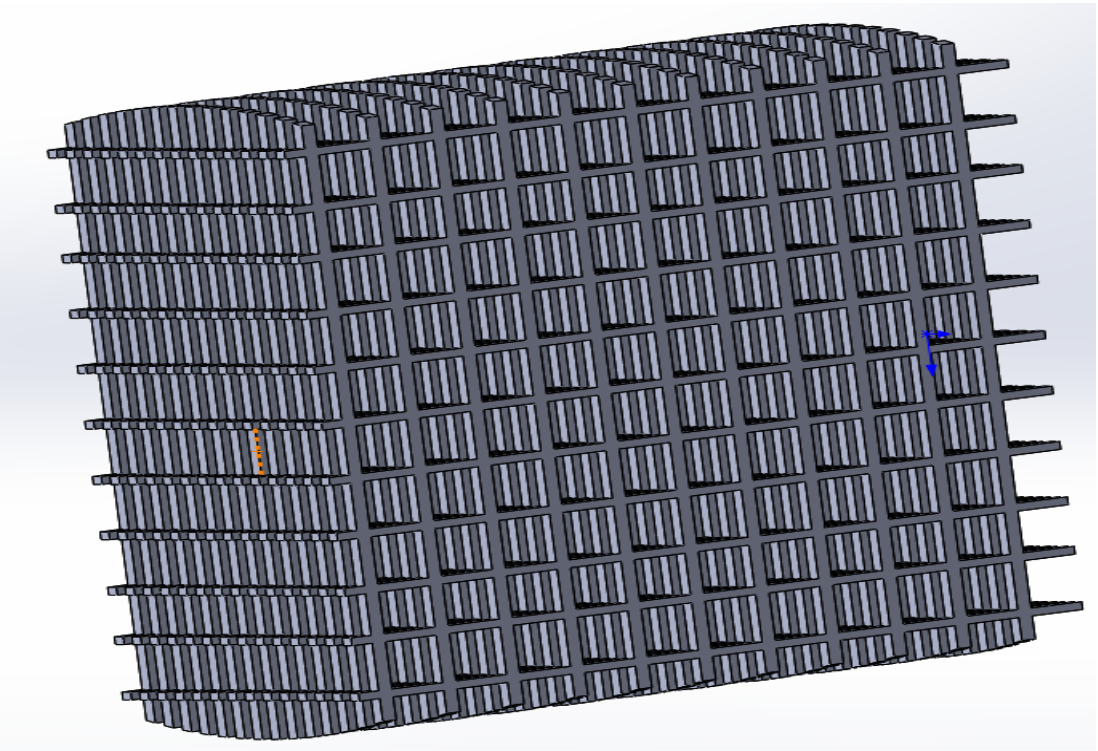


Рис. 3.34 Модель сітки з 14-ти решіток(з щільним розташуванням).

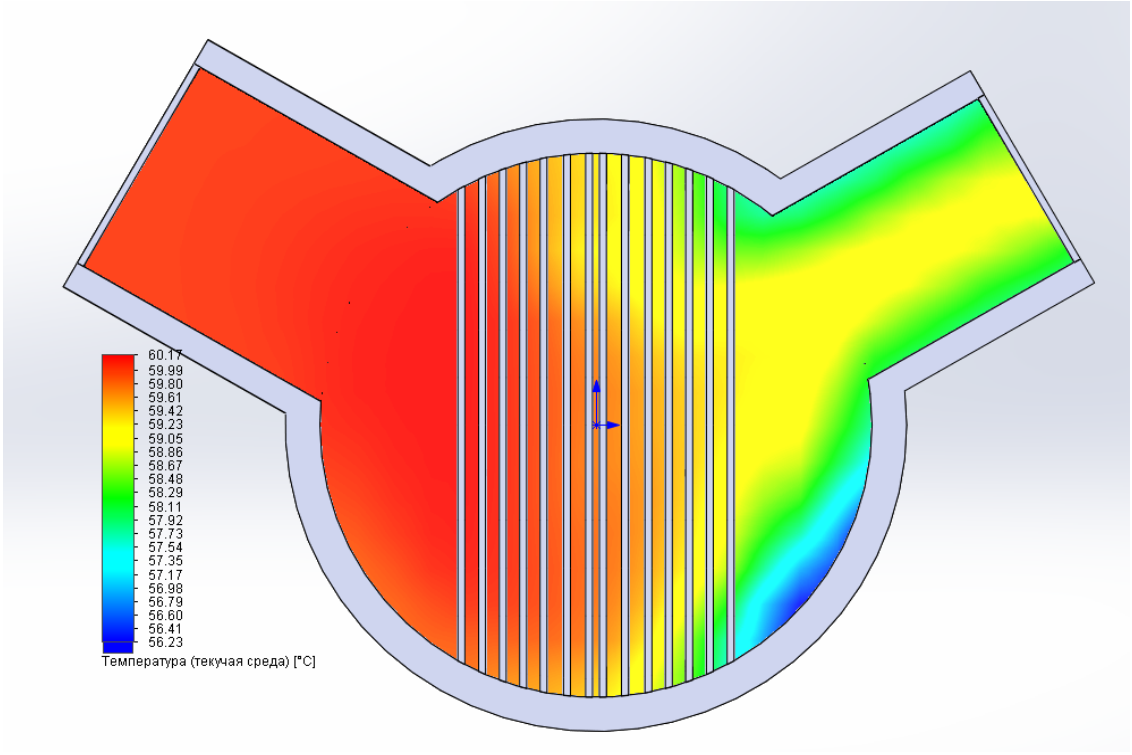


Рис. 3.35 Результат моделювання ТВО з 14-ма решітками виготовленими з алюмінію.

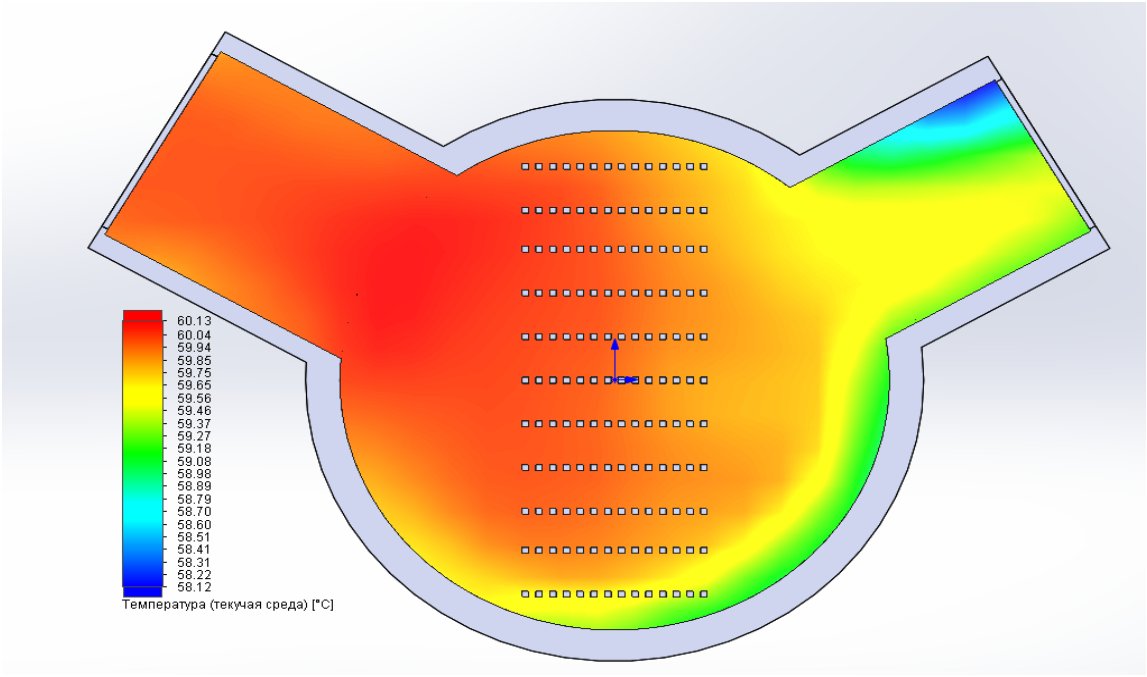


Рис. 3.36 Результат моделювання ТВО з 14-ма решітками виготовленими з алюмінію (для варіанту з щільним розташуванням).

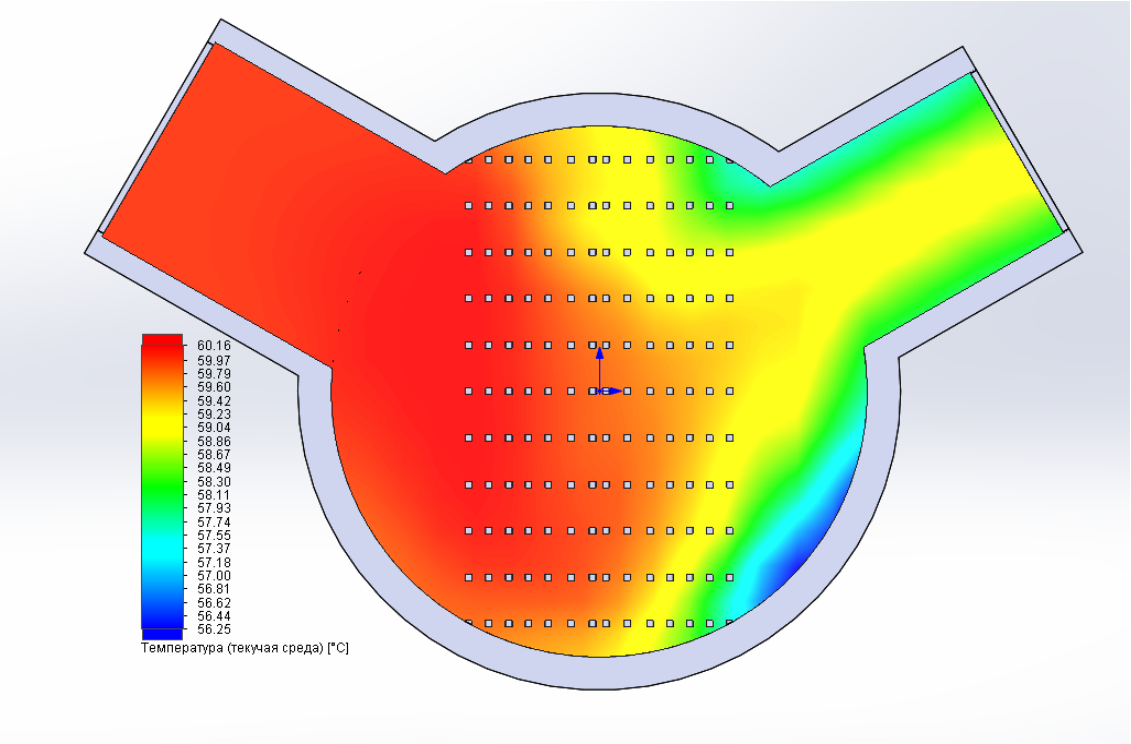


Рис. 3.37 Результат моделювання ТВО з 14-ма решітками виготовленими з бронзи.

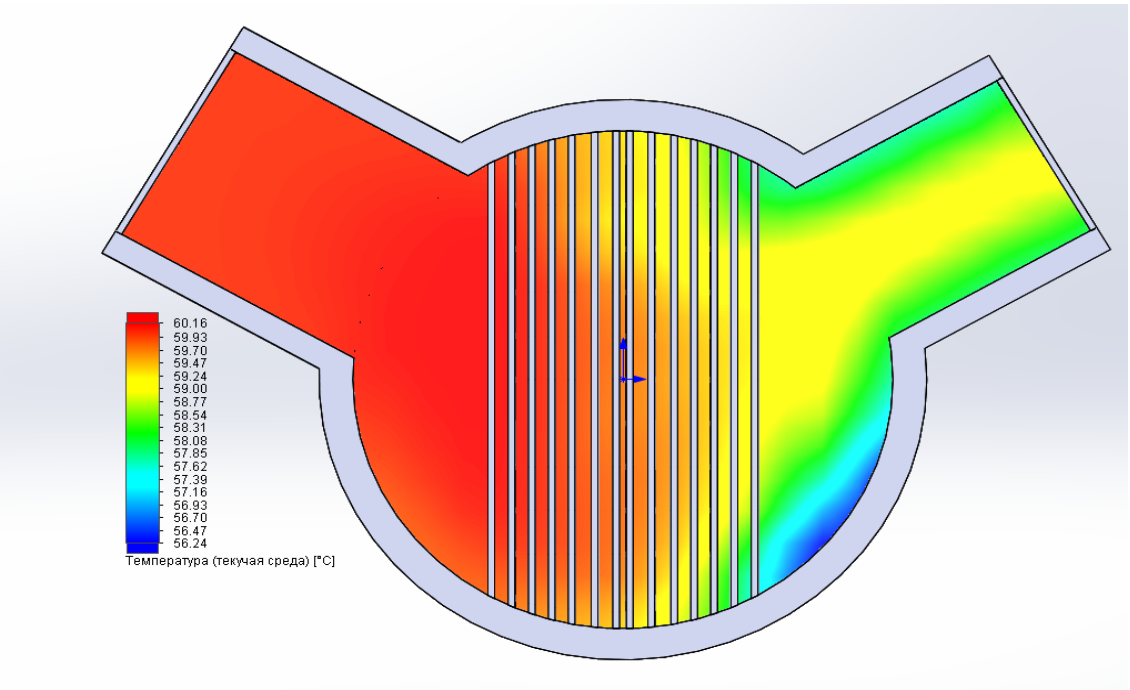


Рис. 3.38 Результат моделювання ТВО з 14-ма решітками виготовленими з міді.

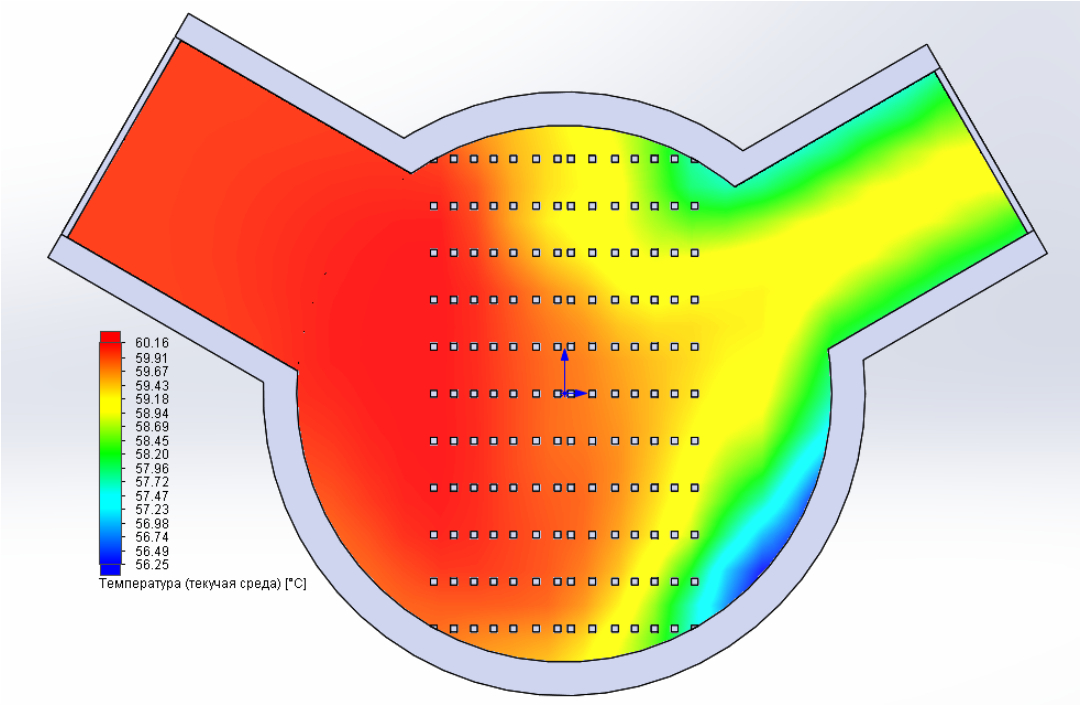


Рис. 3.39 Результат моделювання ТВО з 14-ма решітками виготовленими з латуні.

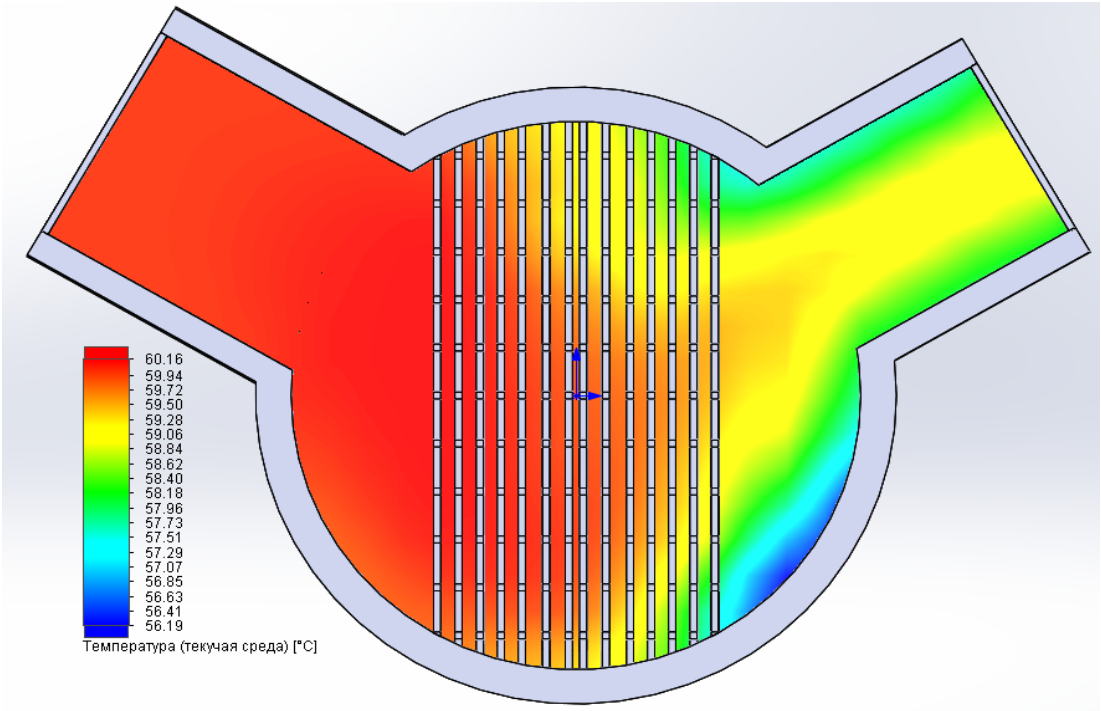


Рис. 3.40 Результат моделювання ТВО з 14-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.6

Найменші значення температур на виході для ТВО з 14-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °C
1	Алюміній	57.61
2	Алюміній(щільний варіант)	58.12
3	Бронза	57.63
4	Мідь	57.64
5	Латунь	57.68
6	Нержавіюча сталь	57.62

Як можна побачити, кращий результат в алюмінію. Щільний варіант – був експериментальною моделлю, який показав гірший результат. Тому було прийнято рішення не роздивлятись сітки з щільніше розташованими решітками. Наступне, що буде розраховано – це зменшена модель ТВО (Рис. 3.41) та (Рис 3.42). Окрім менших габаритів у неї буде лише з 4 до 12 решіток.

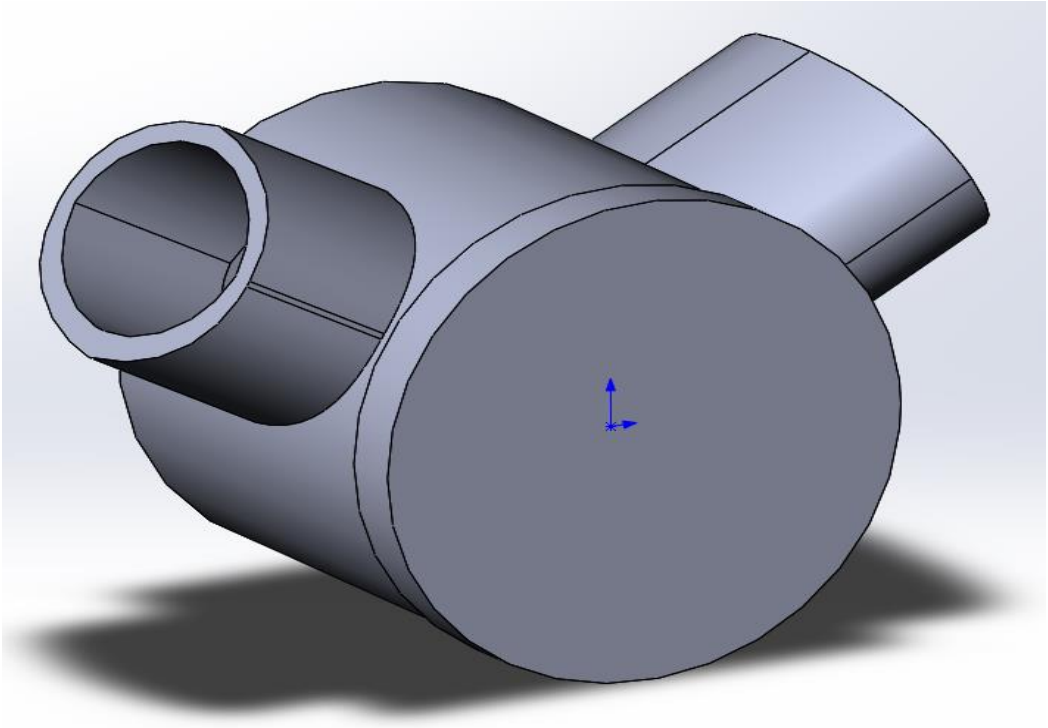


Рис 3.41 Зовнішній вигляд зменшеного ТВО.

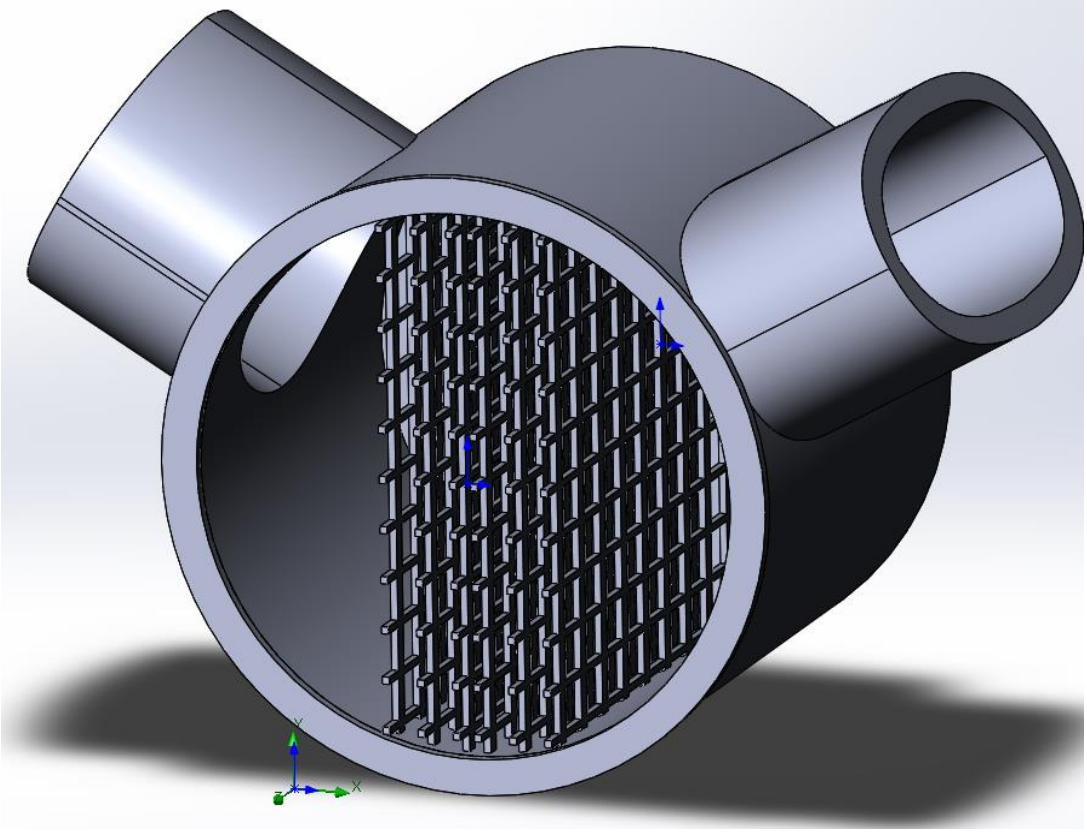


Рис 3.42 Зовнішній вигляд зменшеного ТВО (розріз).

З цією моделлю будуть проведені розрахунки з 4, 6, 8, 10 та 12 решітками. Матеріали залишаються попередні: алюміній, бронза, мідь, латунь, нержавіюча сталь. Тому наступний розрахунок почнеться з моделі з 4-ма решітками (Рис 3.43). Також нижче будуть наведені результати (Рис 3.44), (Рис 3.45), (Рис 3.46), (Рис 3.47), (Рис 3.48).

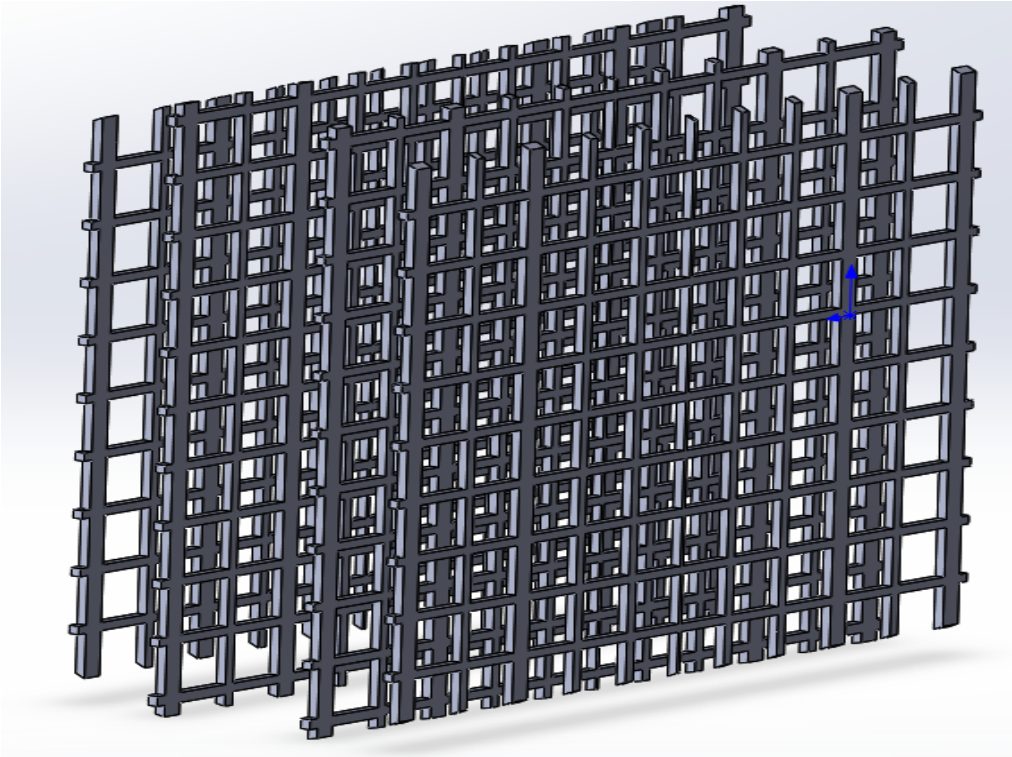


Рис. 3.43 Модель сітки з 4-х решіток

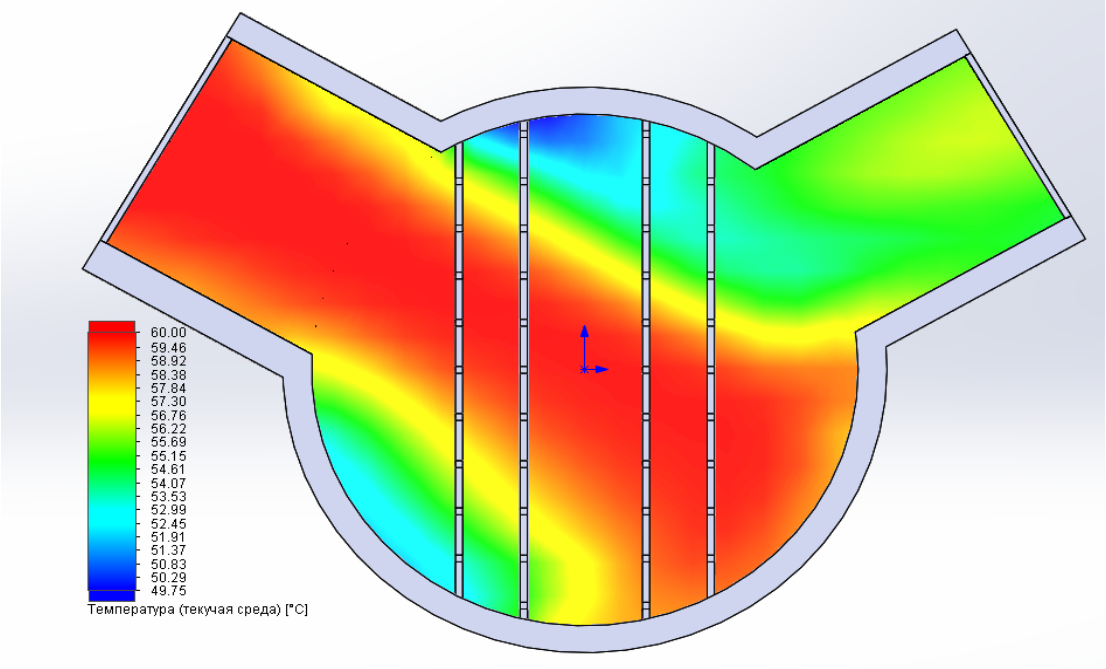


Рис. 3.44 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з алюмінію.

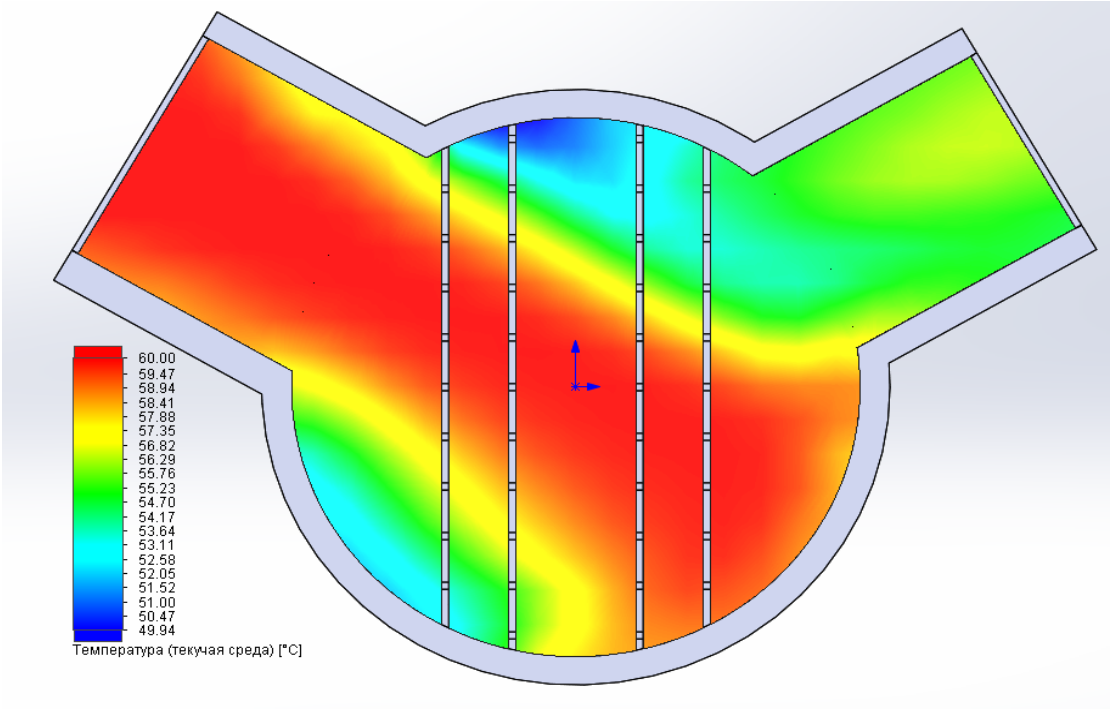


Рис. 3.45 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з бронзи.

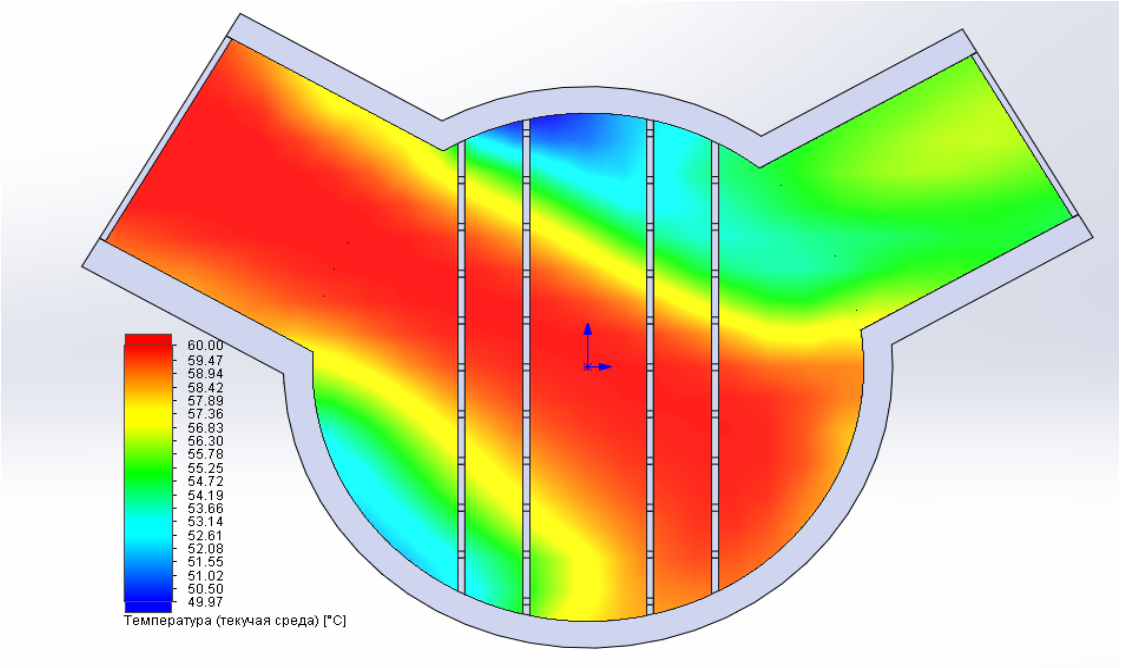


Рис. 3.46 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з міді.

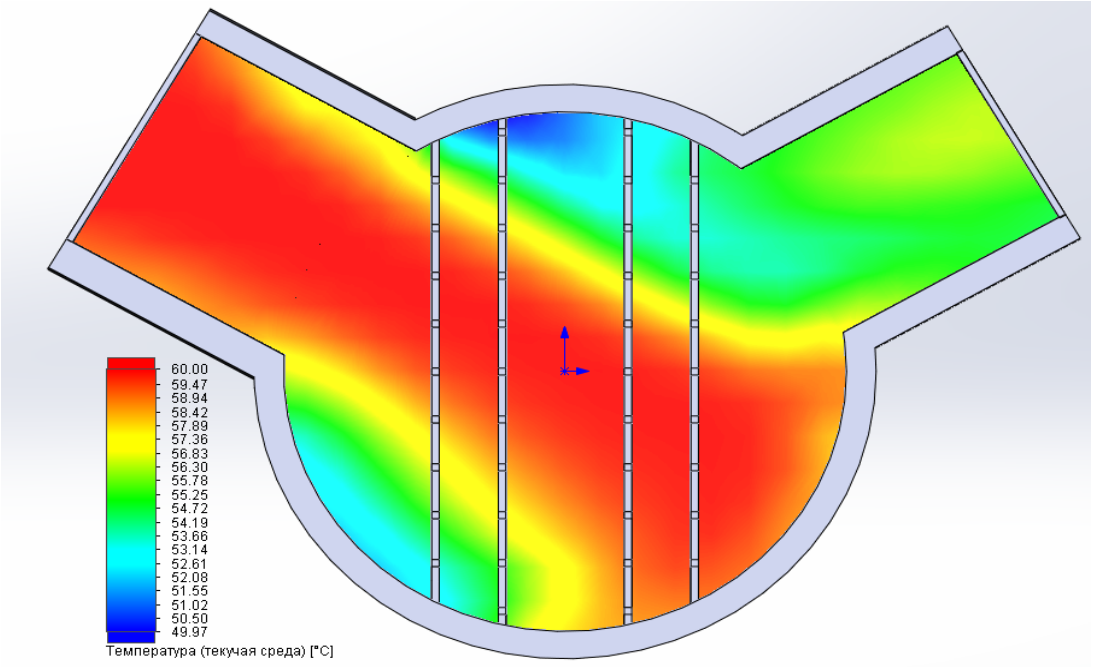


Рис. 3.47 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з латуні.

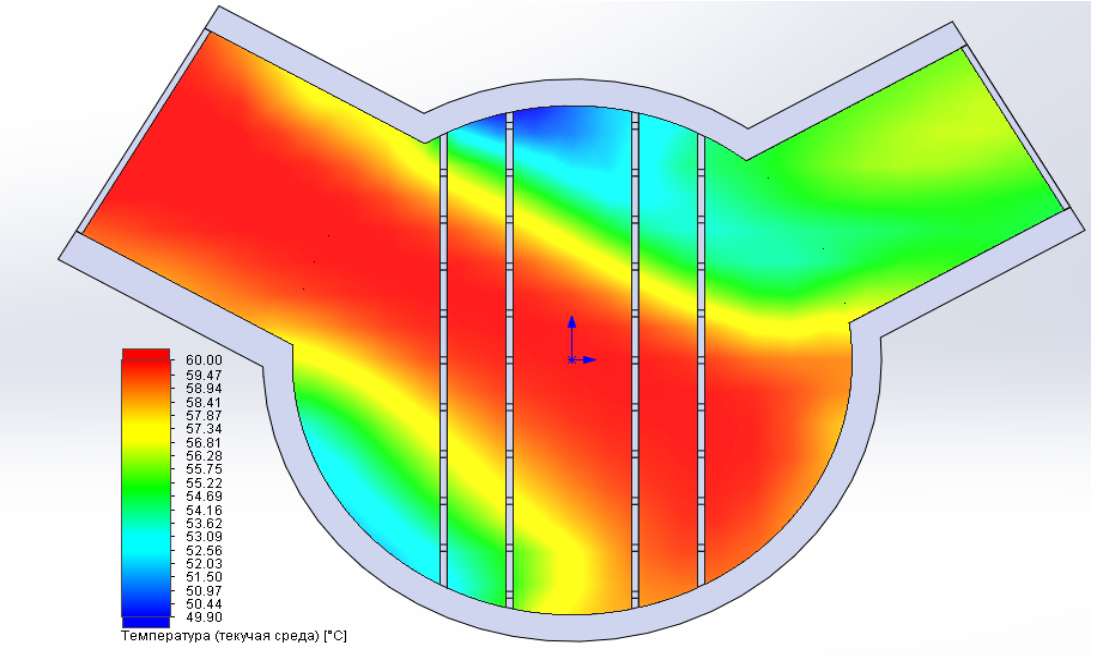


Рис. 3.48 Результат моделювання ТВО з 4-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.7

Найменші значення температур на виході для зменшеної моделі ТВО з 4-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °С
1	Алюміній	54.34
2	Бронза	54.44
3	Мідь	54.44
4	Латунь	54.44
5	Нержавіюча сталь	54.43

Кращій результат у алюмінію. Наступне змоделюємо для 6 решіток (Рис. 3.49) та проаналізуємо результати (Рис. 3.50), (Рис. 3.51), (Рис. 3.52), (Рис. 3.53), (Рис. 3.54).

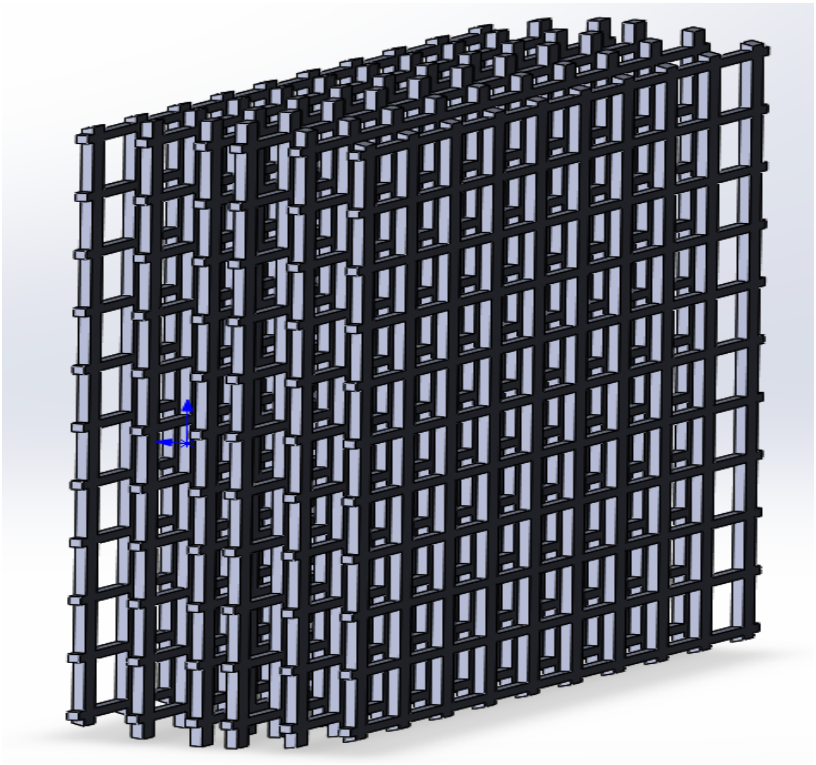


Рис. 3.49 Модель сітки з 6-х решіток

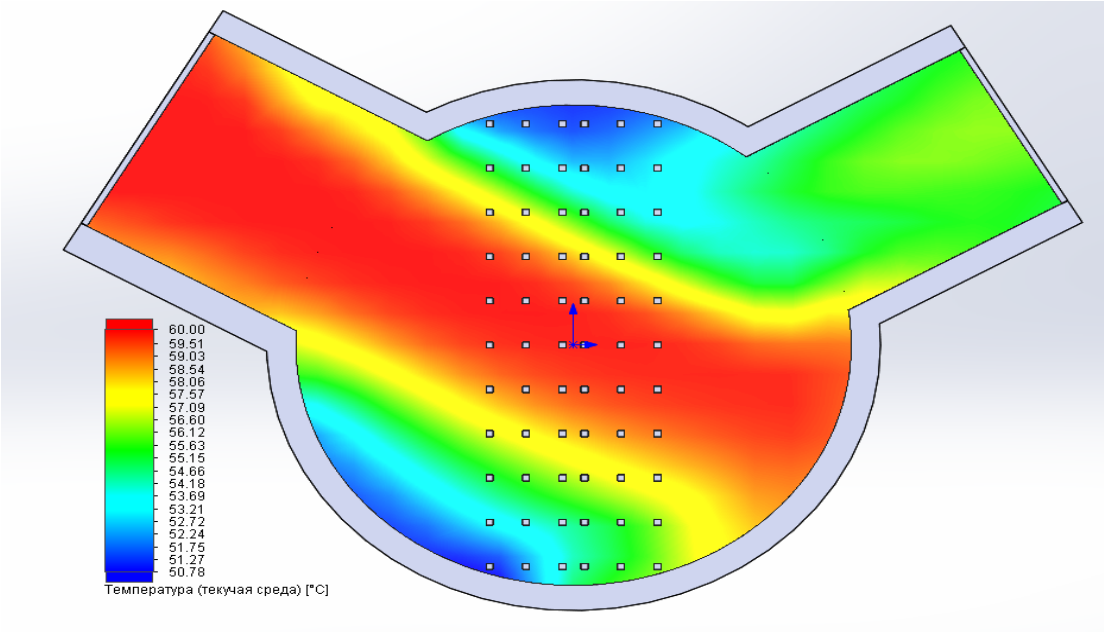


Рис. 3.50 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з алюмінію.

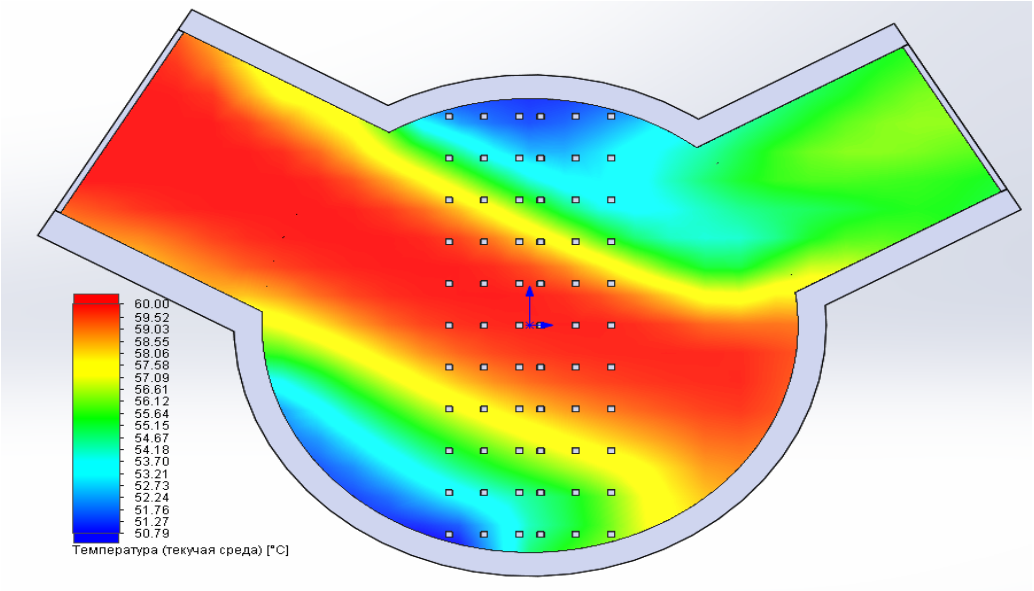


Рис. 3.51 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з бронзи.

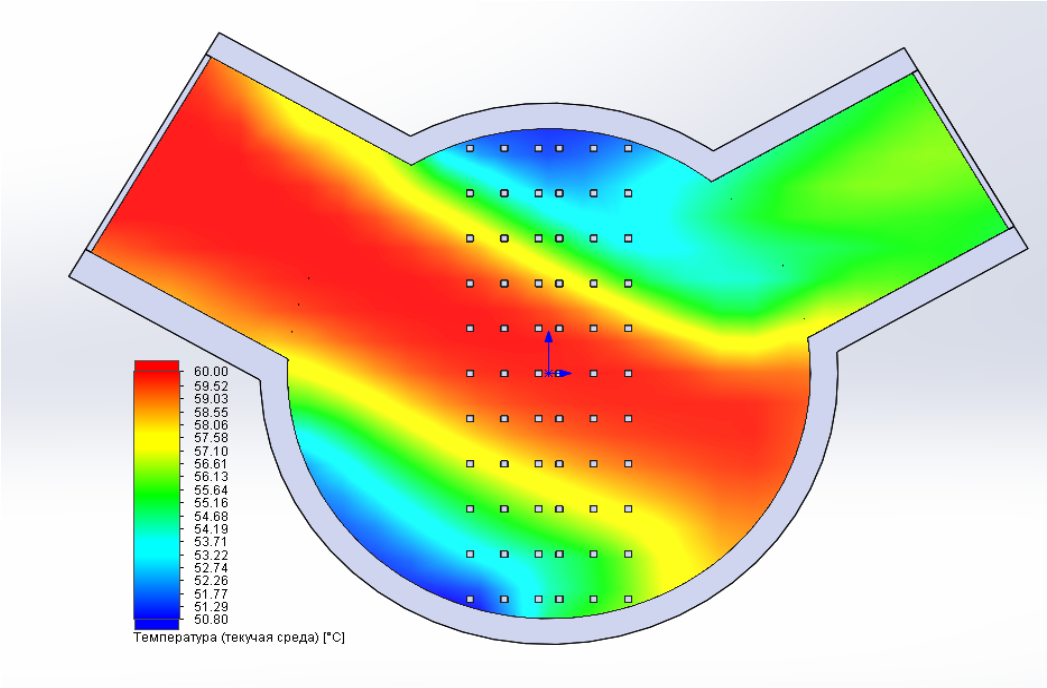


Рис. 3.52 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з міді.

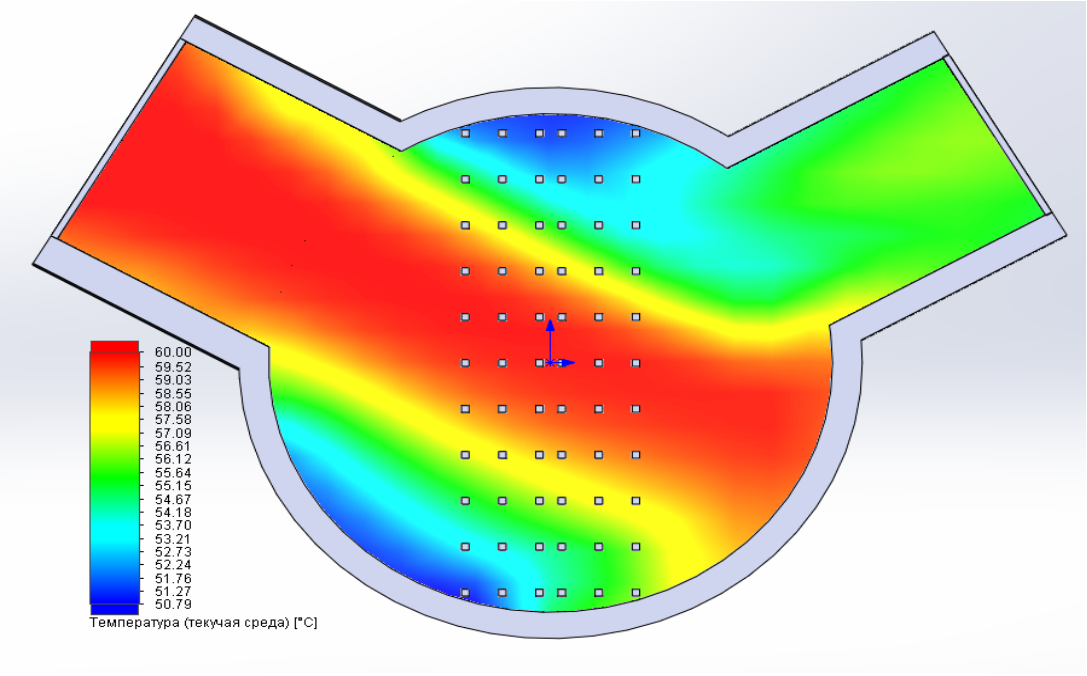


Рис. 3.53 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з латуні.

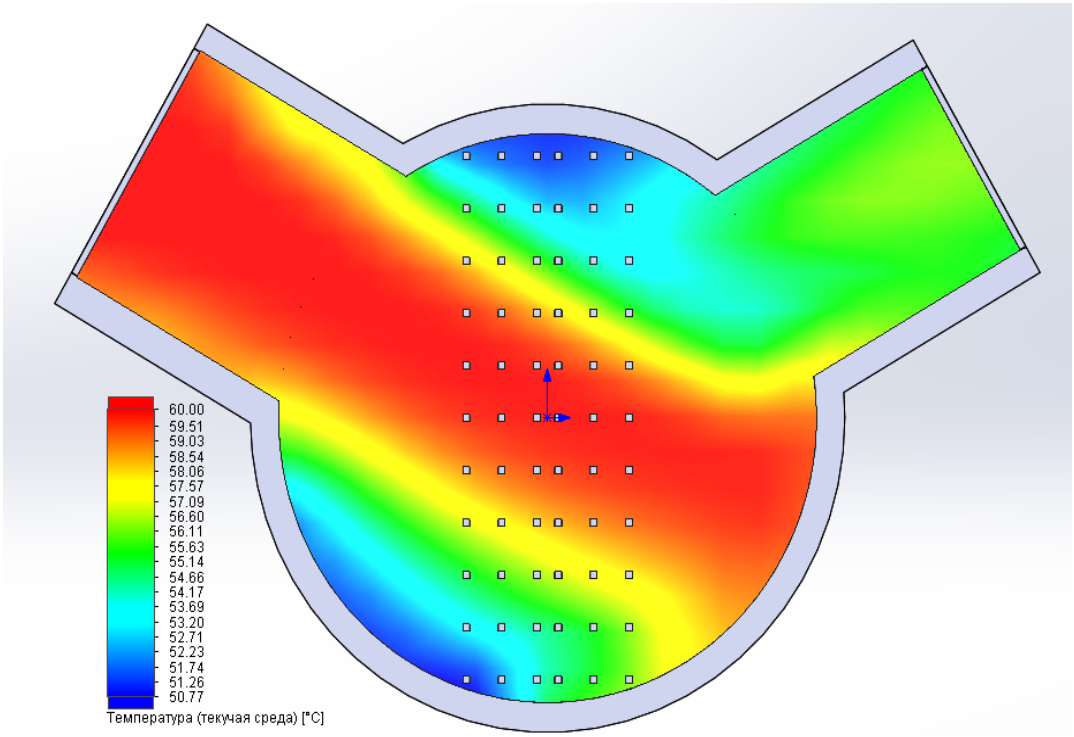


Рис. 3.54 Результат моделювання ТВО з 6-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.8

Найменші значення температур на виході для зменшеної моделі ТВО з 6-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °C
1	Алюміній	54.63
2	Бронза	54.64
3	Мідь	55.54
4	Латунь	55.64
5	Нержавіюча сталь	55.62

Кращі результати у нержавіючої сталі. Наступне це модель з 8 решітками (Рис. 3.55) та порахованими результатами (Рис. 3.56), (Рис. 3.57), (Рис. 3.58), (Рис. 3.59), (Рис. 3.60).

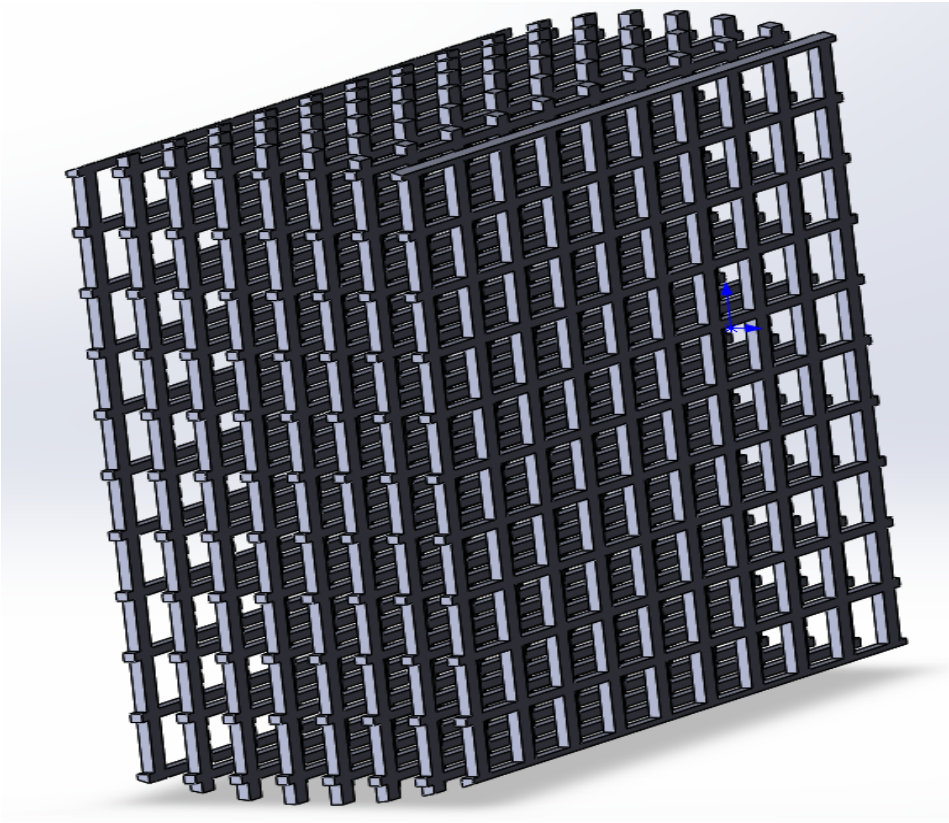


Рис. 3.55 Модель сітки з 8-х решіток

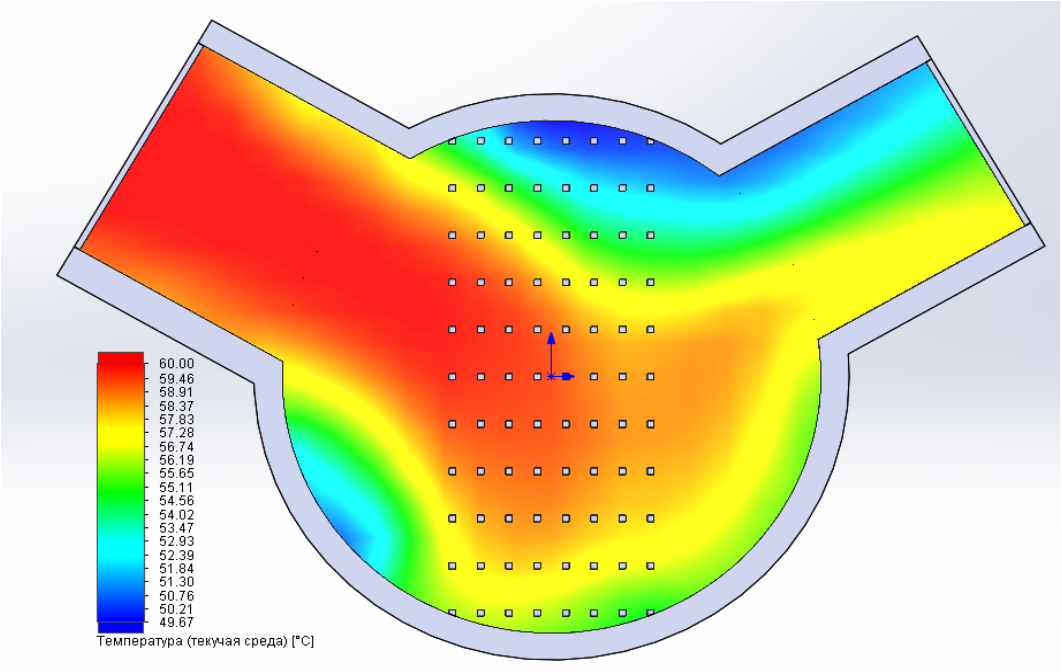


Рис. 3.56 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з алюмінію.

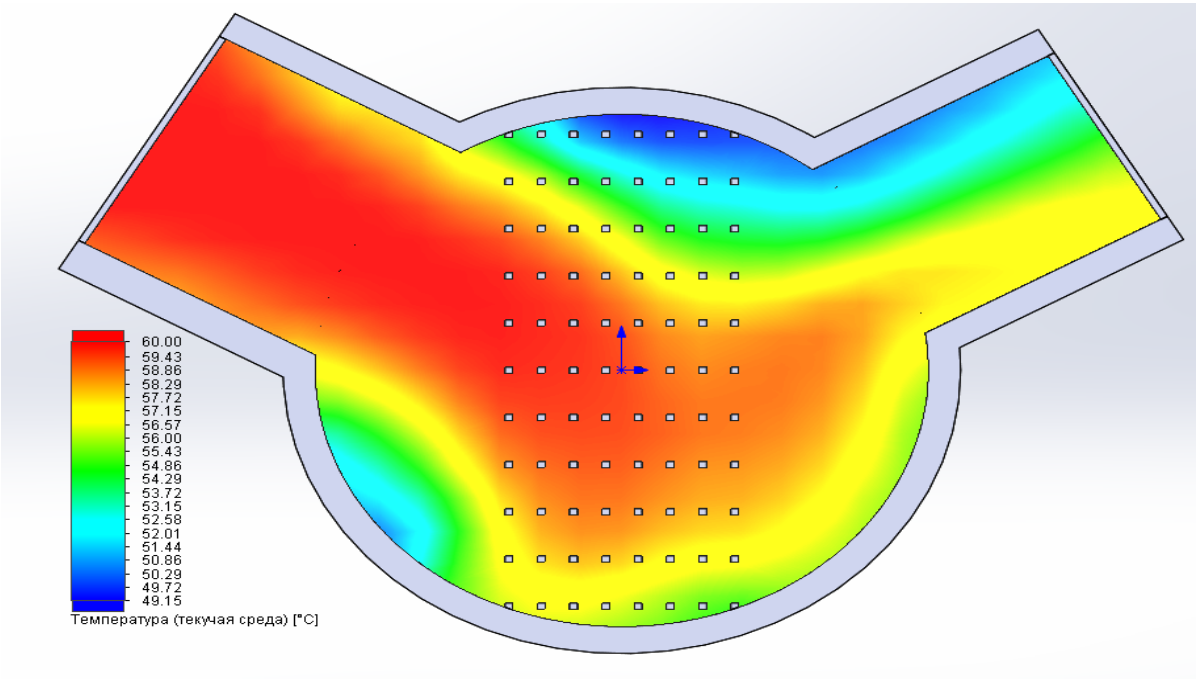


Рис. 3.57 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з бронзи.

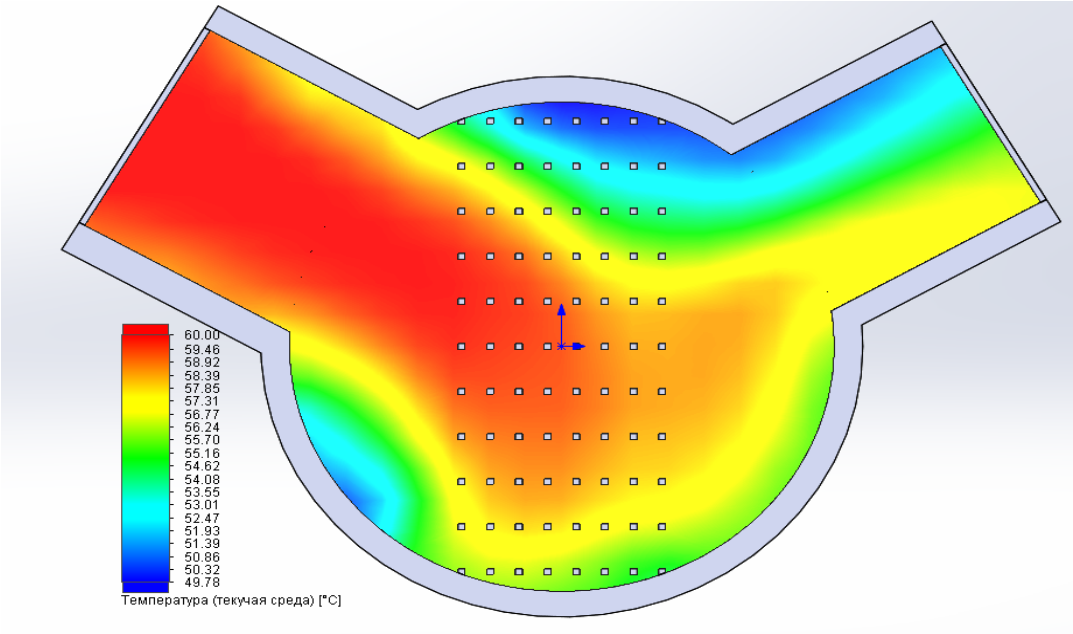


Рис. 3.58 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з міді.

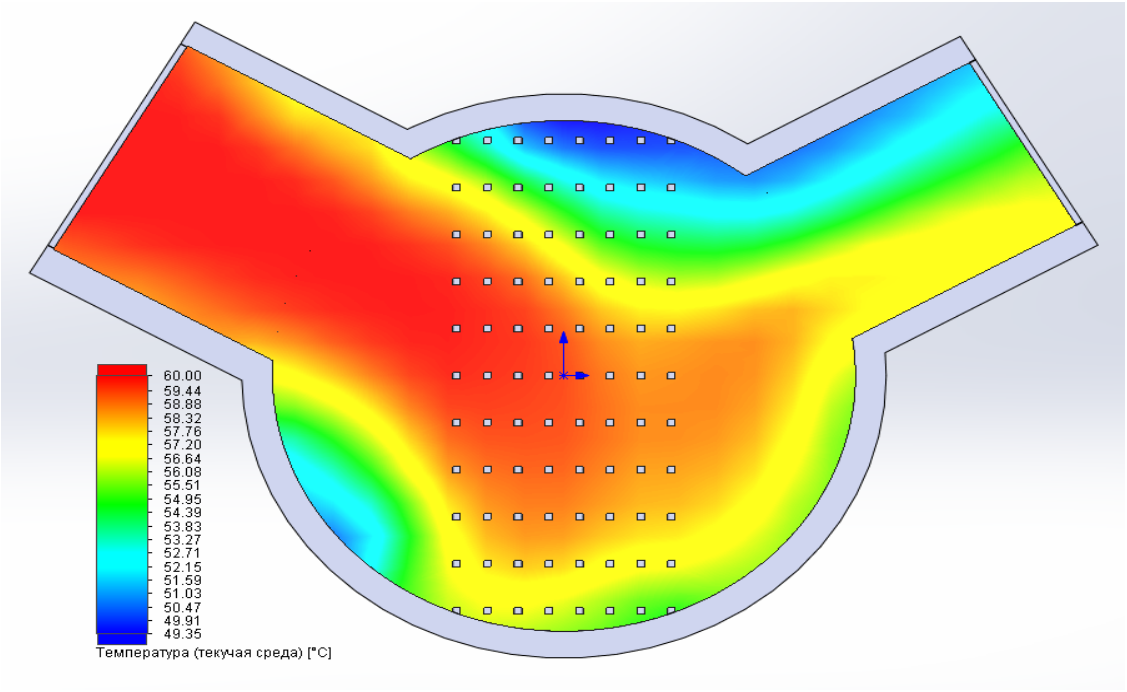


Рис. 3.59 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з латуні.

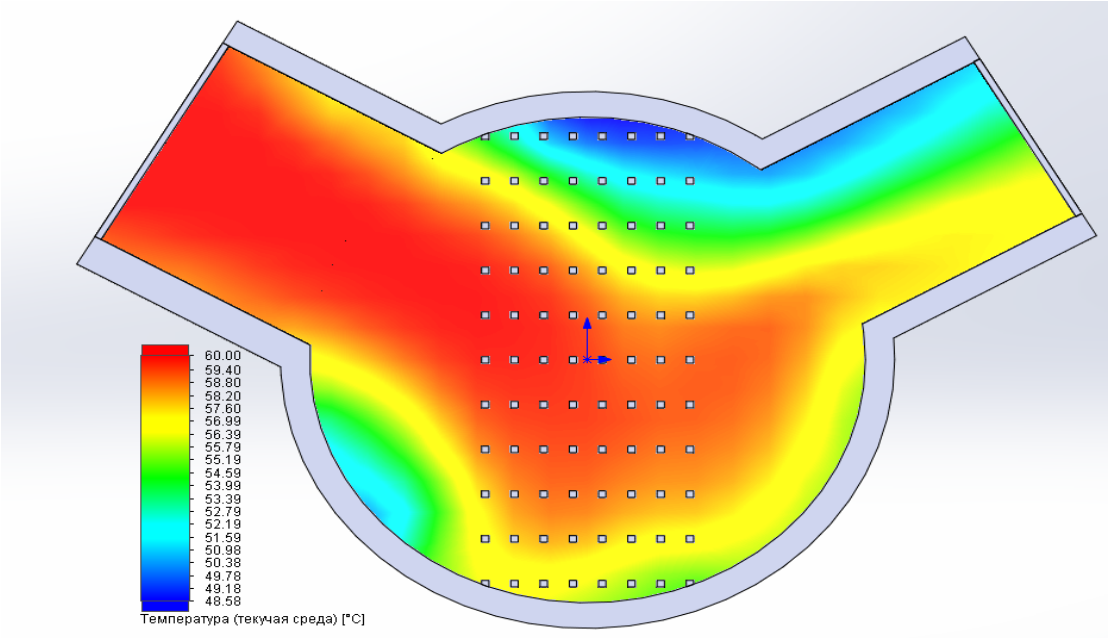


Рис. 3.60 Результат моделювання ТВО з 8-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.9

Найменші значення температур на виході для зменшеної моделі ТВО з 8-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °С
1	Алюміній	52.4
2	Бронза	52.01
3	Мідь	52.47
4	Латунь	52.15
5	Нержавіюча сталь	51.6

Кращий результат показала нержавіюча сталь. Наступне – 10 решіток (Рис. 3.61) та аналіз результатів (Рис. 3.62), (Рис. 3.63), (Рис. 3.64), (Рис. 3.65) (Рис. 3.66).

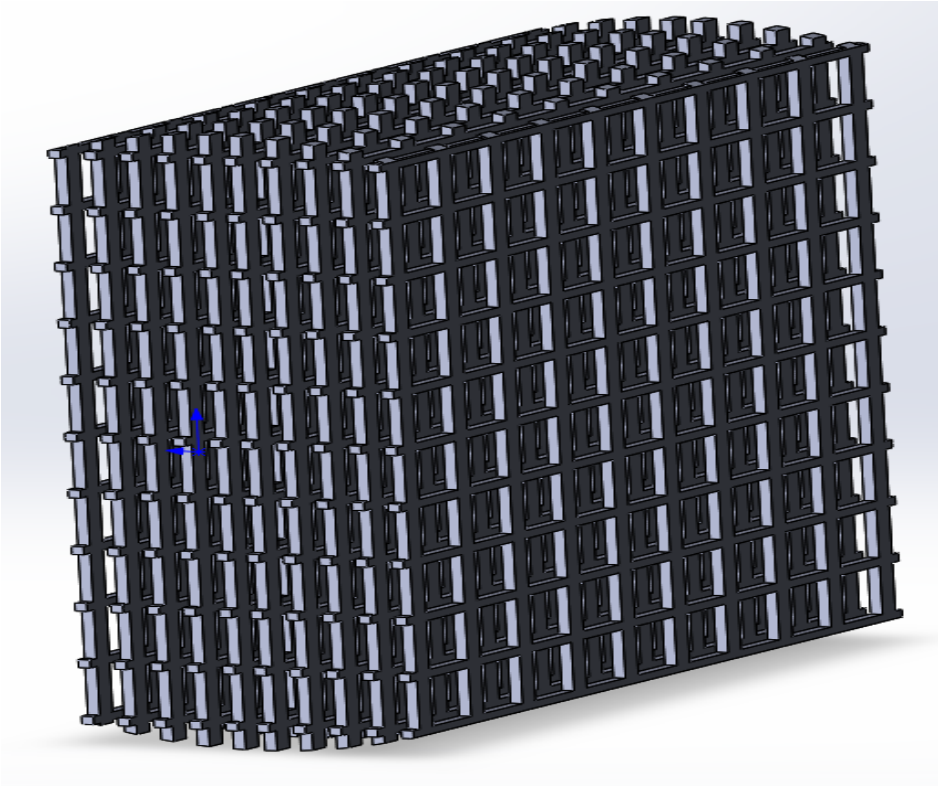


Рис. 3.61 Модель сітки з 10-х решіток

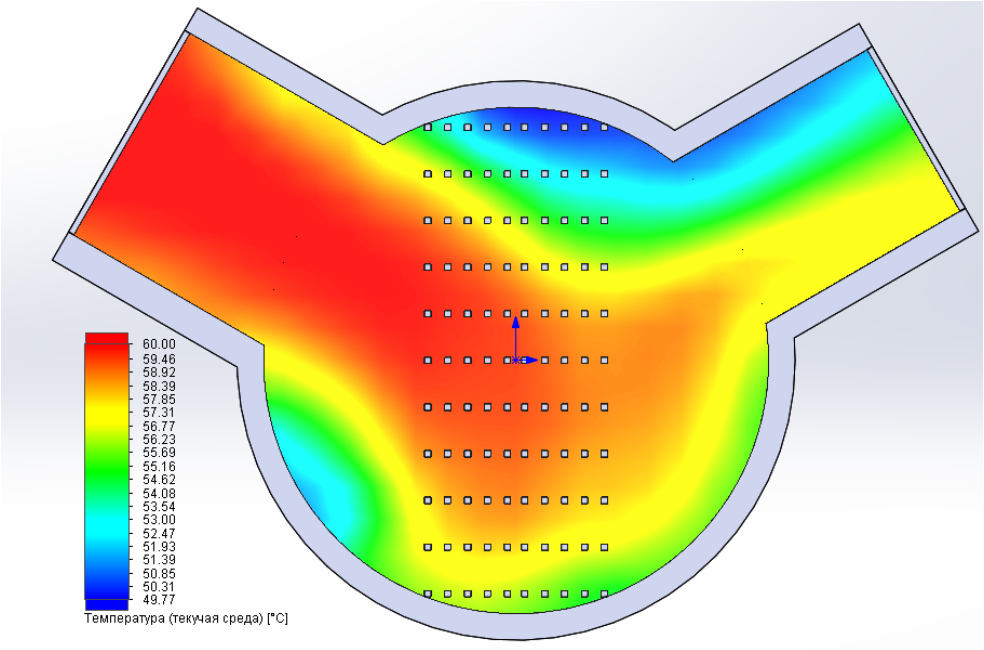


Рис. 3.62 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з алюмінію.

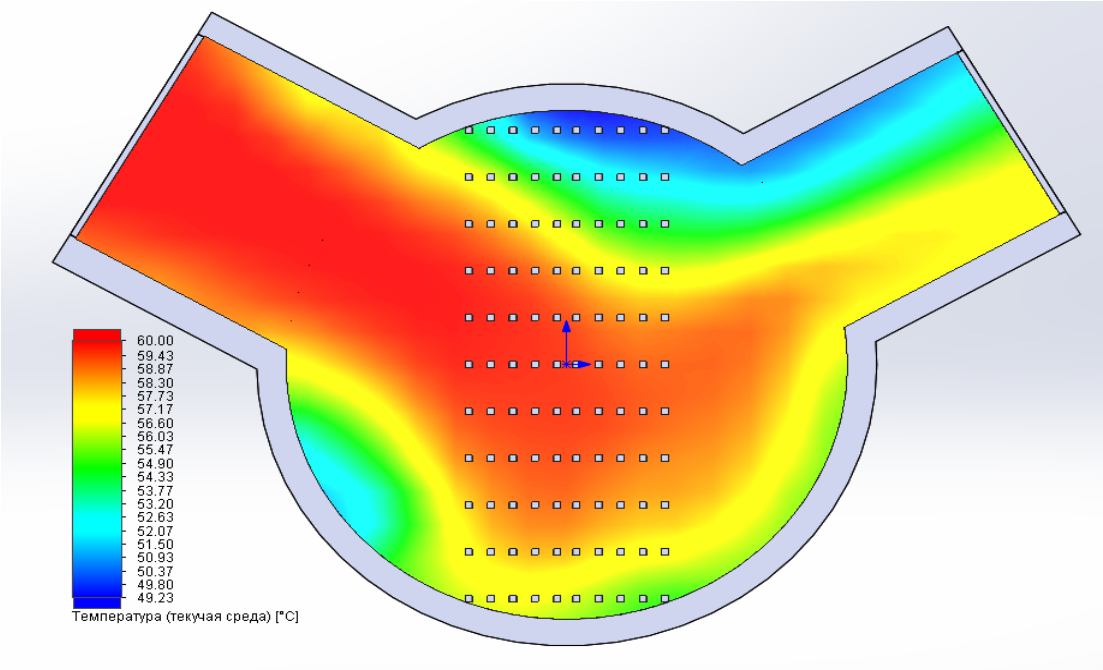


Рис. 3.63 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з бронзи.

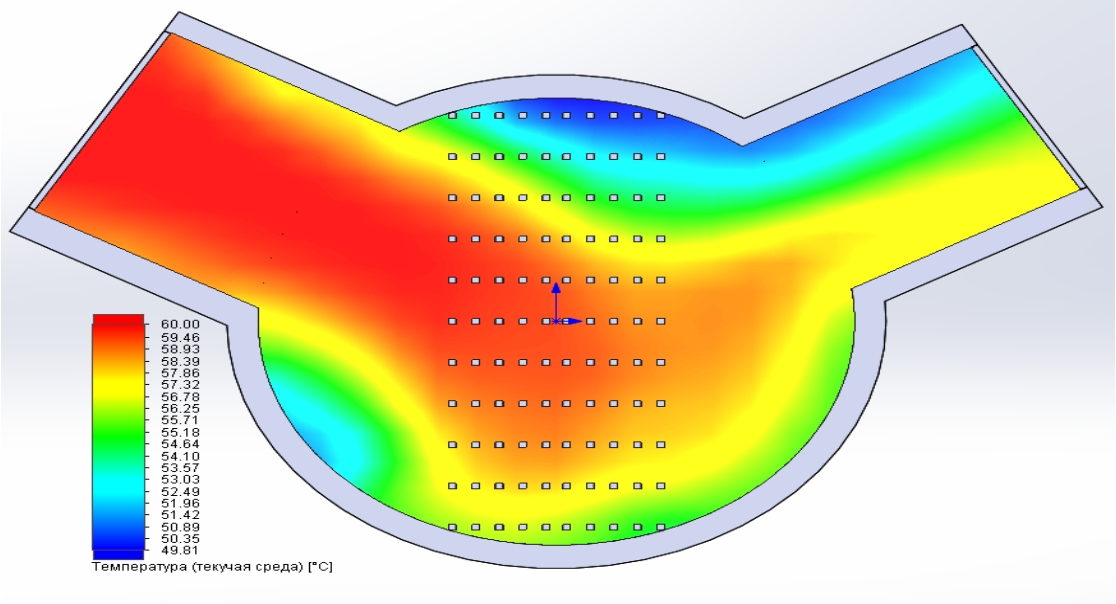


Рис. 3.64 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з міді.

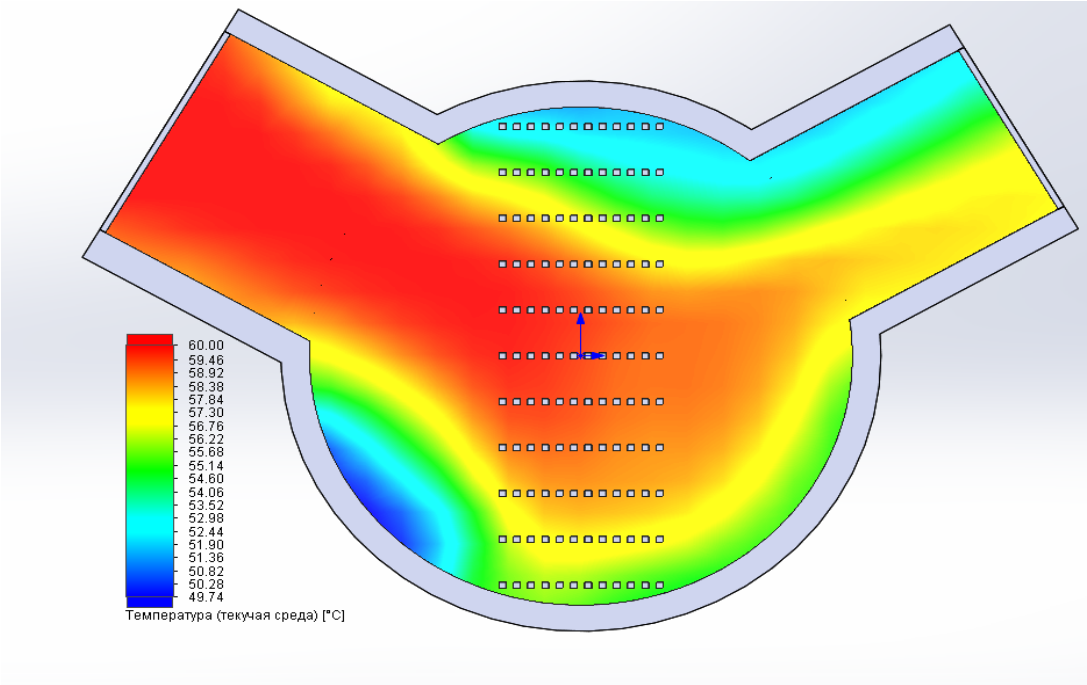


Рис. 3.65 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з латуні.

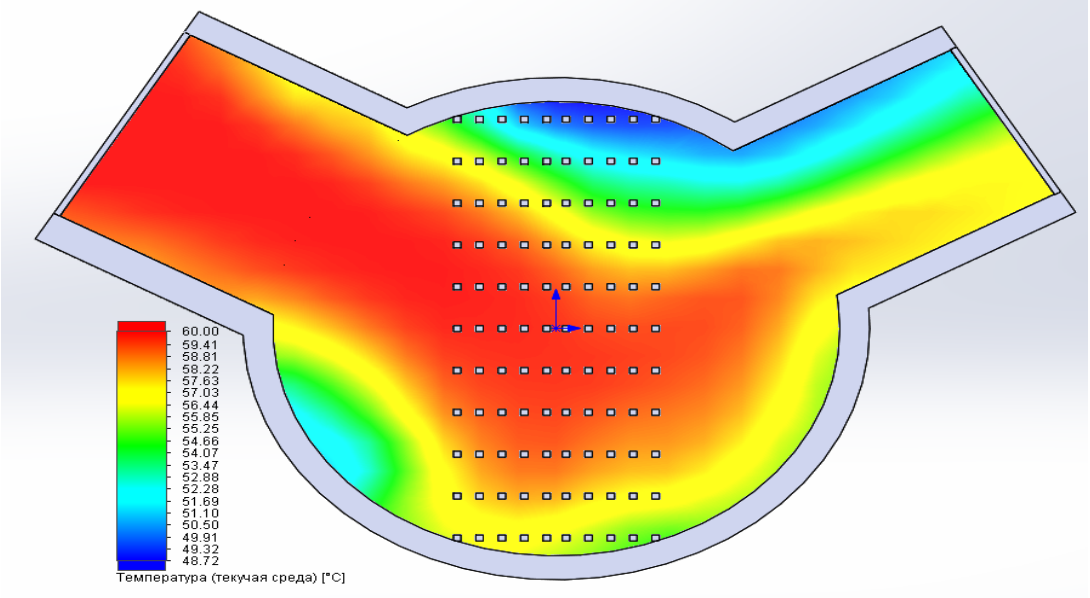


Рис. 3.66 Результат моделювання ТВО з 10-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.10

Найменші значення температур на виході для зменшеної моделі ТВО з 10-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °C
1	Алюміній	51.93
2	Бронза	51.5
3	Мідь	51.96
4	Латунь	51.9
5	Нержавіюча сталь	51.1

Кращий результат показала нержавіюча сталь. Наступне – 12 решіток (Рис. 3.67) та аналіз результатів (Рис. 3.68), (Рис. 3.69), (Рис. 3.70), (Рис. 3.71) (Рис. 3.72).

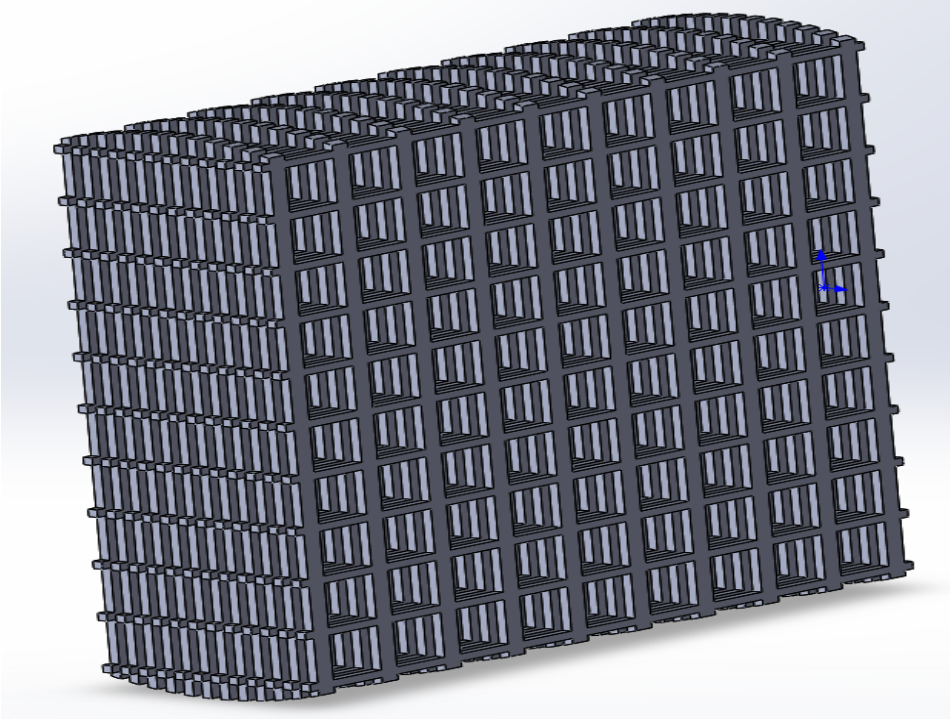


Рис. 3.67 Модель сітки з 12-х решіток

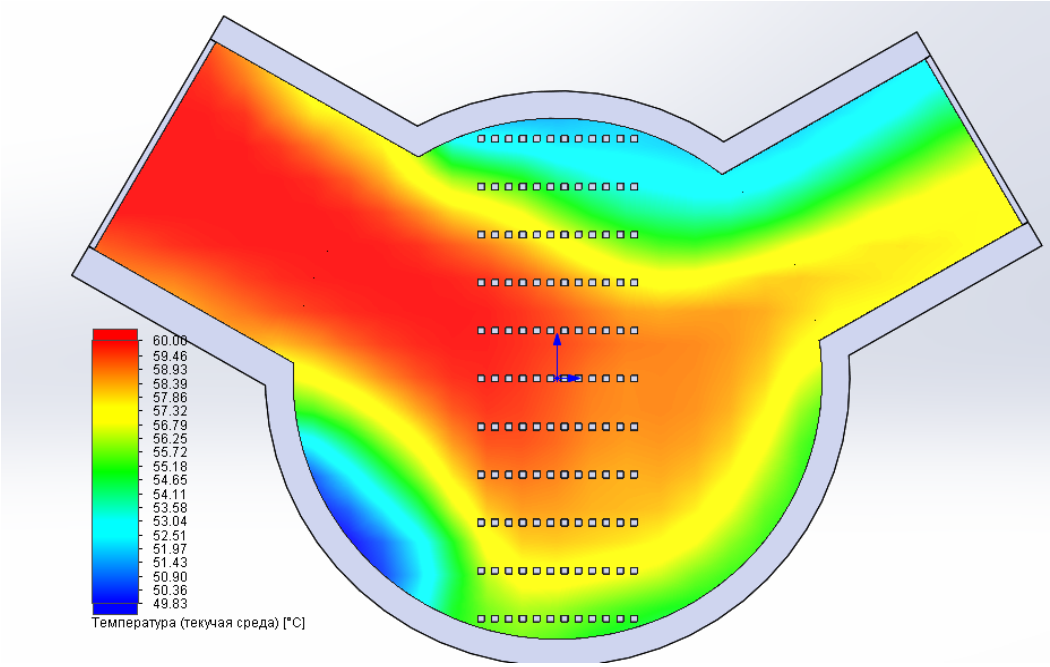


Рис. 3.63 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з алюмінію.

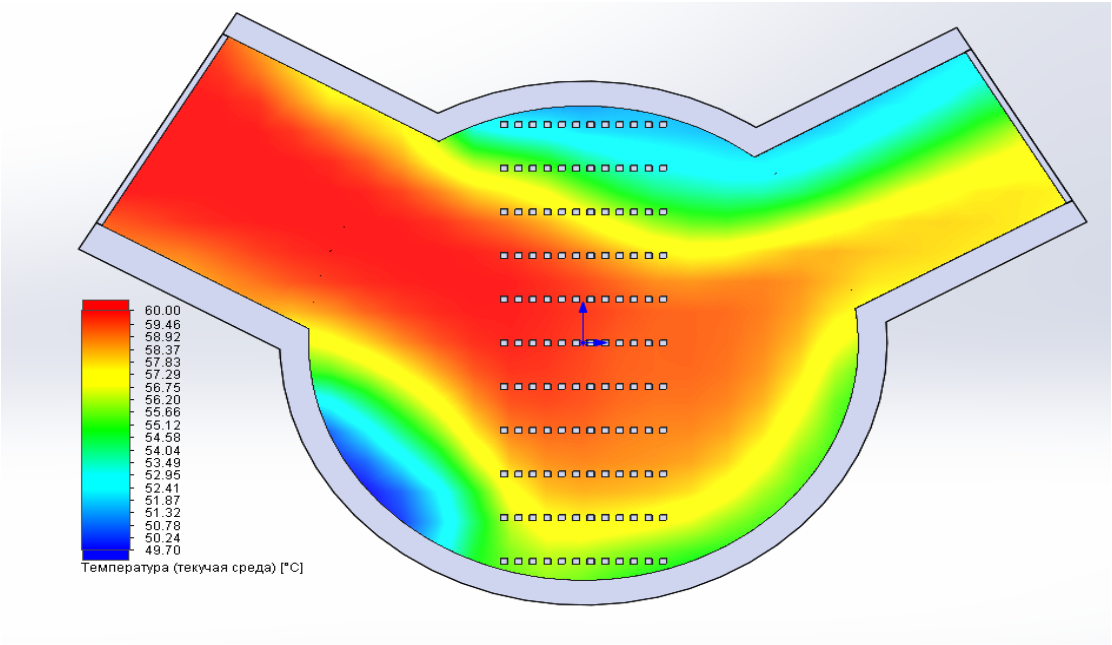


Рис. 3.63 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з бронзи.

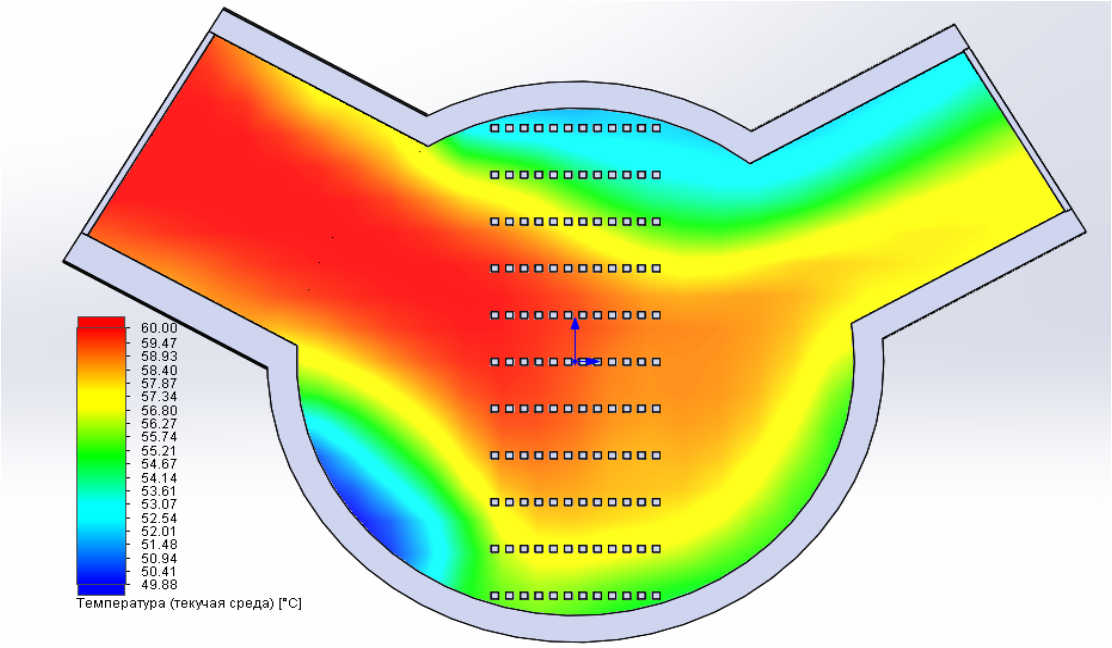


Рис. 3.63 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з міді

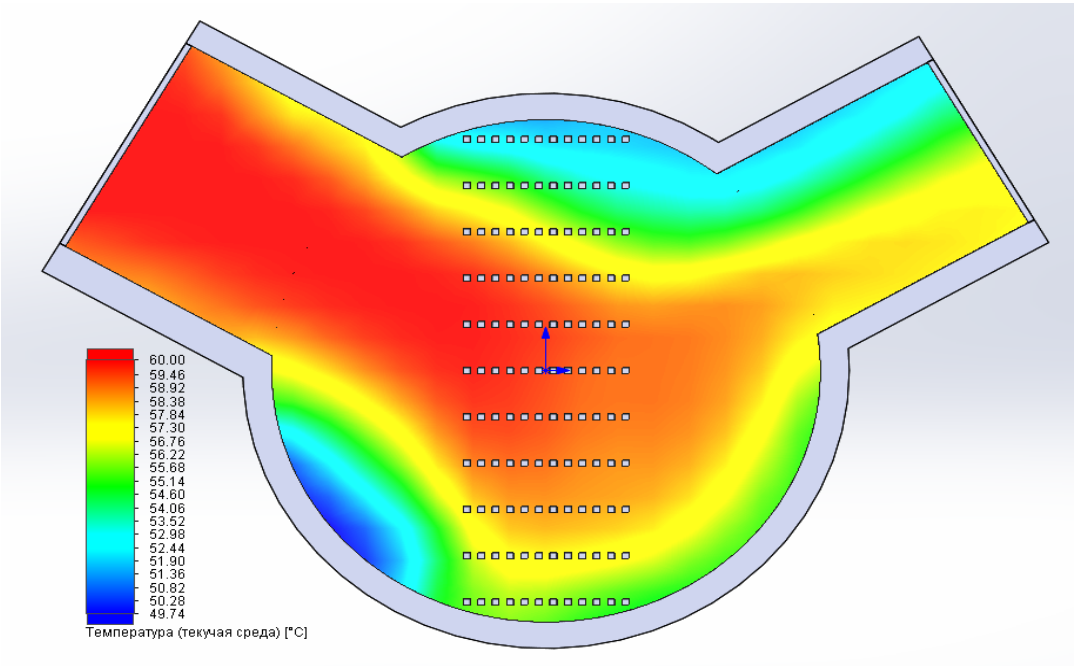


Рис. 3.63 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з латуні.

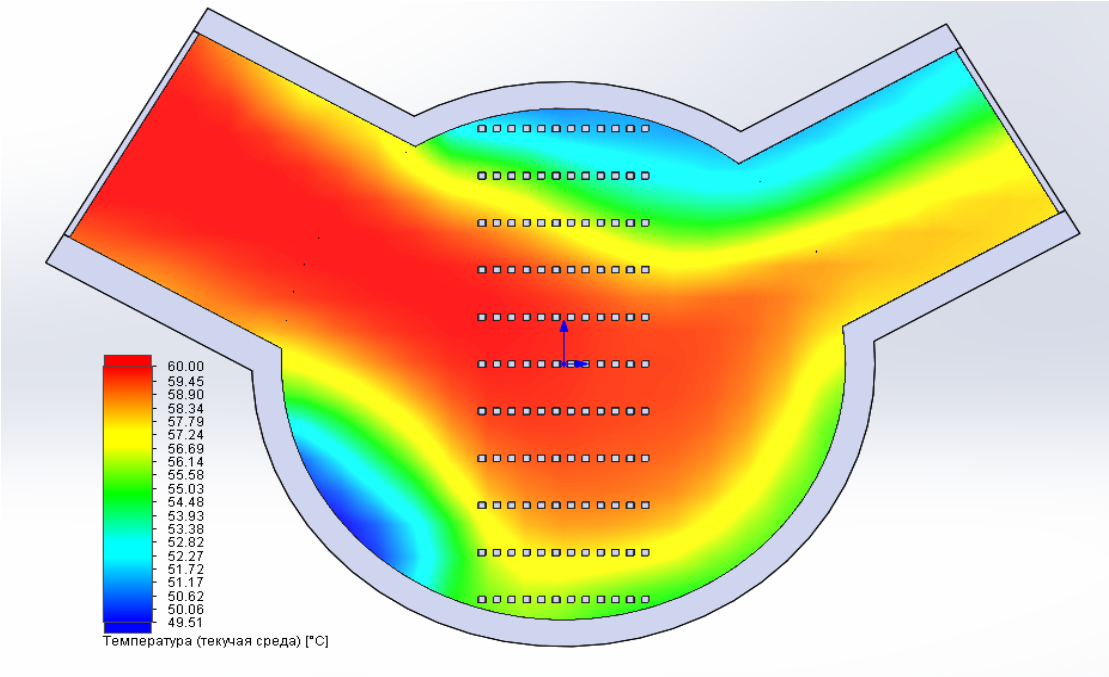


Рис. 3.63 Результат моделювання ТВО з 12-ма решітками виготовленими з нержавіючої сталі.

Таблиця 3.11

Найменші значення температур на виході для зменшеної моделі ТВО з 12-ма решітками.

№	Назва матеріалу	Отримані температури °С
1	Алюміній	52.51
2	Бронза	52.41
3	Мідь	52.54
4	Латунь	52.44
5	Нержавіюча сталь	52.27

С цих розрахунків найкращий результат у нержавіючої сталі.

Тепер підведемо підсумки по зробленій роботі. Кращий результат для зменшеного ТВО – 51.1°С з 10 решітками, зробленими з нержавіючої сталі. А для стандартного ТВО – 57.08 °С решітками зробленими з алюмінію.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА СКЛАДОВА

Таблиця 4.1

Вартість чорних в грн. металів за лист 1 х 200 х 300 мм за 2018 рік [4]

Назва металу	Ціна
Алюміній	85,48
Мідь	341,94
Латунь	341,94
Бронза	512,91
Нержавіюча сталь	256,45

Виходячи з цих даних, можна сказати, що звичайного ТВО – найкращим варіантом буде алюміній, як по результативності, так і по економічності.

Виходячи з цих даних, можна сказати, що зменшеного ТВО – найкращим варіантом буде алюміній. Хоча результат буде краще майже на 1°С це вийде дорожче в 3 рази.

А так наш пристрій одноразового користування, то тоді економічна складова також буде займати важливу роль.

ВИСНОВКИ

Методом комп’ютерного моделювання було побудовано 2 види ТВО: звичайна модель та зменшена. Окрім цього було побудовано сітки які мають однакову геометрію, але відрізняються за кількість решіток. В розрахунках були використані такі матеріали, як алюміній, бронза, латунь, мідь та нержавіюча сталь. Для стандартного ТВО з отриманою температурою на виході 57.08 °C та 10 решітками зробленими з алюмінію. Цей варіант відмінний, так як отримали гарний результат та це дешево обійдеться, адже алюміній найдешевший метал із списку. Для зменшеного ТВО з отриманою температурою на виході 51.1 °C та 10 решітками зробленими з нержавіючої сталі. В плані економічності, це не дуже розумний вибір, бо маючи майже на 1°C більшу температуру витратимо в 3рази більше за матеріал. (в порівнянні з алюмінієм).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Капцов В.А. и др. «О применении автономных изолирующих респираторов».
2. Каталог саморятівників фірми DEZEGA http://www.dezega.com/ru/catalog/izoliruusii-samospasatel-dezega-1pvm-ks
3. «Безопасность сухого хранения отработавшего ядерного топлива» / В. Г. Рудычев, С. В. Алёхина, В. Н. Голощапов и др. / Под общ. ред. акад. НАН Украины Ю. М. Мацевитого, чл.-кор. НАН Украины И. И. Залюбовского. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2013. – 200 с.
4. Онлайн-магазин кольорових металів http://kabelgarant.ru
5. «Повышение эффективности дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде» СГ Ехилевский, СА Ольшанников - 2013