

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»


Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

на тему: «Проектування елементів трубопровода системи охолодження  
двигуна внутрішнього згорання автомобіля»

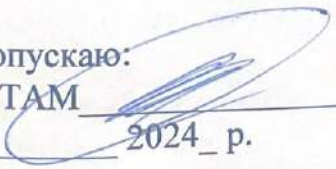
Шифр: ДРБАТ 24.20207.000. ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група АТ -20-1  А.Р. Воронцов

Керівник

 д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ 

Диха О.В.

10 06 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Галузь знань: 27 «Транспорт»  
Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»  
Спеціалізація: «Автомобільний транспорт»

Зав.кафедрою ТАМ **ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Диха О.В.  
" 10 " квітня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Воронцову Артуру Романовичу

1. Тема проекту:

**«Проектування елементів трубопровода системи охолодження двигуна внутрішнього згорання автомобіля»**

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту:

1) Технічні умови на конструкцію системи охолодження двигуна автомобіля.

2) Річна програма ремонту деталей.

3) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Конструкція системи охолодження двигуна легкового автомобіля.

2. Розробка електронних моделей конструкції системи охолодження легкового автомобіля.

3. Інженерний аналіз процесів течення рідин у трубопроводах системи охолодження двигуна.

4. Вдосконалення базової конструкції трубопроводу системи охолодження на основі моделювання.

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 10 квітня 2024р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Конструкція системи охолодження двигуна легкового автомобіля.	1.05.2024	
2	Розробка електронних моделей конструкції системи охолодження легкового автомобіля.	15.05.2024	
3	Інженерний аналіз процесів течення рідин у трубопроводах системи охолодження двигуна.	25.05.2024	
4	Вдосконалення базової конструкції трубопроводу системи охолодження на основі моделювання.	15.06.2024	

Студент

  
Воронцов А.Р.

Керівник роботи

  
Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 75 сторінок, кількість рисунків – 75, таблиць – 22, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 18.

Студент гр. АТ-20-1 Воронцов А.Р.

**Тема «Проектування елементів трубопровода системи охолодження двигуна внутрішнього згорання автомобіля»**

Дана бакалаврська дипломна робота мала за мету покращення характеристик трубопроводів системи охолодження на етапі проектування та аналізу втрат у трубопроводах системи із застосуванням САПР.

Для виконання поставленої мети :





1. Проведений огляд та аналіз існуючих конструкцій систем охолодження двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ);
2. Розроблена методика проектування з'єднувальних трубопроводів у системі охолодження двигуна.
3. Розроблена модель течії рідини у системі охолодження ДВС до водяного насоса з урахуванням гідравлічних втрат та теплообміну потоку рідини.
4. Розроблена вдосконалена конструкція з'єднувального трубопроводу у системі охолодження ДВЗ.

**Перелік ключових слів:** автомобіль, система охолодження, проектування, модель течії рідини, трубопроводи.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	6
1.СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ.....	8
1.1.Аналіз конструкцій системи охолодження двигунів легкового автомобіля.....	8
1.2.Тенденції розвитку систем охолодження двигунів легкового автомобіля.....	14
2.РОЗРОБКА В САПР ЕЛЕКТРОННИХ МОДЕЛІВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ.....	19
2.1.Опис конструкції вузлів системи охолодження легкового автомобіля.....	19
2.2.Побудова в САПР електронної моделі складання системи охолодження двигуна автомобіля.....	22
2.3.Побудова в САПР електронної моделі трубопроводів системи охолодження двигуна автомобіля.....	26
3.ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ТЕЧЕННЯ РІДИН У ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА В САПР.....	38

ДРБАТ 24.20207.000. ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Воронцов			Проектування елементів трубопровода системи охолодження двигуна внутрішнього згорання автомобіля		4	78
Перевір.		Диха						
Н.контр.		Бабак						
Затвер		Диха						
						ХНУ, гр. АТ-20-1		

3.1. Побудова сітки кінцевих елементів для базової конструкції системи трубопроводів.....	38
3.2. Інженерний аналіз розрахунку потоку рідини та теплообміну у трубопроводі системи охолодження.....	50
<b>4. ВДОСКОНАЛЕННЯ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВОДУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ В САПР.....</b>	<b>58</b>
4.1. Вплив аналізованих параметрів гідродинаміки та теплообміну на роботу рідинної системи охолодження двигуна та їх облік у конструкторській роботі.....	58
4.2. Розробка моделі вдосконаленого трубопроводу системи охолодження в САПР.....	59
4.3. Ідентифікація параметрів роботи нової конструкції трубопроводу на основі моделювання процесів перебігу рідини з урахуванням теплообміну в САПР.....	64
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>70</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>71</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>73</b>

## Вступ

У процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння відбувається нагрівання його деталей гарячими газами внаслідок тертя між рухомими деталями.

Відведення та передача у зовнішнє середовище цієї теплоти маслом, що змащує деталі, менш інтенсивні, ніж підведення, внаслідок чого може відбутися нагрівання деталей двигуна до критичної температури, яка здатна вплинути на стійку роботу двигуна, знизити його економічність, потужність та екологічні показники, можливо руйнування деталей двигуна.

Для забезпечення стабільного температурного режиму двигуна застосовується система охолодження двигуна, що є сукупністю пристроїв, що дозволяють змінювати інтенсивність відведення тепла в залежності від режиму роботи.

Система охолодження двигуна впливає на експлуатаційні якості двигуна та його конструкцію, тому вибору типу системи охолодження та її проектування приділяється багато уваги.

Для відповідності автомобілів та їх двигунів сучасним показникам, потрібна максимальна ефективність усіх їх систем, у тому числі системи охолодження. Метою роботи є розробка методики проектування ефективної системи охолодження двигуна автомобіля для підвищення характеристик ДВЗ, покращення екологічних показників силового агрегату [2], комфорту водія та пасажирів.

Забезпечення найбільшої ефективності системи охолодження двигуна можливе за рахунок керування потоками тепла та мінімізації гідравлічних втрат по всій довжині трубопроводу та на місцевих опорах, а значить не допускаються елементи конструкції труби, що генерують підвищений опір. Існуючі конструкції системи охолодження двигуна можуть бути вдосконалені для підвищення та покращення характеристик автомобіля.

З метою забезпечення покращення характеристик трубопроводів

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

системи охолодження на етапі їх проектування необхідно вдосконалення методики проектування ефективної системи охолодження двигуна автомобіля шляхом аналізу втрат у трубопроводах системи із застосуванням функціоналу САПР.

Для виконання поставленої мети необхідно:

- провести огляд та аналіз існуючих конструкцій систем охолодження двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ);
- розробити модель течії рідини у розгалуженій системі охолодження ДВС до водяного насоса з урахуванням гідравлічних втрат та теплообміну потоку рідини у підкапотному просторі;
- розробити методику проектування з'єднувальних трубопроводів у системі охолодження двигуна з урахуванням гідравлічних втрат та теплообміну в САПР;
- розробити технічне завдання для створення вдосконаленої конструкції з'єднувального трубопроводу у системі охолодження ДВЗ.

## 1 СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА ЛЕГКОВОГО

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

# АВТОМОБІЛЯ

## 1.1 Аналіз конструкцій системи охолодження двигунів легкового автомобіля

За принципом відведення теплоти у навколишнє середовище виділяють замкнуті та не замкнуті системи охолодження [1].

У не замкнутих системах охолодження двигуна робоче тіло забирається із зовнішнього середовища [1], а після відводиться туди ж разом із теплотою, отриманою від деталей.

У замкнутих системах кількість робочого тіла, що безпосередньо відводить тепло від деталей двигуна, постійно [1], воно циркулює в системі, само охолоджуючись в теплообмінниках, що розсіюють тепло у зовнішнє середовище.

### 1.1.1 Не замкнуті системи охолодження

Не замкнуті системи охолодження відрізняються простотою своєї конструкції, варіантами даних систем, що найчастіше зустрічаються, є системи повітряного охолодження двигунів і з забором рідини з навколишнього середовища [1].

Системи повітряного охолодження (представлений Рисунок 1) компактні в двигунах малої потужності, прості конструкції, проте мають нижчу, ніж рідинні системи, інтенсивність відведення тепла [1], а разі двигунів підвищеної потужності можуть досягати значних розмірів. Також дані системи мають підвищену залежність від умов навколишнього середовища, що утруднює застосування тих самих елементів у різних типах клімату [1].

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

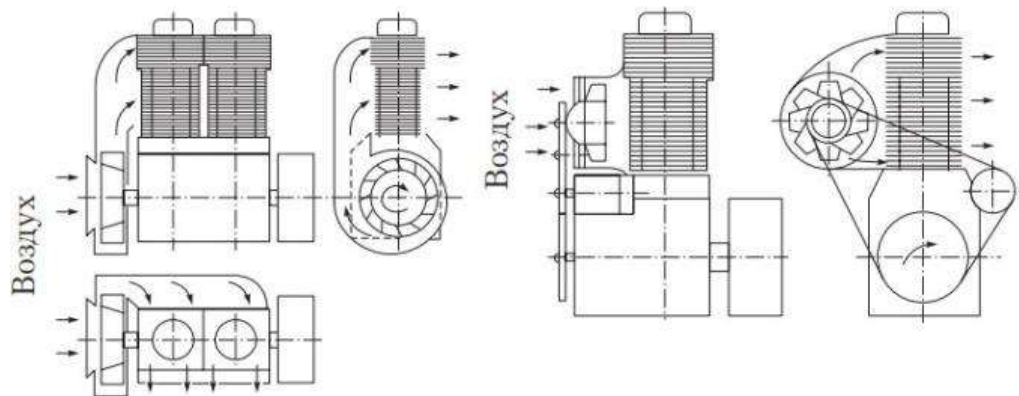


Рисунок 1 - Схеми повітряних систем охолодження двигуна [23]

Системи ж із забором рідини з навколишнього середовища (схема представлена Рисунку 2 простіше своїх аналогів із замкнутою системою, проте в процесі їх роботи в саму систему охолодження двигуна так само потрапляє безліч дрібних частинок, хімічно активних речовин і сміття, які забивають канали протікання рідини системі, знижуючи з часом її ефективність [1]. До того ж ці системи вимагають постійного підведення робочого тіла, внаслідок чого їх застосування обмежене судновими двигунами та стаціонарними силовими установками.

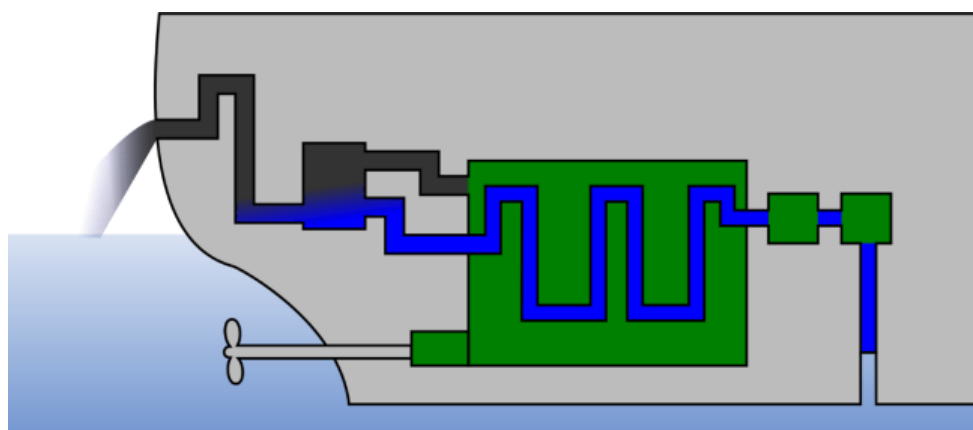


Рисунок 2 - Схема незамкнутої рідинної системи охолодження двигуна на судні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 1.1.2 Замкнуті системи охолодження

Найчастіше застосовуються в автомобільних двигунах нашого часу є рідинні системи охолодження замкнутого типу [1], вони, своєю чергою, поділяються кілька основних видів: термосифонні, примусові, комбіновані.

У термосифонній системі, зображеній на Рисунку 3, робота відбувається за рахунок різниці природних гравітаційних сил, що впливають на рідини з різною щільністю: менш щільну розігріту біля деталей двигуна і холоднішою в теплообміннику. Даний тип є найпростішим із усіх рідинних замкнутих систем охолодження, проте рідко застосовується на практиці через слабку інтенсивність руху рідини, а значить і тепловідведення [1].

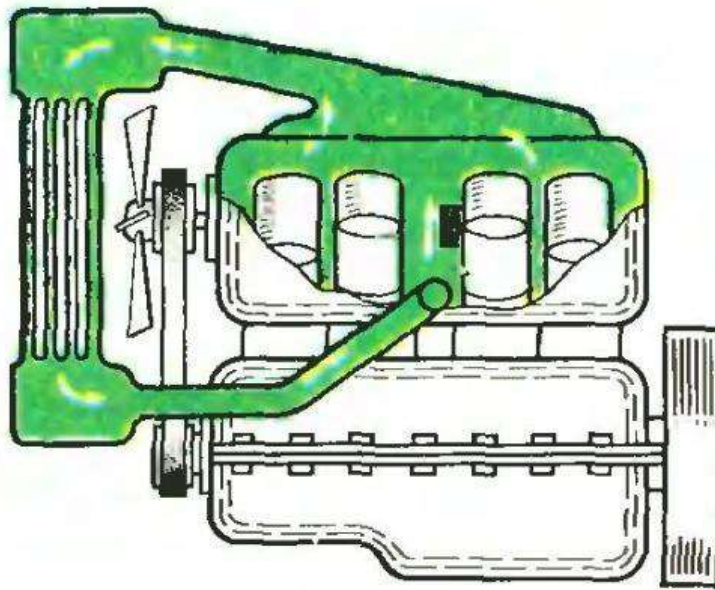


Рисунок 3 – Схема термосифонної системи охолодження [1].

Комбінованими називаються системи, в яких існує поділ деталей за принципом охолодження: найбільше тепловантажені деталі охолоджуються примусово, а менш відповідальні - за термосифонним принципом [1].

Найпоширенішим же типом замкнутих рідинних систем охолодження

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

двигунів є примусові системи охолодження, в яких циркуляція робочого тіла забезпечується спеціальним насосом [5]. Така система зображена на Рисунку 4. Не дивлячись на складність даного типу, він має низку переваг у порівнянні зі своїми аналогами: компактність, ефективність та інтенсивність тепловідведення, можливість застосування у різних автомобілях, можливість роботи у широкому спектрі кліматичних умов. Робочим тілом у них є дистильована вода, що не створює відкладень у каналах системи, або спеціальні рідини, що мають високу температуру закипання, а також низьку температуру замерзання, що спрощує експлуатацію транспортного засобу та допомагає підвищити його характеристики.

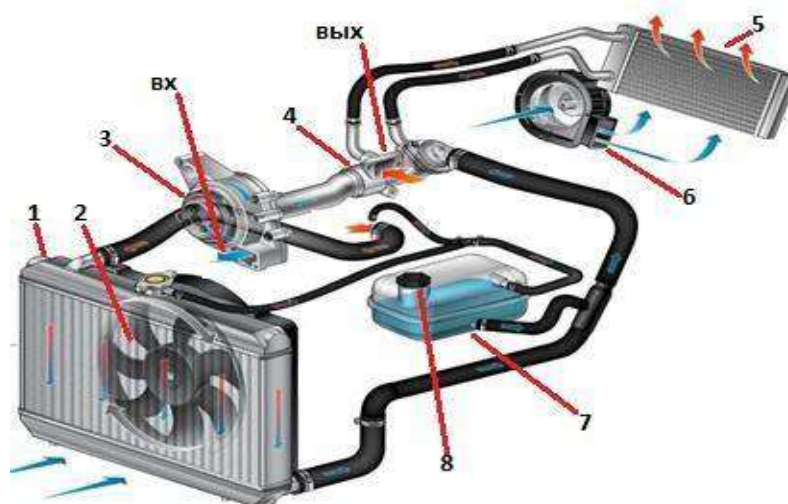


Рисунок 4 – Схема замкнутої рідинної примусової системи охолодження.

На представленій схемі (Рисунок 1.4) позначені: 1 – Радіатор системи охолодження двигуна; 2 – Вентилятор системи охолодження двигуна; 3 – Насос системи охолодження двигуна; 4 – Термостат; 5 - Радіатор обігрівача салону; 6 - Вентилятор обігрівача салону; 7 – Розширювальний бачок системи охолодження двигуна; 8 - Пробка розширювального бачка із

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

клапаном регулювання тиску в зборі.

Температура рідини в системі охолодження грає велику роль: чим вона вища, тим менше теплоти від згоряння паливно-повітряної суміші в циліндрі передається його стінці, рівномірніше температура стінки, менше габарити та маса теплообмінників. Підвищена температура кипіння рідини в системі досягається за допомогою декількох дій: підняття робочого тиску в системі, проте варто пам'ятати про небезпеку розгерметизації такої системи, що призведе до падіння її характеристик або навіть припинення її роботи, а також застосування висококиплячих рідин [5].

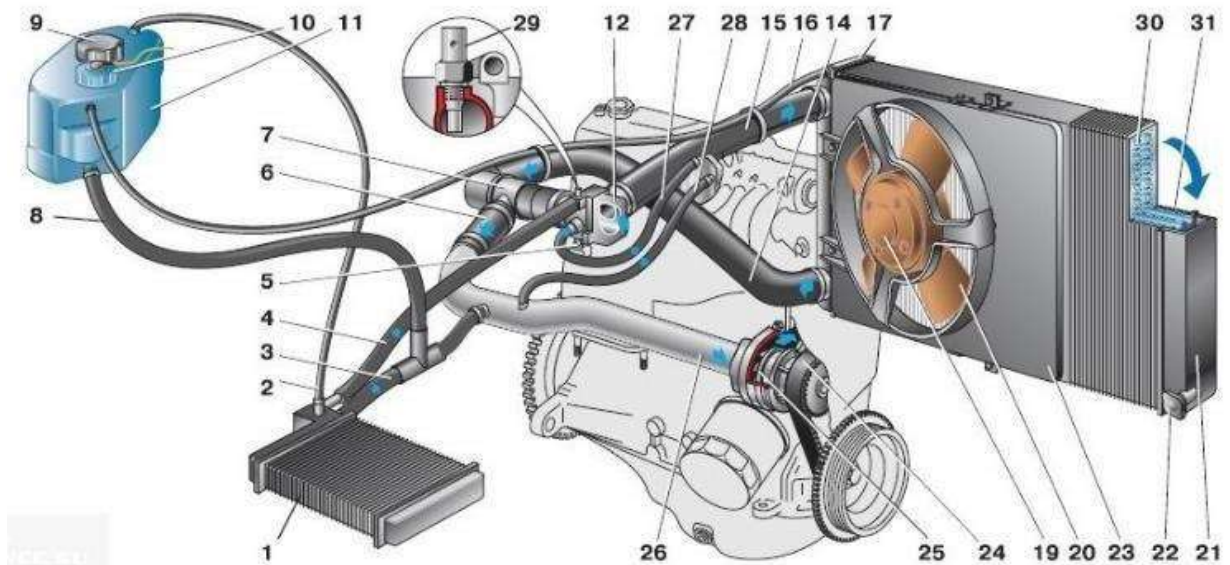


Рисунок 5 – Схема замкнутої системи охолодження двигуна ВАЗ 2108.

У двигунах ВАЗ застосовується замкнута рідинна примусова система охолодження з двома колами циркуляції охолоджуючої рідини, наприклад, система охолодження двигуна ВАЗ 2108 на Рисунку 5. При температурі охолоджуючої рідини нижче певного значення, вона, під дією водяного насоса, циркулює по малому порожнинах між стінками циліндрів та стінками блоку двигуна, не потрапляючи в радіатор (мале коло циркуляції), як на Рисунку 6 зверху. Це обмеження необхідне швидкого виведення

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

двигуна в ефективний тепловий режим. Коли температура двигуна досягає оптимальних значень, рідина, що охолоджує, починає циркулювати через радіатор, де активно охолоджується (велике коло циркуляції), як на Рисунку 6 знизу. При перевищенні температури рідини задалегідь визначених значень, включається вентилятор системи охолодження, що збільшує повітряний потік в радіаторі, прискорюючи тепловідведення і знижуючи температуру [5].

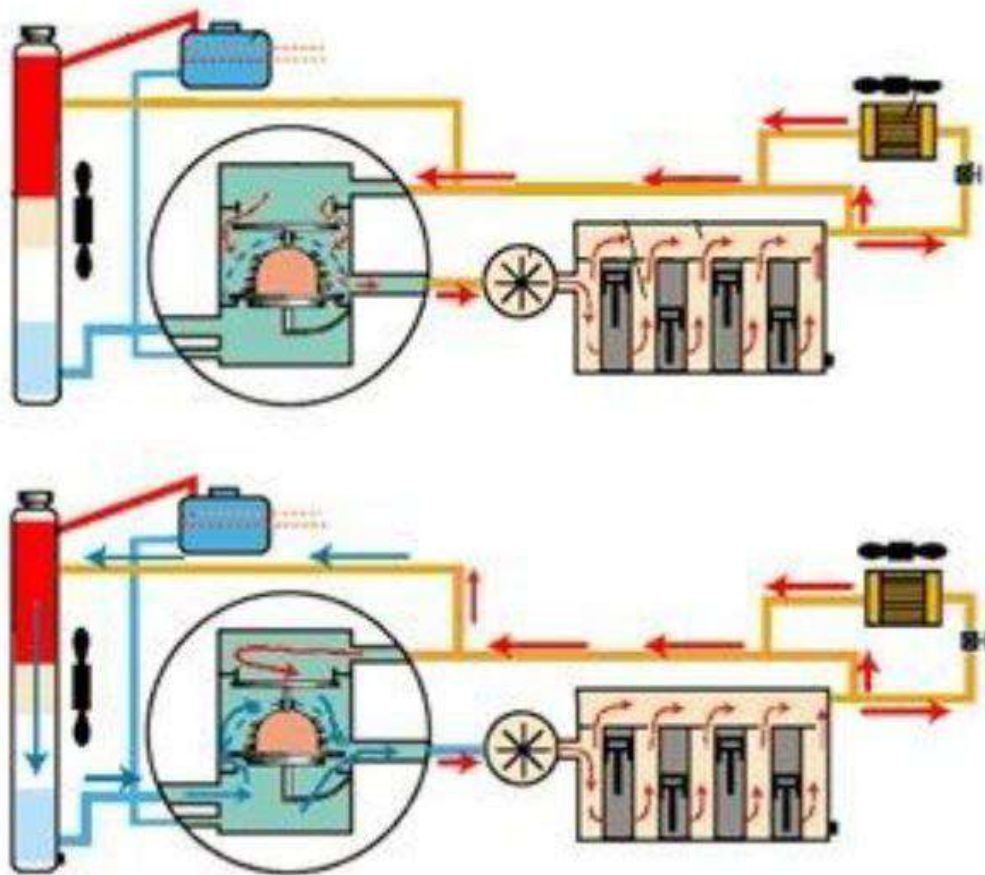


Рисунок 6 - Малий і великий кола циркуляції рідини, що охолоджує.

## 1.2 Тенденції розвитку систем охолодження двигунів легкового автомобіля

Розвиток систем охолодження двигунів внутрішнього згоряння в даний час відбувається за такими основними напрямками:

						ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

- зниження залежності продуктивності системи від режиму роботи двигуна;
- підвищення робочої температури охолоджуючої рідини у системі [24];
- створення багатоконтурних систем охолодження, що дозволяють диференційовано регулювати температуру у різних частинах двигуна.

Пояснюються ці напрями такими факторами:

Як правило, в сучасних масових автомобільних двигунах циркуляція робочого тіла в системі охолодження відбувається за рахунок роботи водяного насоса, який пов'язаний за допомогою зубчастих або ременів з колінчастим валом двигуна. У такій схемі продуктивність насоса залежить від оборотів двигуна, і на його функціонування невід'ємно витрачається частина потужності двигуна.

Це дозволяє в один момент часу узгодити роботу двигуна та водяного насоса, підвищуючи відведення тепла від двигуна зі збільшенням обертів. Однак цей же прямий зв'язок не допускає реалізації роботи водяного насоса з урахуванням навантаження двигуна, температури охолоджуючої рідини, температурного режиму роботи.

Наприклад, при роботі двигуна з температурами нижче робочої, продуктивність насоса може бути зайвою, і відведення тепла від двигуна негативно вплине на його роботу, і в даному випадку було б бажано знизити продуктивність насоса, для прискорення досягнення двигуном необхідної температури.

Протилежно, якщо двигун тривалий час працював у високонавантажених режимах (наприклад, автомобіль буксував важкий вантаж або брав участь у гонці, постійно підтримуючи двигун у пікових зонах продуктивності), а після обертів двигуна впали до холостого ходу

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(розвантаження після букування або фініш після гонки) виникне ситуація, коли двигун і підкапотний простір надмірно розігріті, а система охолодження замість підвищеної інтенсивності роботи для повернення температури двигуна до оптимальної значно знижує свою продуктивність. Це може призвести до локальних перегрівів двигуна, детонації паливно-повітряної суміші, погіршення екологічних показників двигуна або навіть виходу його з ладу внаслідок підвищеного тертя.

Для більш гнучкого керування системою охолодження у подібних ситуаціях найбільш сучасні двигуни використовують водяний насос із приводом від електромотора. У такому разі, енергію він споживає кількості з вироблюваної генератором автомобіля і управляється контролером електронної системи управління двигуном. А це означає, що з'являється можливість реалізації управління системою охолодження за прописаним набагато складнішим алгоритмом, з урахуванням температури і навантаження двигуна, роботи вентиляторів, характеристик радіатора, стану навколишнього середовища і т.д.

Другий напрямок розвитку систем охолодження впливає з визначення ККД теплової машини, яким є автомобільний двигун внутрішнього згорання:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (1)$$

де - коефіцієнт корисної дії;

$Q_1$ - Абсолютне значення питомої кількості підведеної теплоти;

$Q_2$ - Абсолютне значення питомої кількості відведеної теплоти.

ККД двигуна тим вище, чим менше кількості тепла, що віддається охолоджувачу: у випускний колектор з відпрацьованими газами або в навколишнє середовище через систему охолодження. У свою чергу кількість теплоти, що віддається системі охолодження, залежить від коефіцієнта

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

теплопередачі, площі поверхні та середньої різниці температур між системою охолодження та камерою згоряння:

$$Q = kF\Delta T, \quad (2)$$

де  $Q$  - кількість теплоти, що віддається системі охолодження;

$k$ - Коефіцієнт теплопередачі від камери згоряння до робочого тіла системи охолодження;

$F$ - Площа поверхні циліндра;

$\Delta T$ - різниці температур між камерою згоряння та системою охолодження.

При інших рівних коефіцієнт і площа залишаються незмінними, як і температура в камері згоряння, таким чином ефективність двигуна можна підняти за рахунок підвищення температури в системі охолодження. Досягається вищої температури за допомогою керуючих пристроїв (термостат, вентилятори охолодження), проте це неможливо без додаткової технологічної підготовки.

Два основні варіанти цих рішень:

Перший – зміна робочого тіла системи. створення спеціальної рідини з пакетом присадок, що дозволяє їй не деградувати протягом достатнього часу при підвищеній температурі; знижує агресивність рідини по відношенню до матеріалів двигуна за високих температур; і найголовніше - що зміщує точку кипіння рідини вище за шкалою температур.

Другий – підвищення робітничатиску в системі, що тягне за собою зміну вимог до гнучких елементів траси системи охолодження, ущільнень, насосу охолоджуючої рідини.

Так у 2016 році команда Формули-1 Mercedes-AMG Petronas F1 team повідомляла [24] про те, що за допомогою комбінації даних рішень змогла досягти робочої температури системи охолодження 115°C, створивши, за їх Заявою, найефективніший не експериментальний поршневий іскровий

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

двигун внутрішнього згоряння, досягнувши ККД понад 50%.

Разом з цим неможливо просто підвищити температуру рідини, що охолоджує, у всьому двигуні, т.к. це спричинить перевищення допустимої температури в критичних зонах двигуна, наприклад, на гранях капелюшка випускного клапана. Це може спричинити гартальне спалювання палива та детонацію, що порушить роботу двигуна, знизить його ефективність або навіть призведе до його руйнування. Також порушення процесу згоряння палива в циліндрі неминуче призведе до зниження екологічних характеристик двигуна.

Тому в поєднанні з попереднім напрямом розвитку систем охолодження змінюють загальну архітектуру та логіку роботи системи охолодження, розділяючи між собою контури охолодження блоку (блоків) циліндрів та головки (головок) блоку циліндрів. Ступінь поділу може відрізнятися від моделі до моделі, але за ступенем поглиблення диференціації можна побудувати наступний логічний ланцюжок модернізації системи охолодження:

Спочатку організуються два не пов'язані між собою керуючі елементи (термостати), один на блок двигуна, другий - на ГБЦ. У блоці двигуна застосовується термостат з вищою температурою повного відкриття клапана, що підтримує більш високу температуру в блоці, зберігаючи нижчу в ГБЦ, раніше направляючи її охолоджуватися через велике коло системи охолодження з радіатором.

Причина саме такого поділу полягає в тому, що саме ГБЦ містить основні концентратори нагріву, що є ризиковими зонами: свічку запалювання і випускні клапани. При цьому площа поверхні камери згоряння в ГБЦ, як правило, значно менша, ніж у блоці двигуна, що знизить вплив підвищення температури в цій зоні на ККД двигуна щодо реалізації такого рішення в блоці.

Одночасно поверхня циліндра блоку двигуна має велику площу і не

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

має концентраторів нагріву, що знижує ризики детонації.

У такій системі для роботи застосовується єдиний радіатор охолодження двигуна і водяний насос, що подає охолоджувальну рідину в єдину систему блоку і ГБЦ, організовуються роздільні виходи системи охолодження з блоку двигуна і з ГБЦ, змінюється конструкція деки блоку циліндрів, площині привалки до блоку на головці блоку циліндрів та прокладки ГБЦ, т.к. через дані площини вже не потрібно проводити весь об'єм охолоджувальної рідини, а лише кількість, яка безпосередньо необхідна для охолодження ГБЦ, тому канали в блоці і ГБЦ і отвори під них в прокладці зменшуються за площею свого перпендикулярного перерізу.

Наступним етапом найчастіше реалізують застосування двох роздільних водяних насосів, що живлять системи охолодження ГБЦ та блоку циліндрів. Це дозволяє не прокачувати всю охолоджувальну рідину, що використовується для охолодження ГБЦ через блок циліндрів, і уникнути зайвого нагрівання рідини від теплонавантаженої деталі і точніше керувати температурою. При цьому отвори в прокладці ГБЦ все одно залишаються, хоч і незначного діаметра, для уникнення різкого перепаду температур в площину роз'єму Блок-ГБЦ. На цьому етапі все ще використовується єдиний радіатор охолодження, де рідини з двох контурів охолодження змішуються між собою.

Резюмуючи, розвиток систем охолодження двигуна зводиться до організації більш стабільної, керованої та гнучкої системи охолодження, що сприяє підвищенню ККД двигуна, знижуючи питому витрату палива на 1 кінську силу.

## **2 РОЗРОБКА В САПР ЕЛЕКТРОННИХ МОДЕЛІВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ**

### **2.1 Опис конструкції вузлів системи охолодження легкового автомобіля**

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними елементами замкнутої примусової системи охолодження є: канали навколо циліндрів і в головках циліндрів (так звана сорочка охолодження), утворені зовнішніми стінками блоку циліндрів його головки, теплообмінники (радіатори), водяний насос, з'єднувальні труби, ущільнювальні прокладки, пристрої для підтримки системи, пристрої, що поділяють систему (термостати), вентилятори, що забезпечують потік повітря у радіаторах.

Термостат (рисунок 7) працює як автоматичний клапан: у закритому стані не дозволяє охолодній рідині проникнути в радіатор, але при температурі середовища 82... 89 °С він відкривається і тоді циркуляція рідини проходить великим колом (через радіатор). Причому, що стоїть температура середовища, то більше вписувалося зазор відкриття термостата, що збільшує його пропускну здатність.

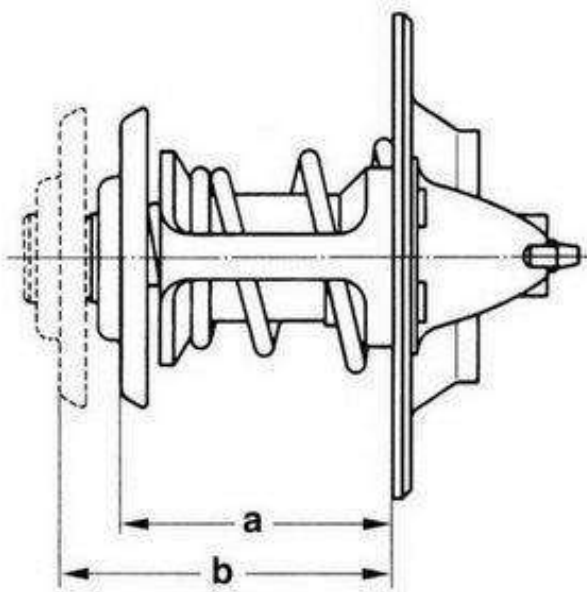


Рисунок 7 - Термостат [5]

Водяний насос (рисунок 8) забезпечує примусову циркуляцію рідини в системі охолодження двигуна, найчастіше застосовують лопатеві насоси відцентрового типу.

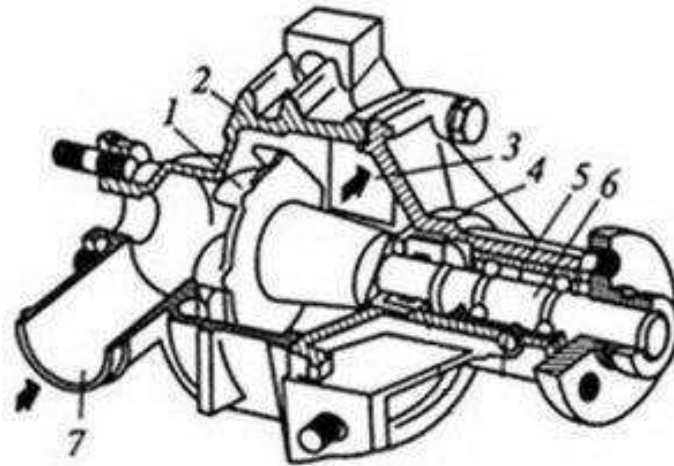


Рисунок 8 - Водяний насос [5]

Радіатор забезпечує відведення теплоти рідини, що охолоджує, в навколишнє середовище. Він складається з двох бачків та серцевини. Найбільш поширені трубчасті та пластинчасті радіатори. У перших серцевина утворена декількома рядами трубок, пропущених через паралельні пластини, що збільшують поверхню охолодження і надають жорсткості радіатору (такий радіатор представлений на Рисунку 9), у других серцевина складається з одного ряду плоских трубок, кожна з яких виготовлена з спаяних між собою по краях гофрованих пластин.



Рисунок 9 - Радіатор

Розширювальний бачок служить для компенсації змін обсягу рідини, що охолоджує, при коливаннях її температури і для контролю кількості рідини в системі охолодження. Він також містить деякий запас охолоджуючої рідини на її природний спад і можливі втрати.

Так само на розширювальних бачках, як правило, розташовують пробку, що має два клапани: паровий для зниження тиску при закипанні рідини, який відкривається при надмірному тиску, і повітряний, що пропускає повітря в систему при зниженні тиску внаслідок охолодження рідини і цим запобіжний трубки радіатора і труби системи охолодження від сплющування атмосферним тиском. Саме ця пробка регулює підвищене значення тиску в системі. Фотографію бачка у зборі з кришкою наведено на Рисунку 10.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



Рисунок 10 - Розширювальний бачок із пробкою [5]

## **2.2 Побудова в САПР електронної моделі складання системи охолодження двигуна автомобіля**

Для створення моделей труб спочатку створюється складання компонування всіх взаємопов'язаних деталей і вузлів, розташування яких задає геометрію трубопроводів. Ці вузли: двигун (вхідний інтерфейс водяного насоса та вихід від ГБЦ і розташовуються в ньому), розширювальний бачок, радіатор системи охолодження двигуна та обігрівач салону з радіатором збирання. Також на геометрію трубопроводів впливатиме все їхнє найближче оточення: кузов, система випуску відпрацьованих газів, система впуску, необхідні елементи кріплення.

Кузов використовується серійний, виставляється у стандартних координатах автомобіля (вісь  $Y$  спрямована вздовж передньої осі автомобіля, вісь  $X$  спрямована до задньої частини автомобіля, вісь  $Z$  – вертикально вгору, осі  $X$  та  $Z$  утворюють поздовжню площину симетрії автомобіля).

Деталі в підкапотному просторі розташовуються, виходячи з вимог щодо зазорів, теплових навантажень, кінематики їх можливих переміщень:

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- обігрівач займає своє стандартне розташування у салоні автомобіля;
- двигун розташовується з урахуванням розподілу маси автомобіля по осях, компонованості в кузові, переміщень силового агрегату в процесі роботи і тепловими зазорами;
- радіатор розташовується в передній частині моторного відсіку із забезпеченням зазору до двигуна та максимально можливої площі обдування;
- Мітка мінімального рівня охолоджуючої рідини на розширювальному бачку повинна розташовуватися вище верхньої точки радіатора.

Описана збірка представлена на рисунках 11 та 12.

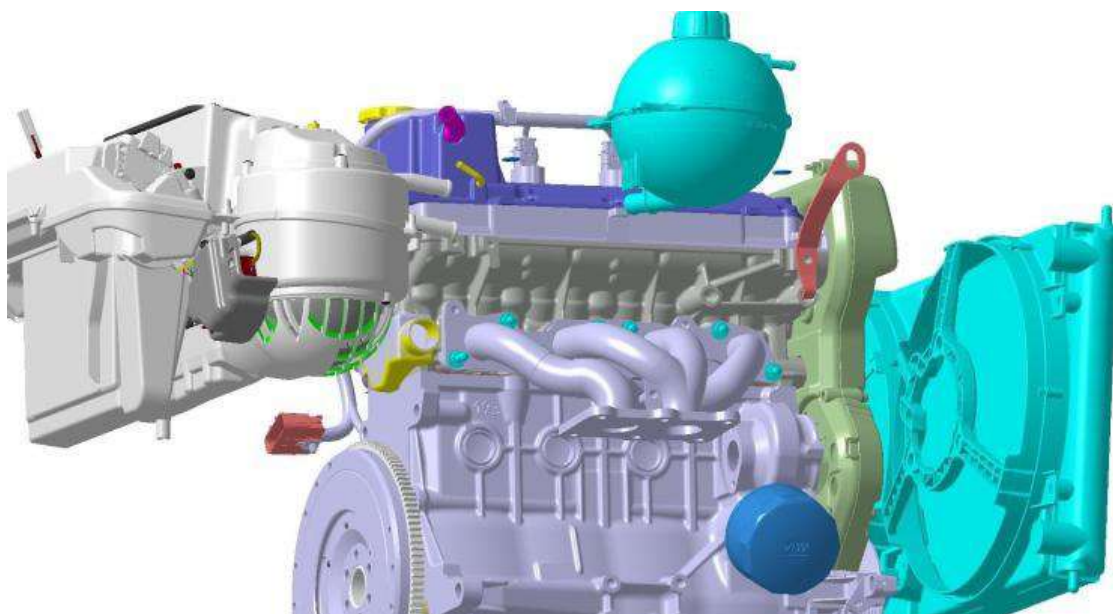


Рисунок 11 - Вид складання системи охолодження ззаду-знизу-праворуч

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

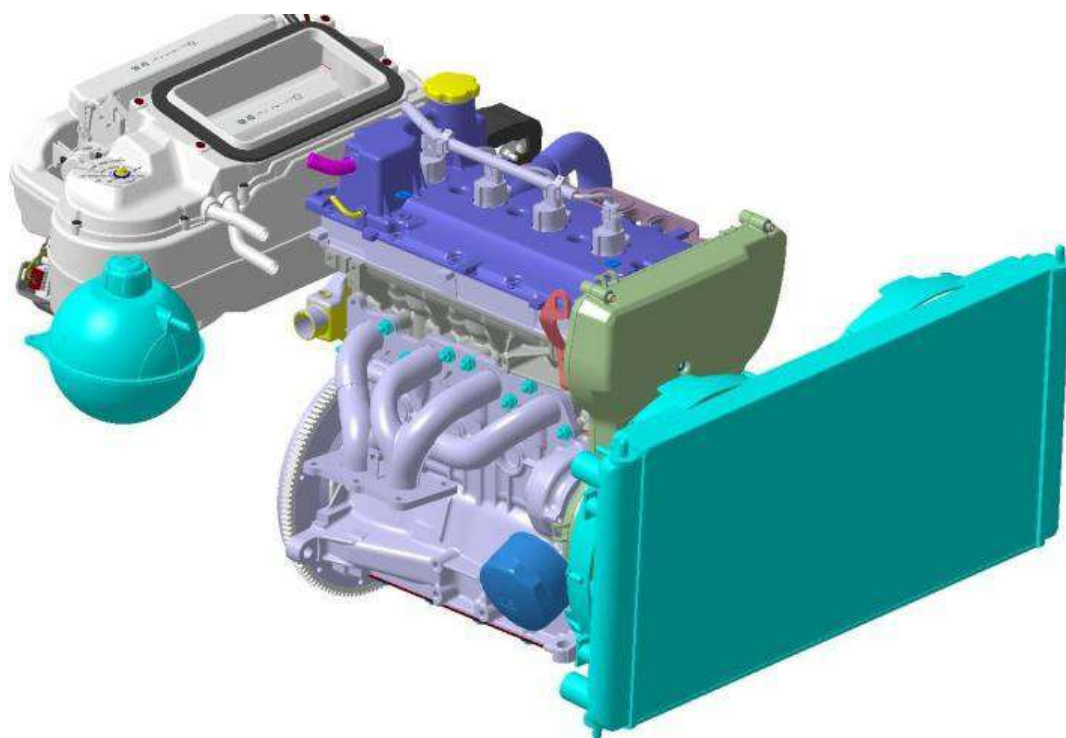


Рисунок 12 - Вид складання системи охолодження спереду-зверху-  
праворуч

З наявної збірки для подальшої побудови моделі труби водяного насоса, що підводить, отримуємо базові координати (точки кріплення, привалочні площини, координати центрів отворів та їх діаметри), вони показані нижче на Рисунку 13.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Рисунок 13 - Базові координати для побудови труби водяного насоса, що підводить.

Спочатку створюємо трубу, що відводить рідину, що охолоджує, від головки блоку циліндрів. У даній трубі передбачаються відведення до радіатора обігрівача, термостата і радіатора двигуна. Висновок до радіатора створюється з урахуванням застосування серійного патрубку радіатора, що підводить. Положення виведення до термостату задається застосуванням серійного патрубку та забезпеченням зазору до повітряного фільтра.

Обмеженнями при побудові будуть технологічні можливості постачальника: радіус згинання по центральній лінії труби 60 мм, довжина перехоплення між двома найближчими згинами, матеріал труби (сталь 08пс), товщина стінки труби 1 мм.

Наступним етапом створюємо паровідвідний патрубок від радіатора до розширювального бачка. Цей патрубок не повинен мати провисань у своїй довжині для уникнення накопичення в ньому конденсату після

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закінчення роботи двигуна та охолодження. Створюємо геометрію обхід корпусу повітряного фільтра, передбачаючи точки кріплення патрубків на кронштейні повітряного фільтра.

Патрубки підключення до радіатора обігрівача – серійні. Для забезпечення їх компоновки змінюємо їхнє положення в підкапотному просторі.

Компоновка вузлів, що вийшло, показано на Рисунку 14.

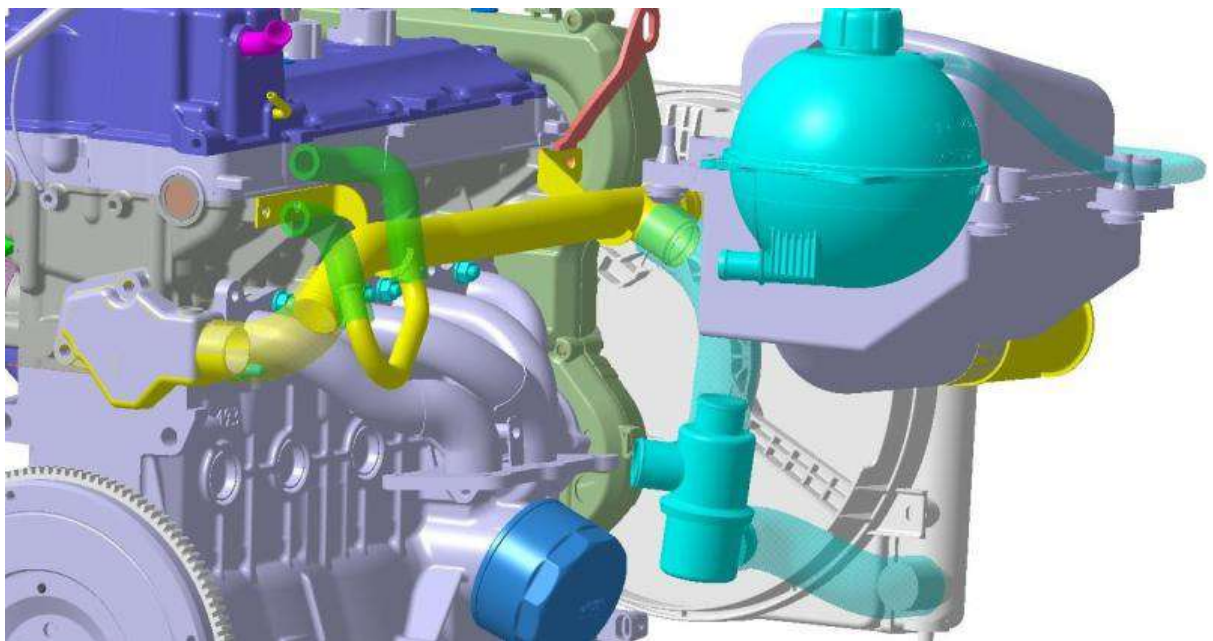


Рисунок 14 - Вид патрубків і труби системи охолодження, що відводить

### **2.3 Побудова в САПР електронної моделі трубопроводів системи охолодження двигуна автомобіля**

У процесі створення геометрії запланованої до розгляду труби водяного насоса, що підводить, необхідно буде передбачити входи від термостата і радіатора обігрівача, підключення до розширювального бачка.

Напрямна лінія труби до термостата повинна перетинатися з лінією виведення термостата, для подальшого створення патрубків, що з'єднає їх.

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Зовнішній діаметр труби до термостату - 32 мм, труби до розширювального бачка - 20 мм, труби до радіатора обігрівача - 16 мм. Товщина стінок усіх труб 1 мм.

При ескізному побудові виявили неможливість побудови труби до термостату одним гибом, т.к. у такому разі не витримуються необхідні зазори до випускного колектора вихлопної системи, тому було прийнято рішення створення труби з двох елементів, що спаяли між собою.

На базовій поверхні привалки труби ПВН до блоку в районі водяного насоса створюємо ескіз фланця, а після витягуємо, результат показаний на Рисунку 15.

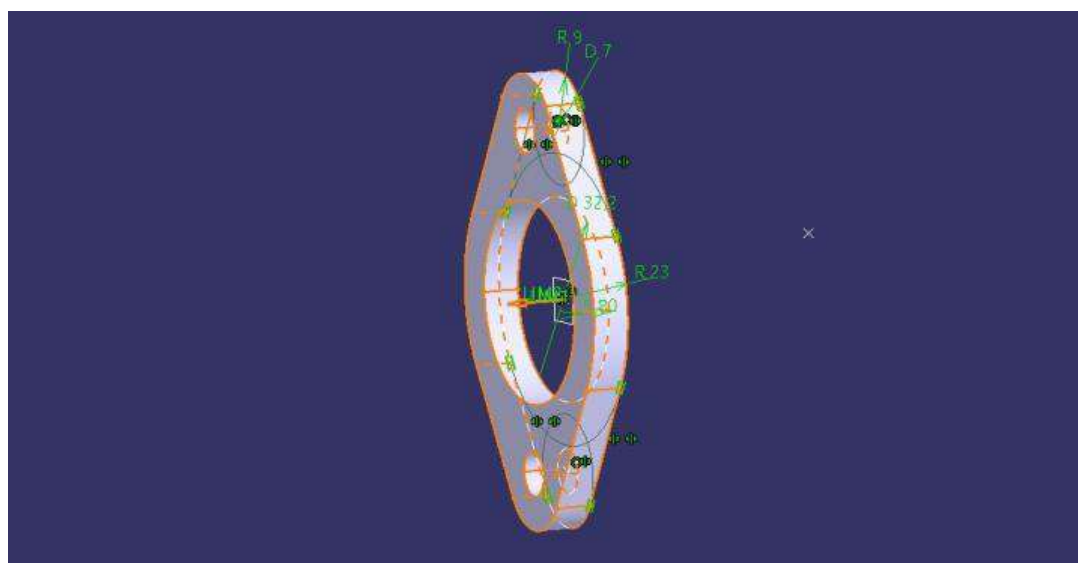


Рисунок 15 - Побудова фланця

Далі будуємо напрямну лінію труби від фланця і направляючу, що перетинається з нею, від точки перетину з віссю вихідного патрубку термостата (рисунок 16).

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

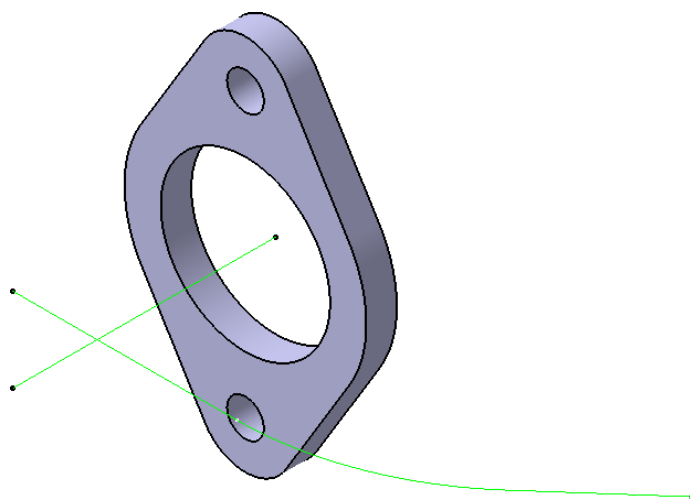


Рисунок 16 - Напрямні труби діаметром 32 мм

Після створення необхідних елементів витягаємо профіль труби вздовж напрямної, отримуючи поверхню. Перпендикулярно площині перетину напрямних, через бісектрису внутрішнього кута, утвореного ними, побудуємо площу, що сік, якій пізніше задамо стик двох труб. На Рисунку 17 січна площина виділена червоним кольором.

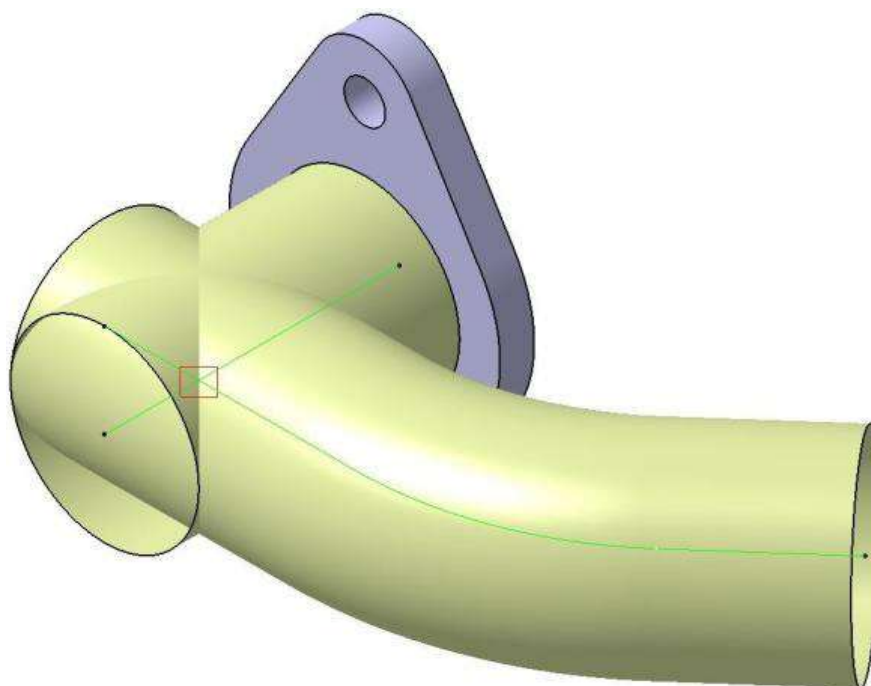


Рисунок 17 - Поверхня, що утворює, і січна площина труби ПВН

Створюємо розвальцювання на кінці труби, призначеному для

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

монтажу гнучкого патрубка, за допомогою округлень зв'язуємо геометрію з труби, що утворює, що зображено на Рисунку 18.

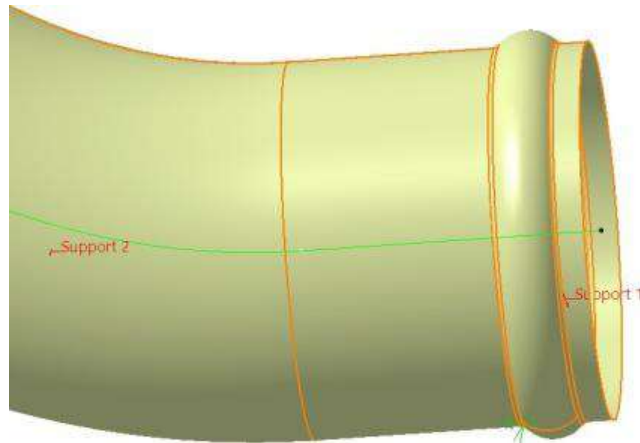


Рисунок 18 - Геометрія розвальцювання

Далі будуємо трубу зовнішнім діаметром 20 мм для підключення розширювального бачка. Створюємо напрямну як продовження осі труби до водяного насоса. Після вигину труба займає положення максимально віддалене від вихлопної системи, але забезпечує достатній зазор до моторного щита. Радіус вигину по середній лінії 40 мм, це значення задано постачальником. Початок напрямної знаходиться на відстані 45 мм від площини прилягання до блоку і виступає у внутрішній простір труби діаметром 32 мм. Напрямна лінія виділена помаранчевим кольором Рисунку 19.

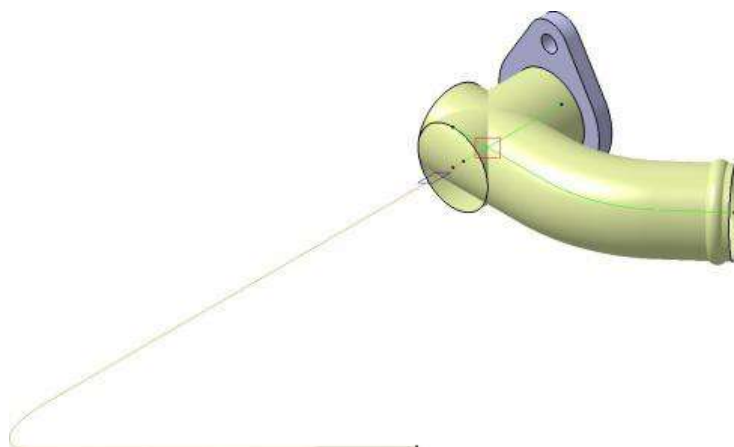


Рисунок 19 - Напрямна труби заправної системи охолодження

Після створення утворює поверхню труби з розвальцюванням для

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

приєднання патрубка. Результат Рисунку 20.

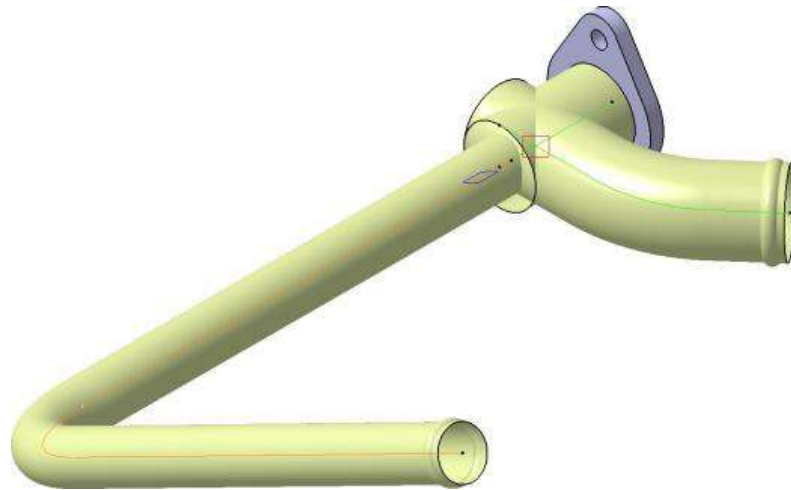


Рисунок 20 - Утворення труби заправної системи охолодження

Направляюча труби радіатора, що відводить, опалювача створюється перпендикулярно напрямної труби заправної, на відстані, достатньому для надійної фіксації заправного патрубка. Верхня частина напрямної задається віссю патрубка радіатора, що відводить, обігрівача салону. При побудові обидві лінії перетинаються в одній точці, радіус згинання по середній лінії дорівнює 29,5 мм. Напрямна зображена Рисунку 21.

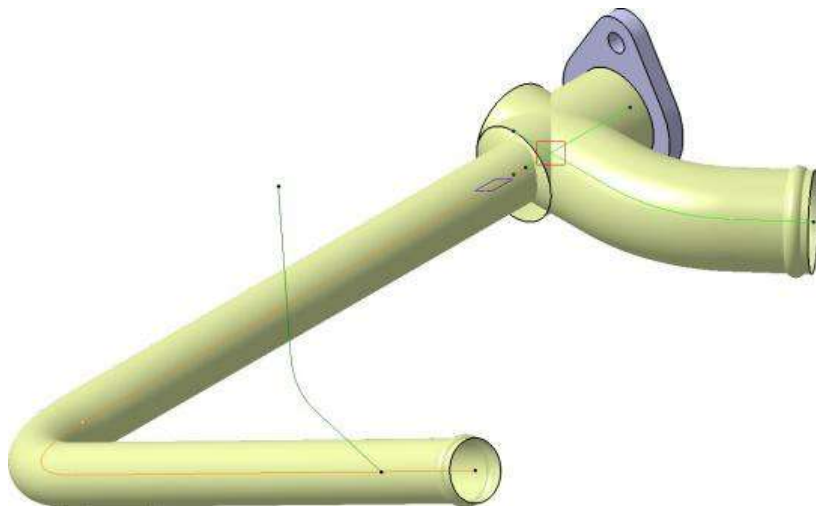


Рисунок 21 - Напрямна труби радіатора отопітеля, що відводить

Після створення утворює поверхню труби з розвальцюванням для надійного приєднання патрубка (рисунок 22).

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

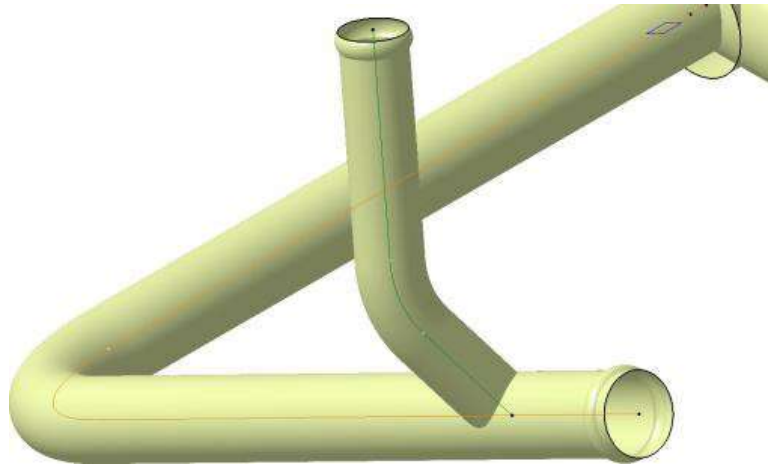


Рисунок 22 - Утворювальна труби радіатора отопітеля, що відводить

Після створення утворюючих поверхонь задаємо їх товщину, кожену трубу задаємо окремим тілом, для можливості індивідуальної зміни кожної труби та проведення булевих операцій. Рисунок 23 зображує геометрію, що вийшла.

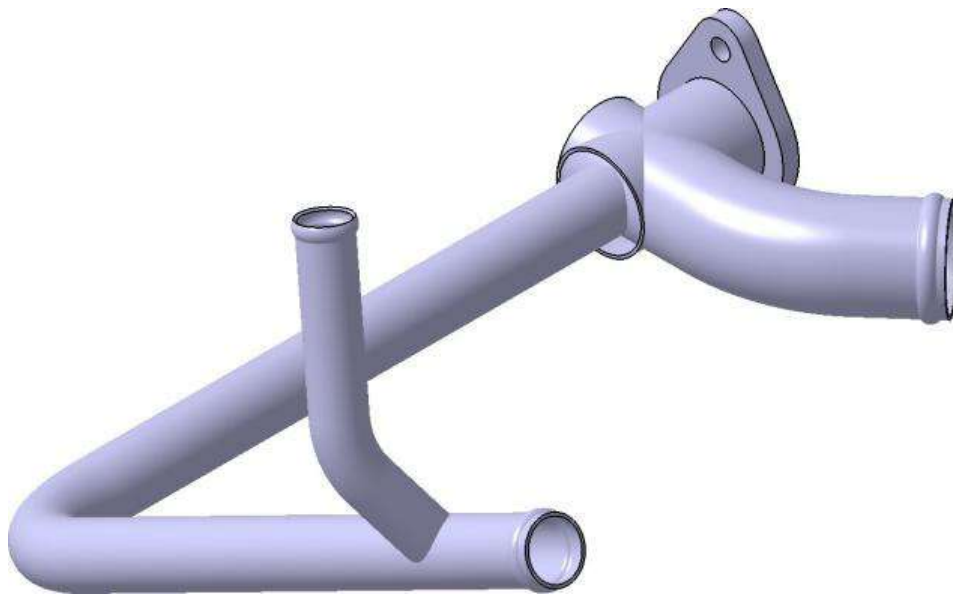


Рисунок 23 - Створені тіла труб

Труби діаметром 32 мм обрізаємо створеною раніше січою площиною, як на Рисунку 24.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

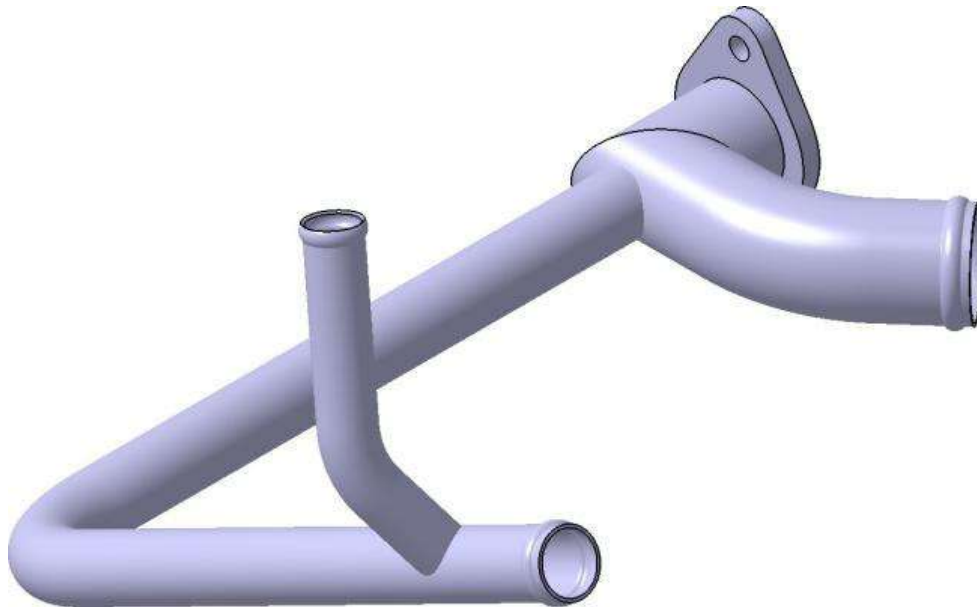


Рисунок 24 - Зразок труб діаметром 32 мм

Після цього вирізаємо в частині труби, що підводить отвір, використовуючи утворювальну поверхню заправної труби, діаметром 20 мм (рисунок 23). У заправній трубі аналогічним чином вирізаємо отвір, використовуючи утворювальну поверхню труби відводить радіатора обігрівача (рисунок 24).

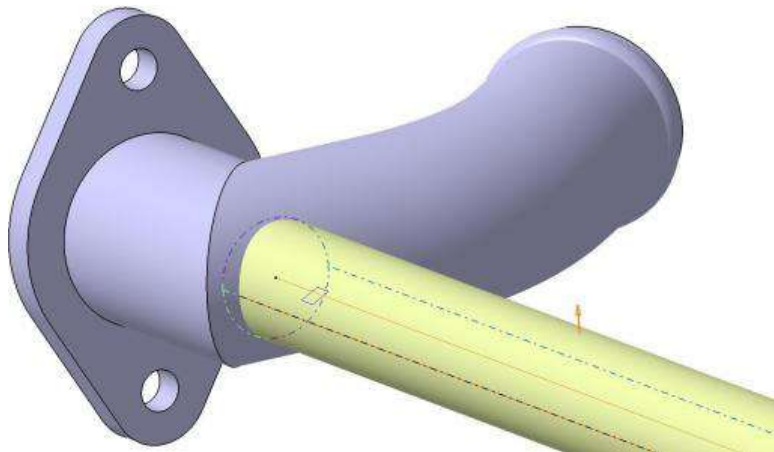


Рисунок 23 - Вирізання отвору в трубі, що підводить

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

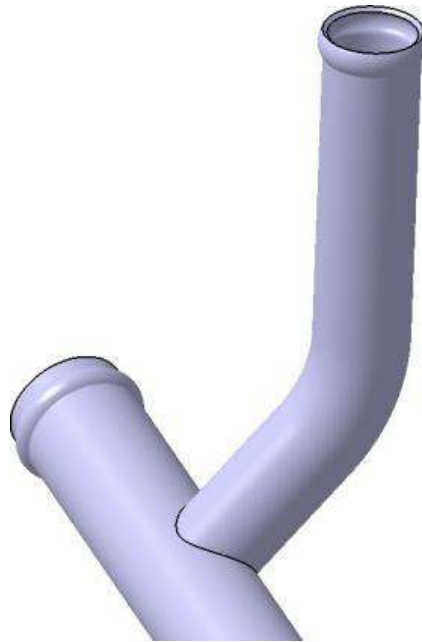


Рисунок 24 - Створений отвір у заправній трубі

При цьому труба відводить радіатора обігрівача сильно виступає у внутрішню частину заправної труби, значно знижуючи площу поперечного перерізу (рисунок 25), тому вводиться фрезерування торця труби для зниження негативного ефекту даної проблеми (рисунок 26).

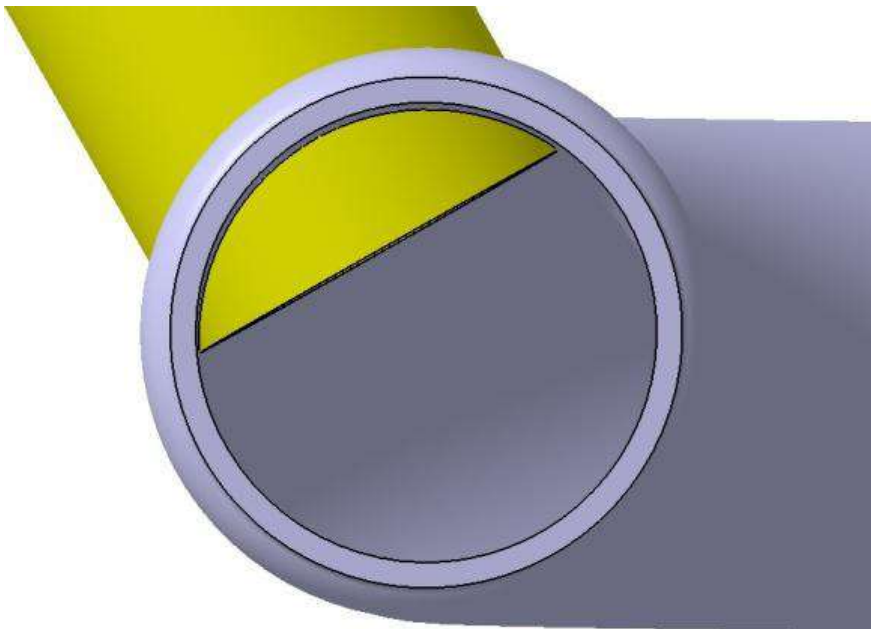


Рисунок 25 - Виступ труби радіатора обігрівача, що відводить.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

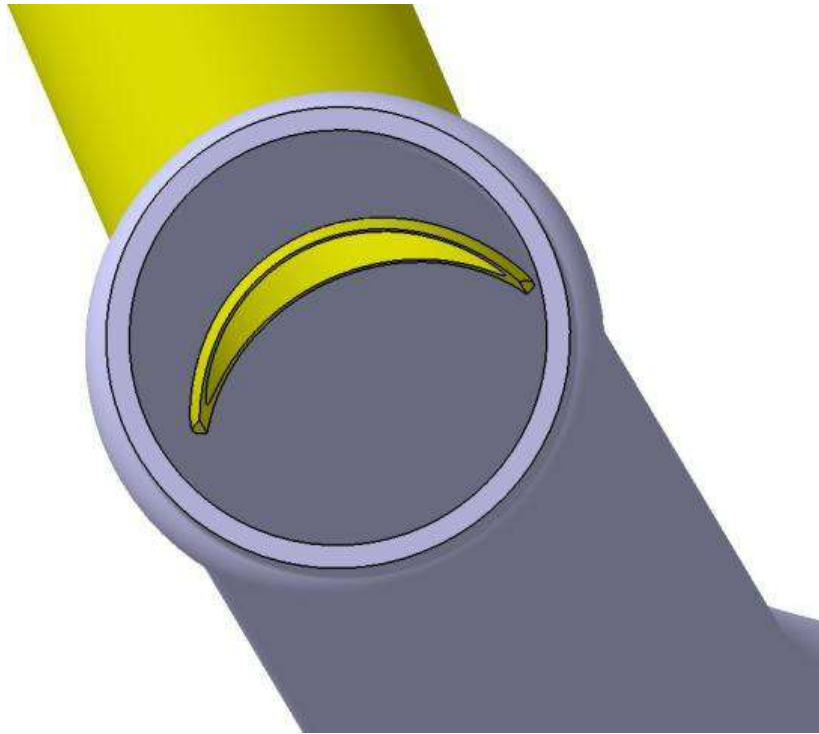


Рисунок 26 - Фрезерування торця труби радіатора, що відводить обігрівача

Наступним етапом побудови моделі створюємо кронштейн труби, що підводить водяний насос. Для цього переходимо в режим роботи з листовим металом. На привалковій площині кріплення труби до головки блоку циліндрів створюємо ескіз, з урахуванням якого створюємо листове тіло (рисунок 27).

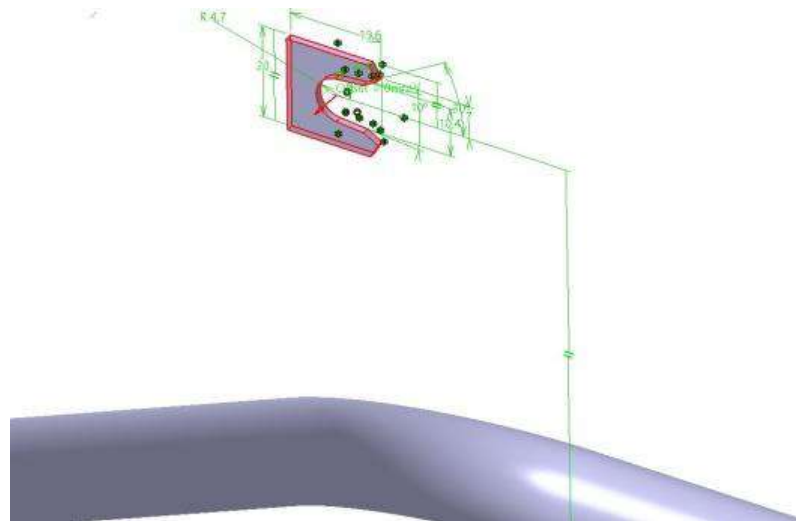


Рисунок 27 – Створення частини кронштейна до ГБЦ

Потім створюємо ребро до заправної труби. Для цього використовується

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

інструмент створення ребра на грані, що базується на ескізі на Рисунку 28.

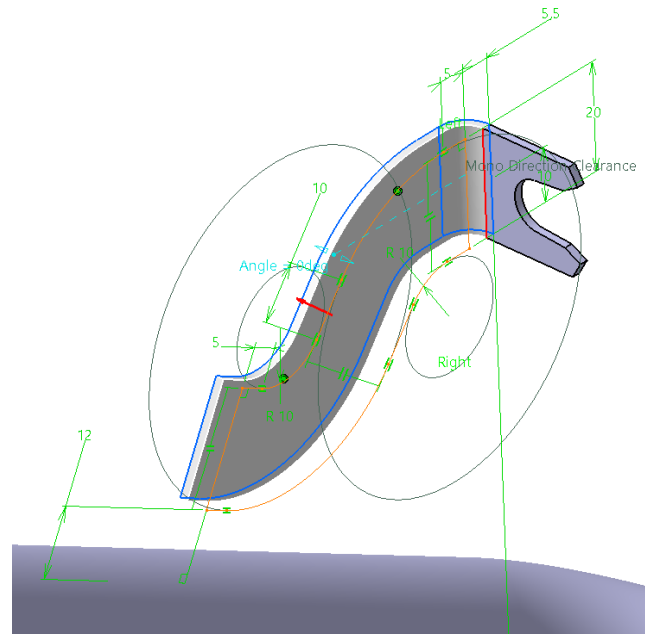


Рисунок 28 - Створення ребра на межі

Наступним етапом створення кронштейна буде частина, що приєднується до заправної труби, яка так само створюється як ребро на грані, засноване на ескізі (рисунок 29).

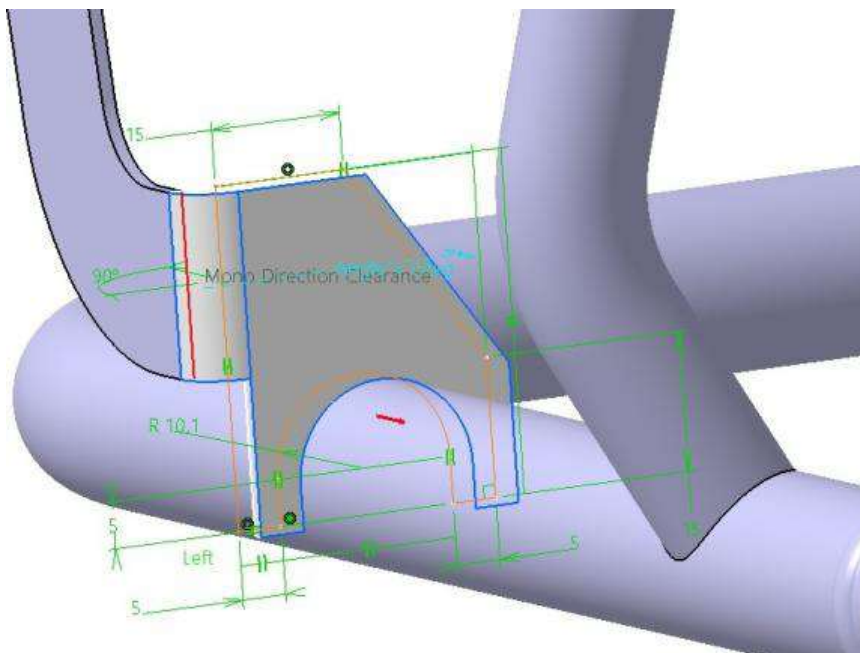


Рисунок 29 - Створення другого ребра на межі

Завершуємо створення кронштейна введенням заокруглень, для

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ

Арк.

35

зниження ймовірності можливих травм слюсарів-збирачів при установці труби водяного насоса, що підводить, у зборі на двигун (рисунок 30).

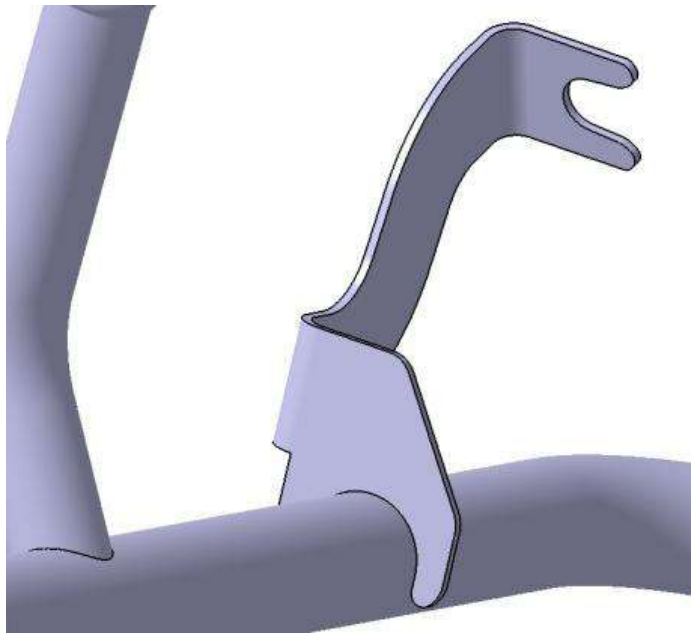


Рисунок 30 - Готовий кронштейн кріплення труби водяного насоса, що підводить.

Отримана модель труби системи охолодження, що підводить, дозволить провести подальші дослідження. Підсумковий зовнішній вигляд створеної моделі труби води, що підводить водяного насоса в зборі представлений на Рисунку 30:

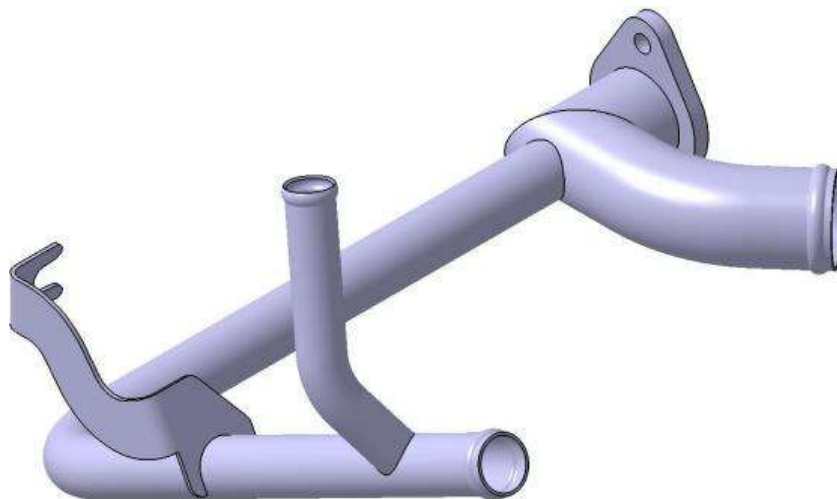


Рисунок 30 - Зовнішній вигляд труби водяного насоса, що підводить в зборі

Після створення моделі труби підводить водяного насоса в зборі

створюємо два нових гумових патрубків, що приєднуються до неї (малюнки 31 і 32).

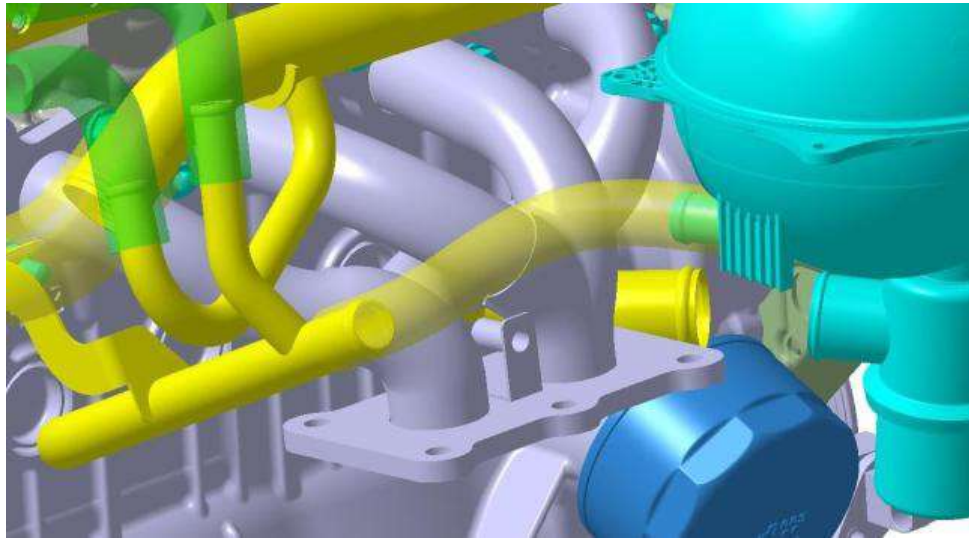


Рисунок 31 - Патрубок заправної системи охолодження

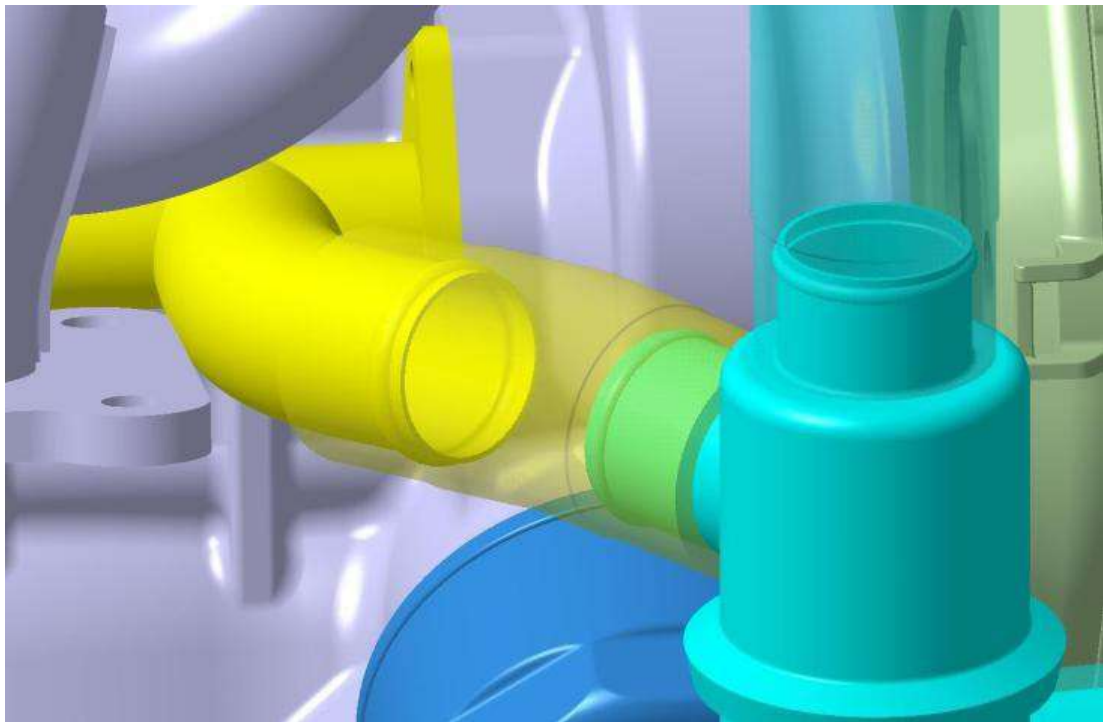


Рисунок 32 - Патрубок сполучний термостата та водяного насоса

### 3 ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ТЕЧЕННЯ РІДИН У

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

## ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА В САПР

### 3.1 Побудова сітки кінцевих елементів для базової конструкції системи трубопроводів

Для оцінки впливу втрат у трубопроводах на роботу системи охолодження двигуна автомобіля (Рисунок 33) в цілому необхідно проведення розрахунку та аналізу тепломасоперенесення робочого тіла з урахуванням гідравлічних опорів.

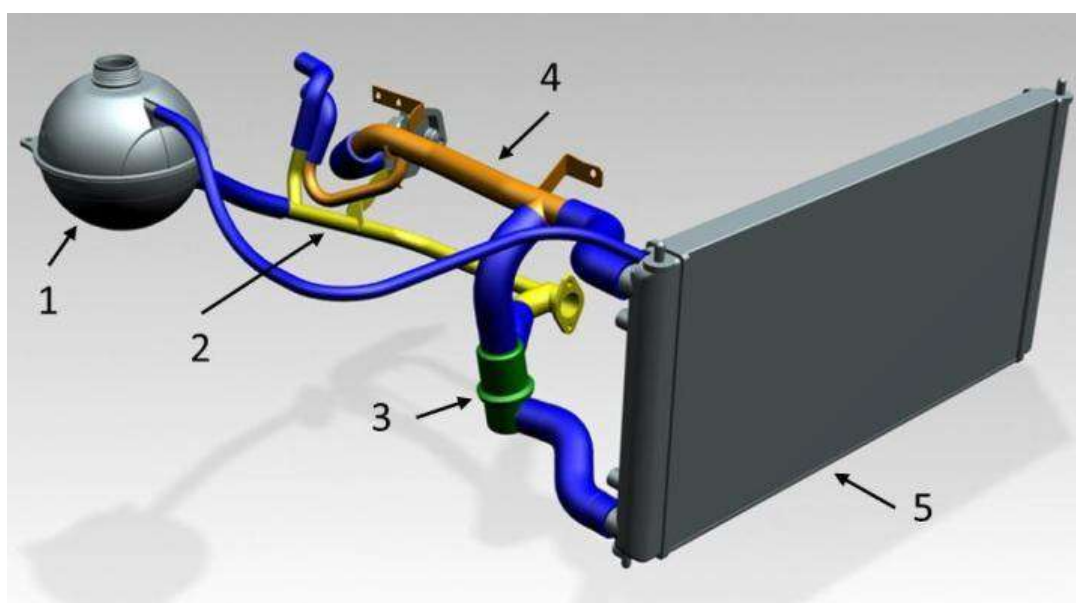


Рисунок 33 - Система охолодження двигуна

На Рисунку 33 цифрами позначені: 1 - розширювальний бачок системи охолодження, 2 - труба, що підводить водяного насоса, 3 - термостат, 4 - труба, що відводить системи охолодження, 5 - радіатор системи охолодження двигуна.

Розробку сітки кінцевих елементів (КЕ) моделі умовно можна поділити на три етапи: 1 - Створення розрахункової моделі на основі збирання трубопроводів. 2 - Вибір типу та розмірів кінцевих елементів. - Побудова сітки КЕ для об'єму рідини у трубопроводі та стінок трубопроводу.

						ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			38

### 3.1.1 Створення розрахункової моделі на основі збирання трубопроводів

Для визначення раціональних режимів перебігу рідини та теплообміну будемо розглядати лише частину системи трубопроводів, а саме трубу, що підводить водяний насос (Рисунок 34), т.к. у цьому вузлі сходяться всі контури системи охолодження.

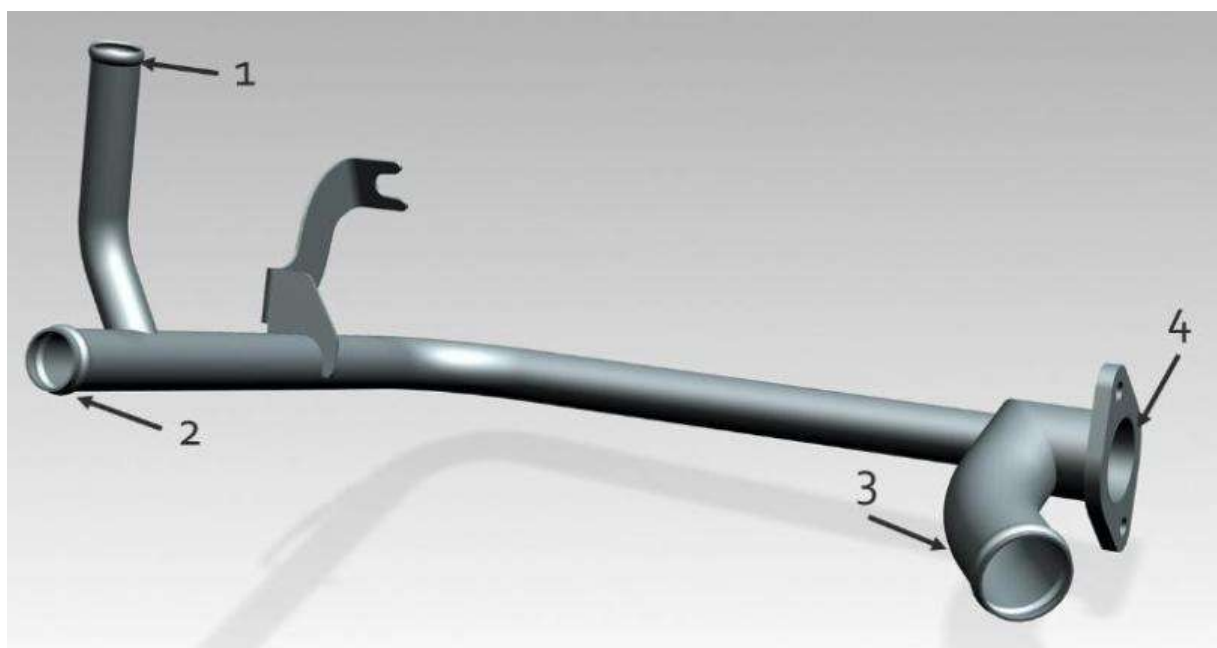


Рисунок 34 - Труба підвідна водяного насоса в зборі Позначення виходів труби: 1 - патрубок відвідний радіатора обігрівача салону, 2 - місце з'єднання з розширювальним бачком, 3 - вхід охолоджуючої рідини від термостата, 4 - вихід на водяний насос.

Так як у виході 2 струм рідини практично відсутній, і він потрібен лише для підтримки постійного тиску та заправлення системи робочим тілом; вихід 1 мало впливає на систему в цілому через малу витрату рідини по даному контуру і малої тепловіддачі в навколишнє середовище; дану частину труби можна не враховувати для спрощення моделі. Однак труба до цих виходів виступає всередину основного трубопроводу, генеруючи додатковий опір, а значить, повністю її видаляти не можна. Також

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

спрощення побудови КЕ сітки видаляємо вальцювання труби, т.к. для побудови даної галузі необхідно буде застосовувати кінцеві елементи малого розміру, що спричинить збільшення кількості КЕ і часу розрахунку. Виключимо і розрахункову схему моделі фланець труби, т.к. він не впливає на режими перебігу рідини.

Таким чином, для розрахунку створюється спрощена модель труби водяного насоса, що підводить (рисунок 35).

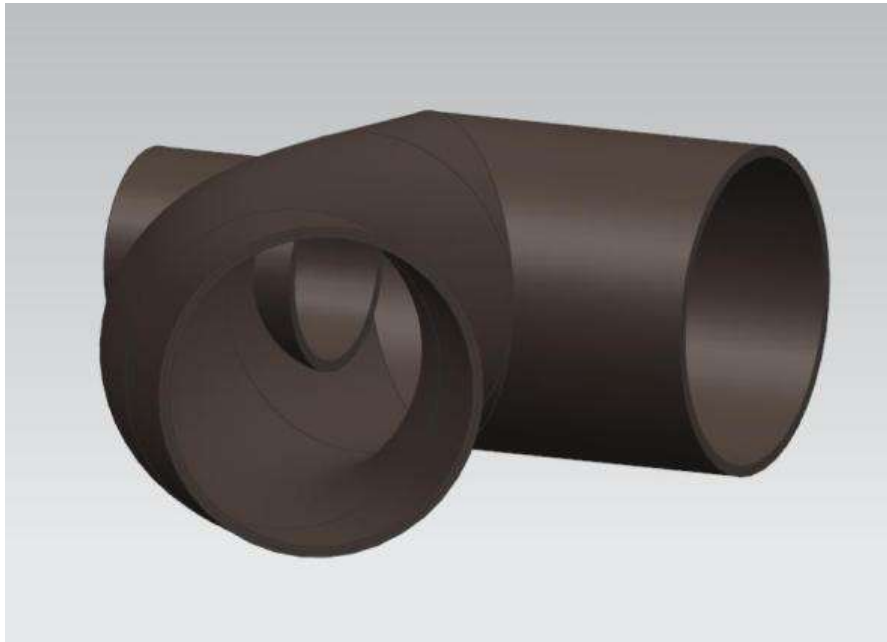


Рисунок 35 - Спрощена модель труби водяного насоса, що підводить.

На Рисунку 35 також можна бачити виступає всередину частина труби.

Для проведення розрахунку заповнюємо внутрішню частину труби (рисунок 36), отримуючи робоче тіло системи охолодження - рідину, що охолоджує. Саме тіло охолоджуючої рідини (рисунок 37) буде використовуватися надалі для проведення розрахунку.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

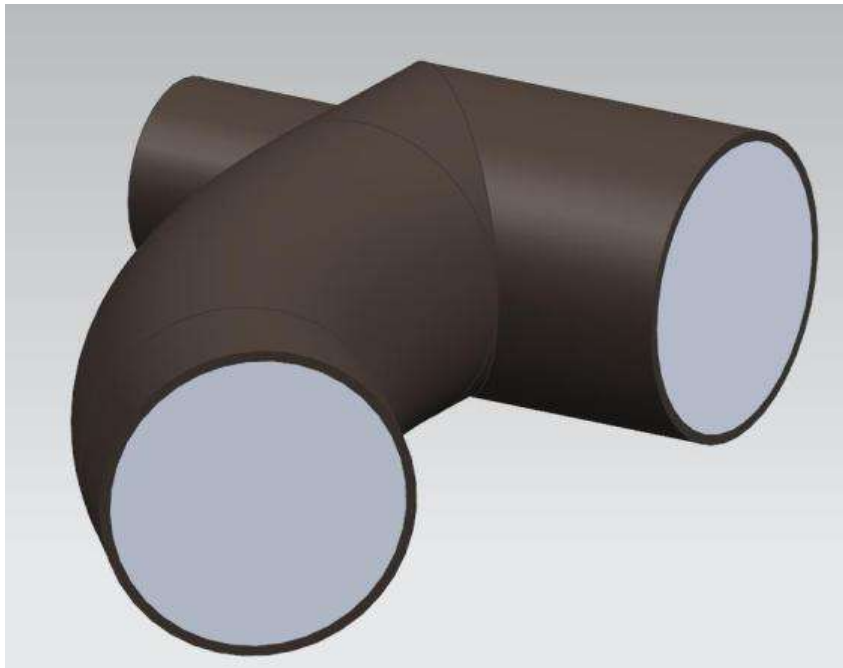


Рисунок 36 - Розрахункова схема спрощеної моделі, заповненої тілом рідини

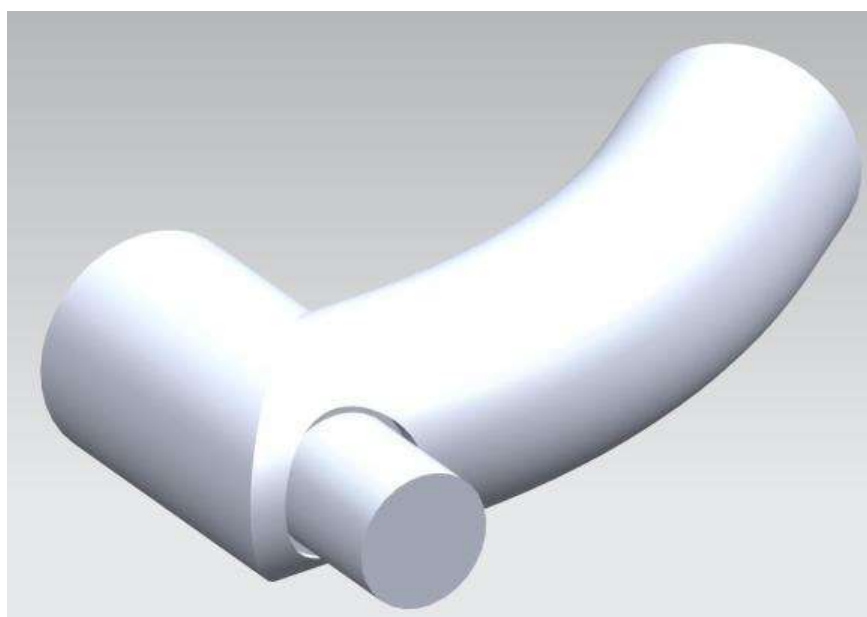


Рисунок 37 - Тіло рідини

Створюємо на базі тіла труби серединні поверхні, які будуть

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуватися в розрахунках замість твердотільної моделі (рисунок 38).

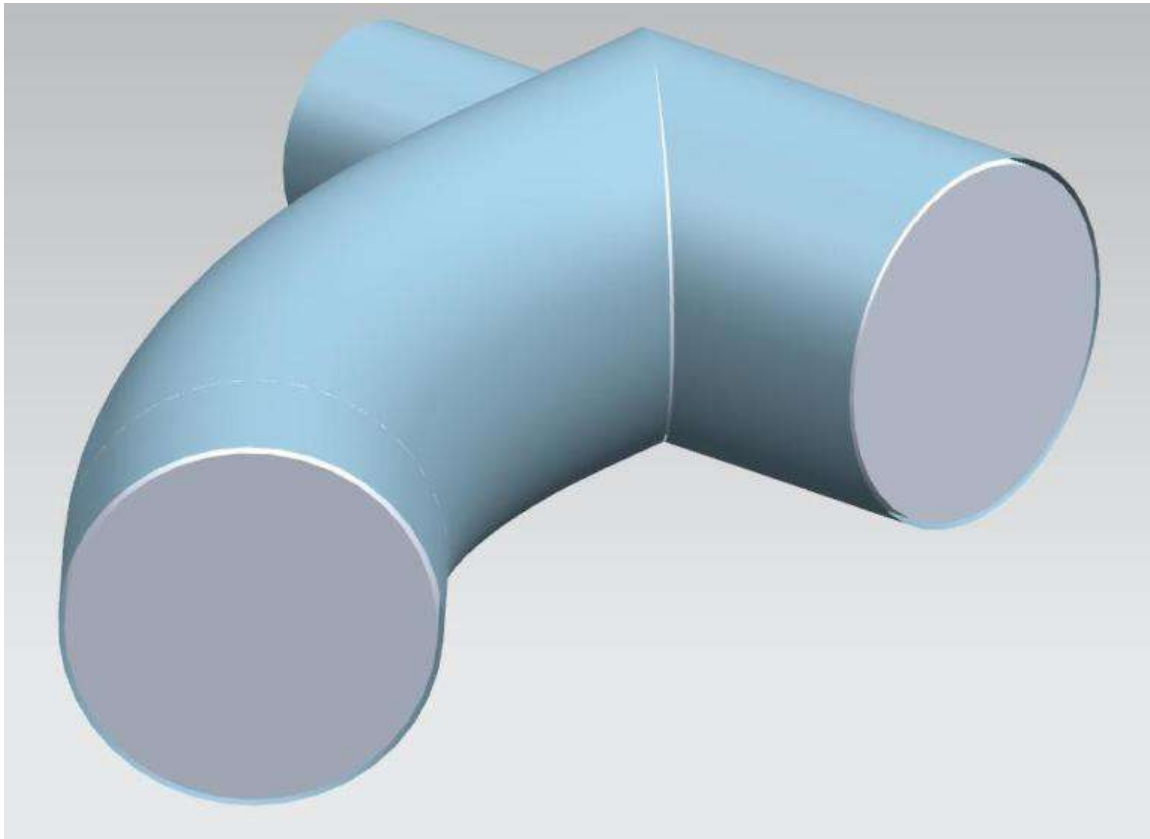


Рисунок 38 - Середні поверхні листового тіла труби

Перед початком побудови КЕ моделі готуємо 2D елементи подальшого розрахунку: усуваємо зазори між поверхнями, з'єднуємо поверхні, які стосуються одному тілу.

Спочатку продовживши другу частину підвідної труби, а після обрізавши її гранню першої частини усуваємо зазор між двома половинами труби підвідної (рисунок 39).

Потім, наростивши ту ж частину підводної труби, а після обрізавши поверхнею заправної труби, усуваємо зазор між ними (рисунок 40).

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

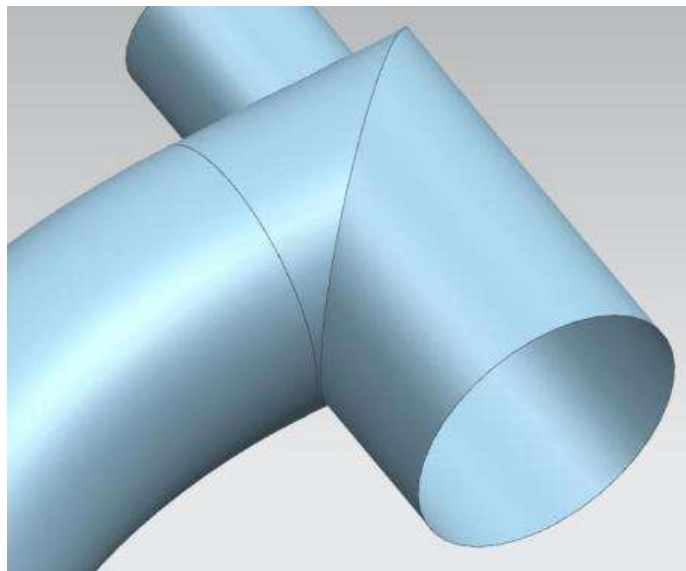
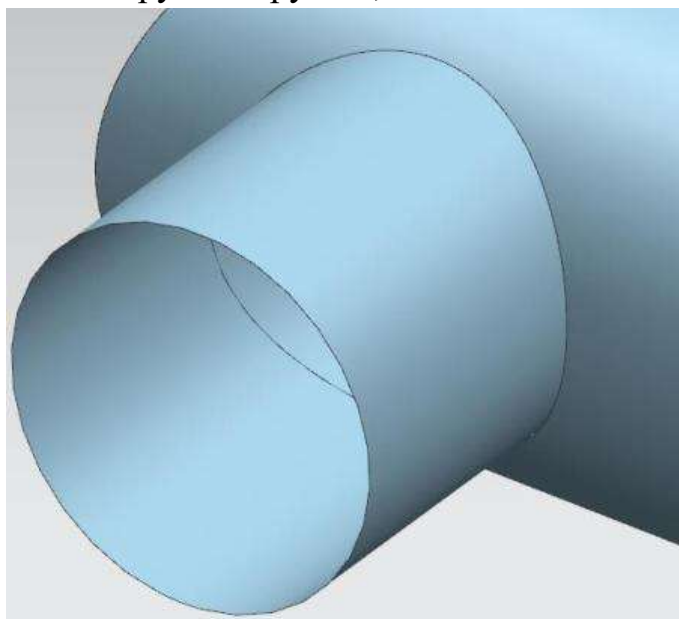


Рисунок 39 - Усунення зазору в підвідній трубі

Рисунок 40 - Усунення зазору між трубою, що підводить і заправною.



Після цього обрізаємо поверхню труби заправною гранню труби, що вийшла, підводить, зберігши результат як нову поверхню; і повторюємо дії для другої частини заправної труби (рисунок 41). Таким чином ми отримуємо розділену на дві частини заправну трубу, що дозволить при створенні 2D KE сітки на даних елементах задати збіг вузлів цих труб на цій грані для забезпечення точності розрахунку.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

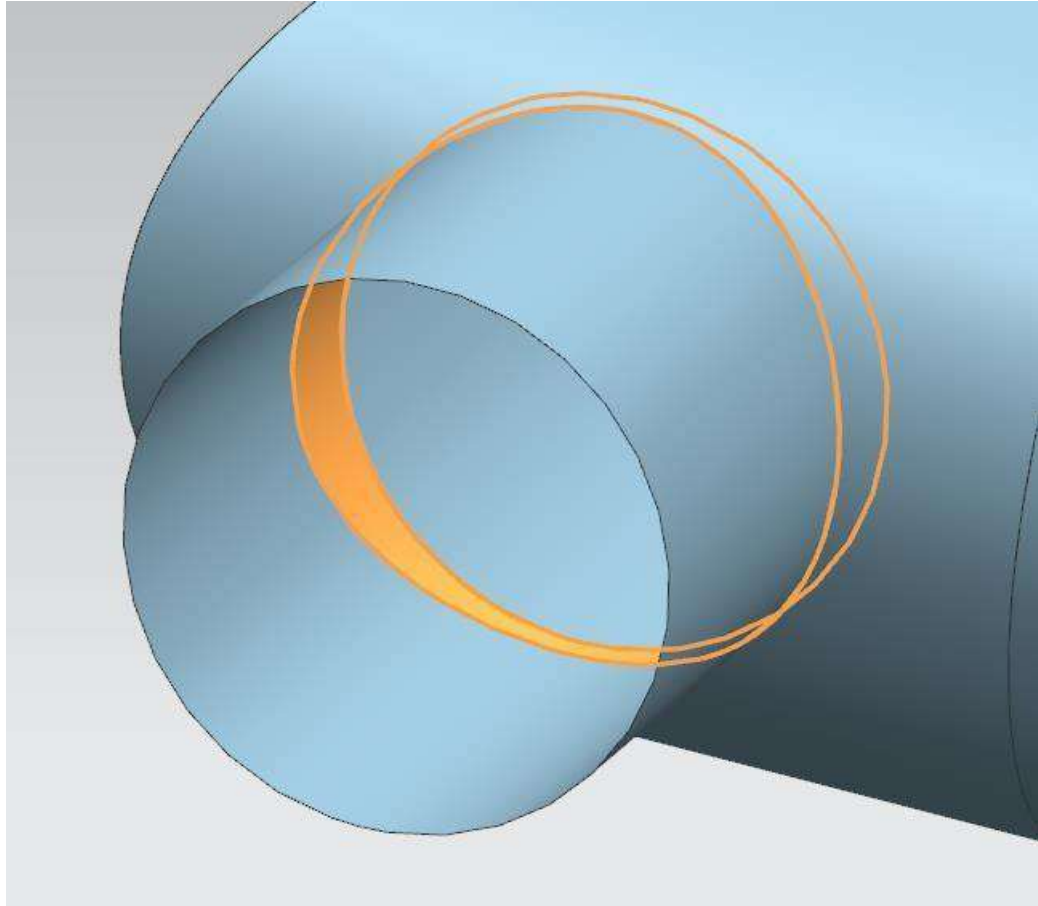


Рисунок 41 - розділена на дві частини заправна труба.

Завершуємо підготовку до створення КЕ моделі зшивкою двох частин труби, що підводить.

### 3.1.2 Вибір типу та розмірів кінцевих елементів

Тип елемента – СТЕТРА(4). Вибір даного типу кінцевого елемента зроблений виходячи з високої точності розрахунку, якої вдається досягти за рахунок взаємного зв'язку між собою всіх вузлів елемента, також даний тип КЕ дозволяє з високою точністю відтворювати криволінійну форму, що необхідно відображати радіусних ділянок. Розмір елемента - 1 мм, даний розмір обумовлений тим, що при збільшенні розміру елемента в районі паяння двох труб основного кола обертання рідини (позначений цифрою 1 на Рисунку) значно збільшуються висоти трикутників, що утворюють елементи, утворюючи трикутники, що так само веде до збільшення кількості

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

помилку у процесі розрахунку та зниження його точності.

### 3.1.3 Побудова сітки КЕ для об'єму рідини у трубопроводі та стінок трубопроводу

Створимо fem-файл для побудови нової кінцево-елементної моделі і побудуємо сітку кінцевих елементів. На основі геометрії тіла рідини, що вийшла, створимо сітку КЕ, як на Рисунку 42.

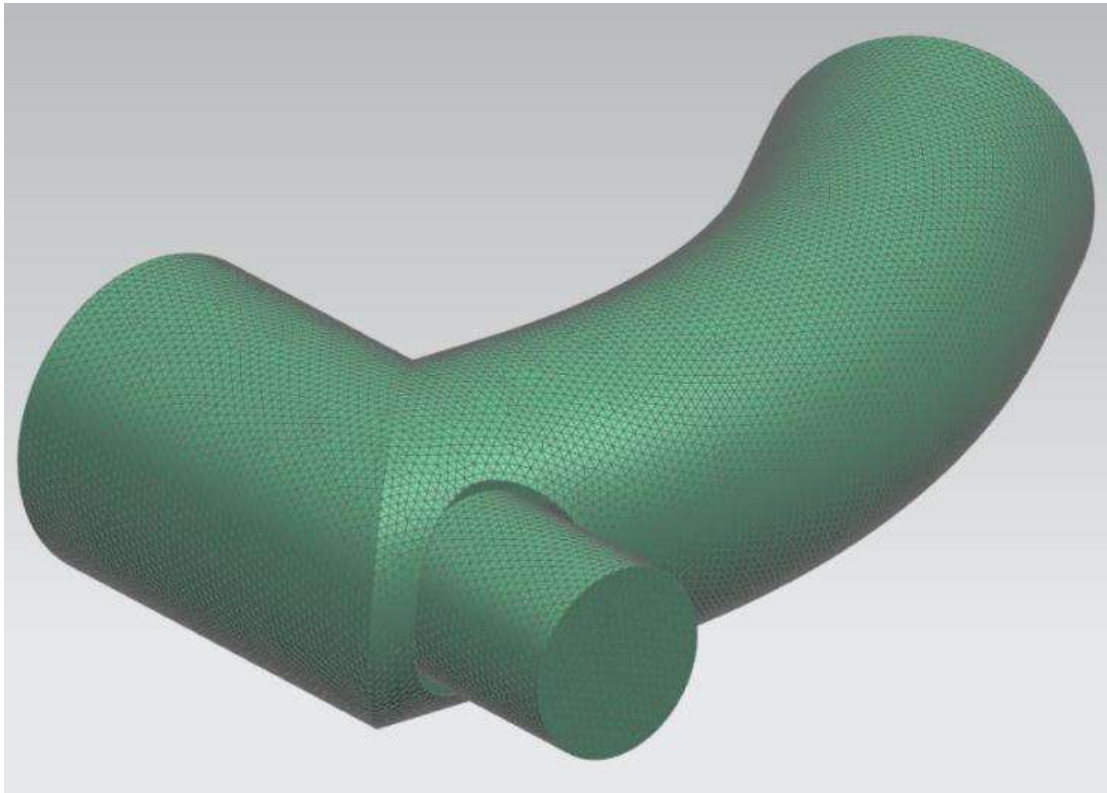


Рисунок 42 - КЕ сітка тіла охолоджуючої рідини.

Для розрахунку матеріал охолоджуючої рідини призначаємо із стандартної бібліотеки NX - розчин етиленгліколю (рис. 43), т.к. охолоджуюча рідина, антифриз, є саме розчин етиленгліколю з додатковими присадками, і основні параметри, наявні у вільному доступі для антифризів, збігаються з такими для стандартного матеріалу. Властивості вибраного матеріалу представлені у Таблиці 1.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

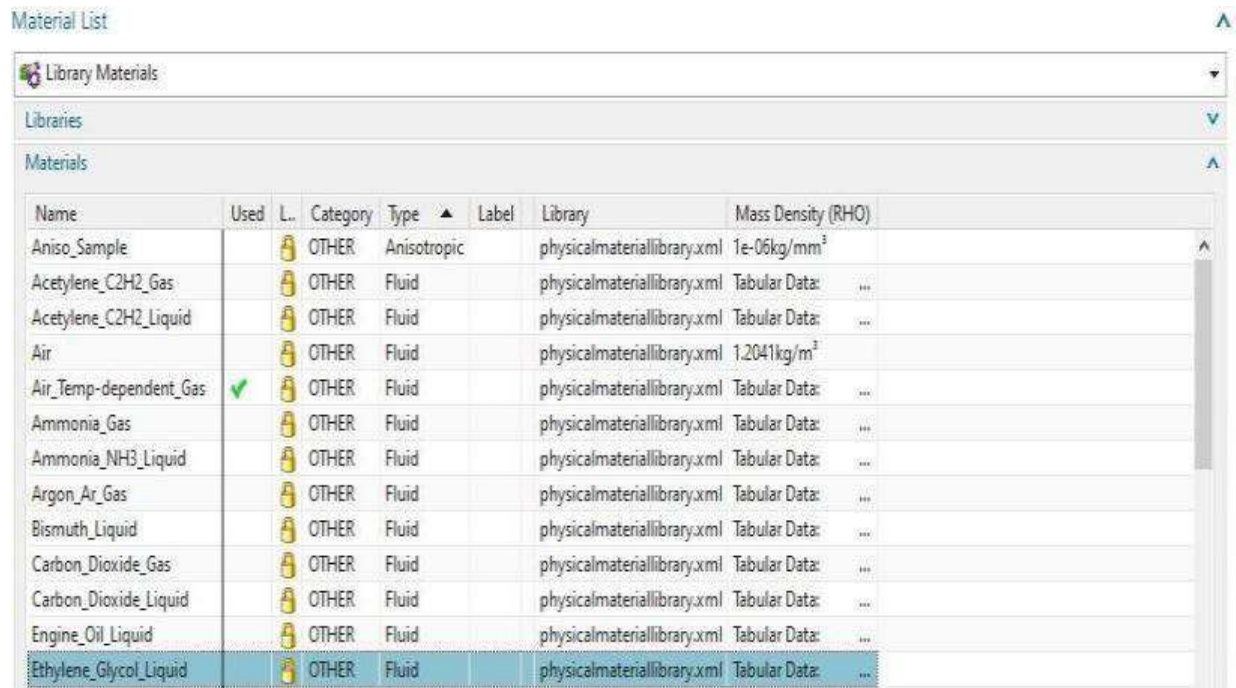


Рисунок 43 - Вибір матеріалу охолоджувальної рідини

Таблиця 1 - Властивості матеріалу

Ethylene Glycol Liquid / Етиленгліколь (рідина)				
Коефіцієнт теплового розширення			0.00065 °C <sup>-1</sup>	
Молярна маса			Вага: 0.06208 кг	
Температура	густина	Теплопровідність	Питома теплоємність	Динамічна в'язкість
°C	кг/мм <sup>3</sup>	мкВт/(мм· °C)	мкДж/(кг· К)	кг/(мм· с)
0	1.13075· 10 <sup>-6</sup>	242	2290000000	6.51· 10 <sup>-5</sup>
20	1.11665· 10 <sup>-6</sup>	249	2380000000	2.14· 10 <sup>-5</sup>
40	1.10143· 10 <sup>-6</sup>	256	2470000000	9.57· 10 <sup>-6</sup>
60	1.08766· 10 <sup>-6</sup>	260	2560000000	5.17· 10 <sup>-6</sup>
80	1.07756· 10 <sup>-6</sup>	261	2650000000	3.21· 10 <sup>-6</sup>
100	1.0585· 10 <sup>-6</sup>	263	2740000000	2.15· 10 <sup>-6</sup>

Далі приступаємо до побудови 2D KE сітки поверхонь труб.

Спочатку задаємо обмеження на збіг граничних вузлів КЕ сіток двох різних поверхонь (малюнки 44, 45, 46).

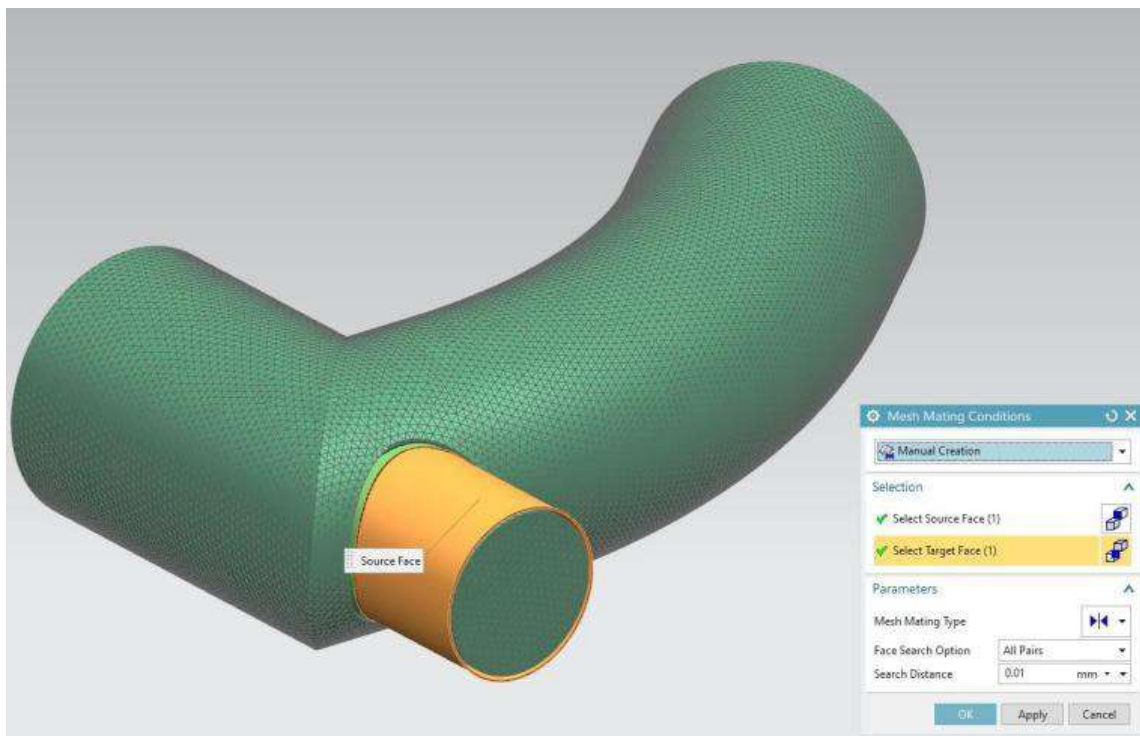


Рисунок 44 - Збіг КЕ сіток частин заправної труби

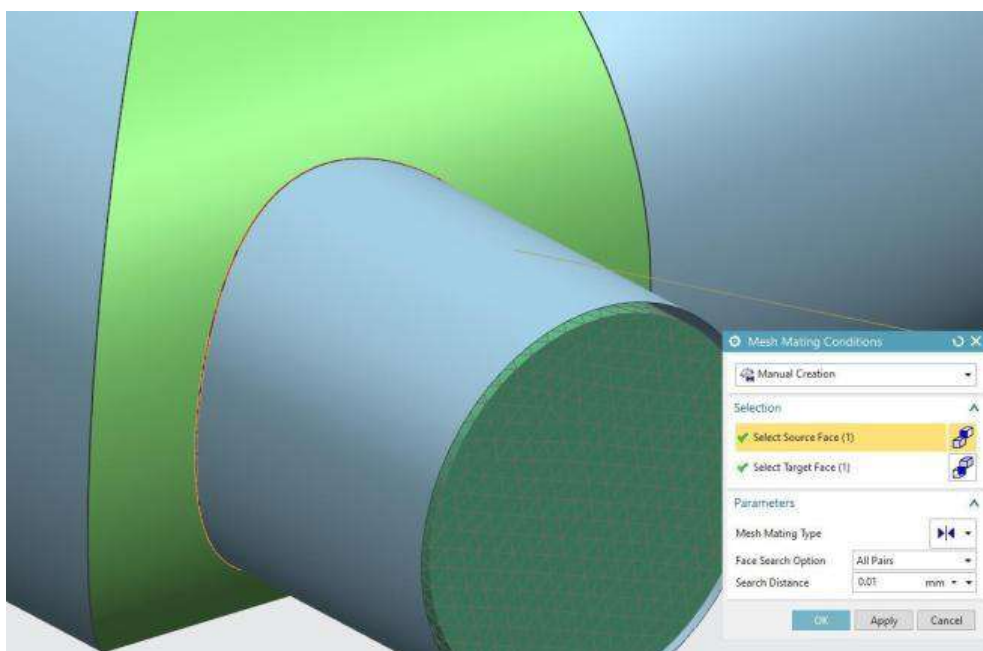


Рисунок 45 - Збіг КЕ сіток труби підвідної та внутрішньої частини заправної труби

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

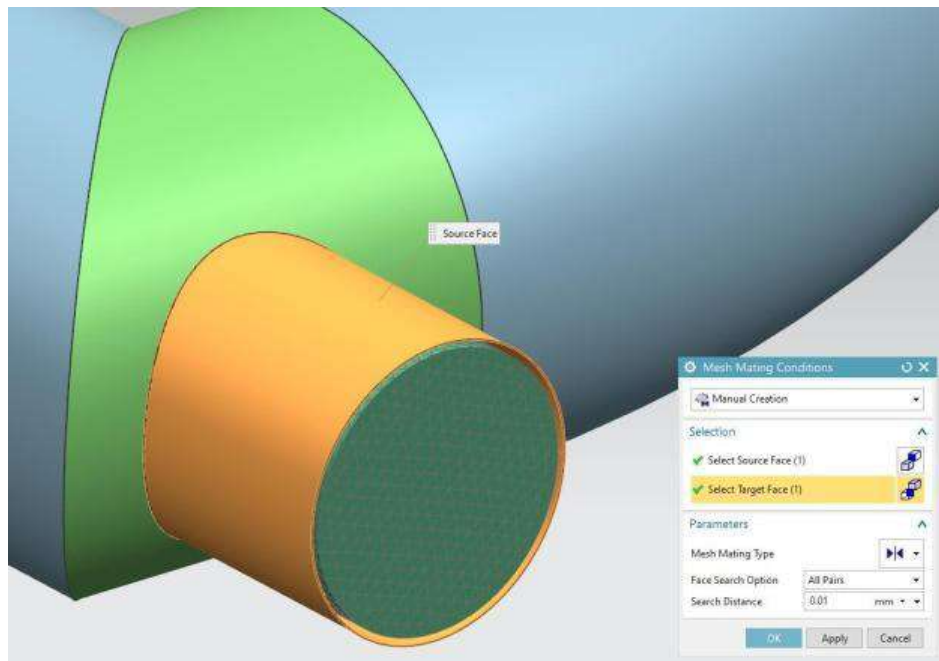


Рисунок 46 - Збіг KE сіток труби підвідної та зовнішньої частини заправної труби

Після проведення даної підготовки будемо 3 KE сітки: на поверхні труби води, що підводить водяного насоса, поверхні внутрішньої заправної труби і поверхні зовнішньої заправної труби (рисунок 47).

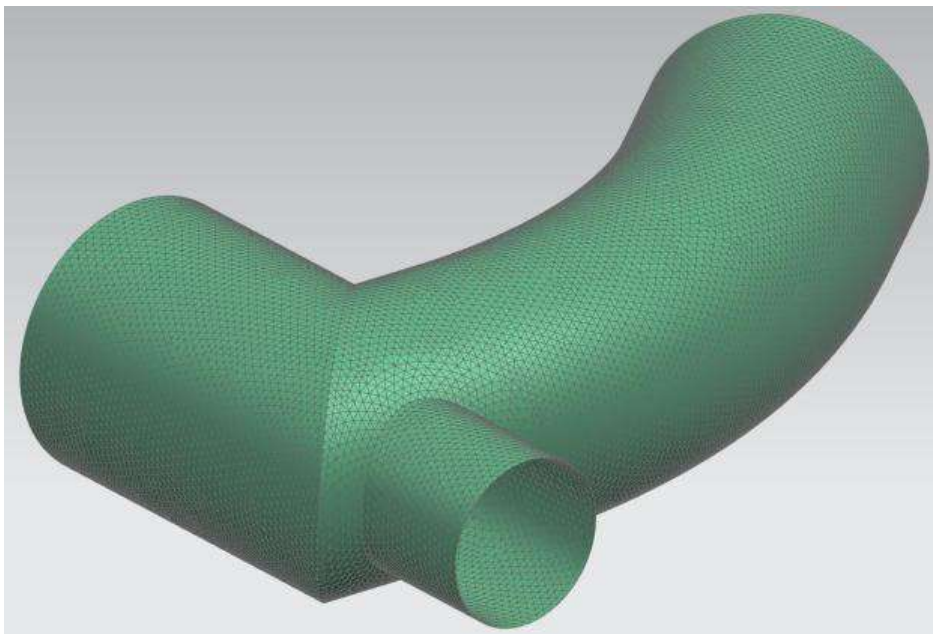


Рисунок 47 - 2D KE сітки труб системи охолодження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При цьому KE сітки обох частин заправної труби маємо в одному колекторі сіток, т.к. вони належать одному тілу (рисунок 48).

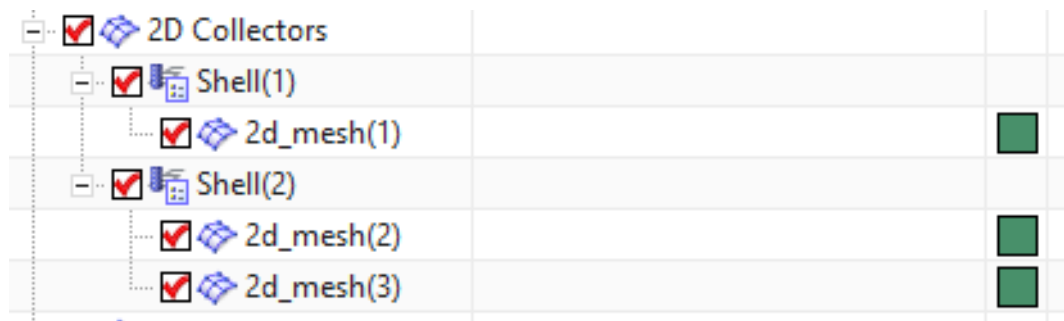


Рисунок 48 - Розподіл KE сіток

Після чого задаємо матеріал та товщину матеріалу для труб (рисунок 49).

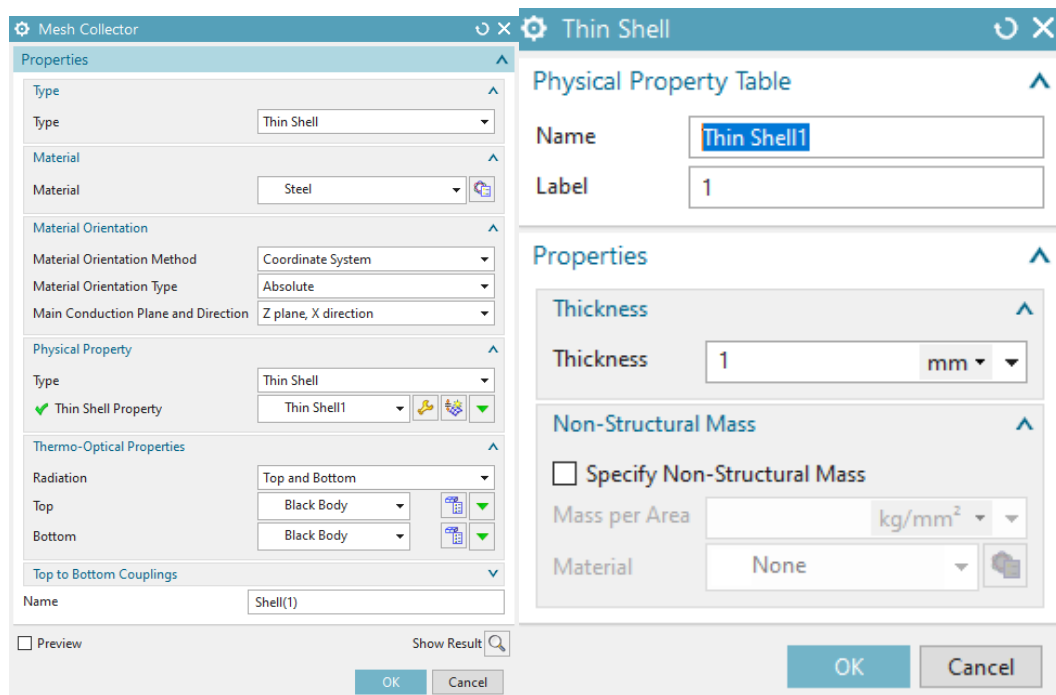


Рисунок 49 - Завдання матеріалу та товщини деталі

Матеріал вибираємо із стандартної бібліотеки NX Steel, т.к. його характеристики близькі до реального матеріалу - стали 08пс, що застосовується для виготовлення обох труб. Ті ж характеристики задаємо для всіх створених 2D

KE сіток.

### 3.2 Інженерний аналіз розрахунку потоку рідини та теплообміну у трубопроводі системи охолодження

Виконаємо розрахунок перебігу рідини з урахуванням теплообміну.

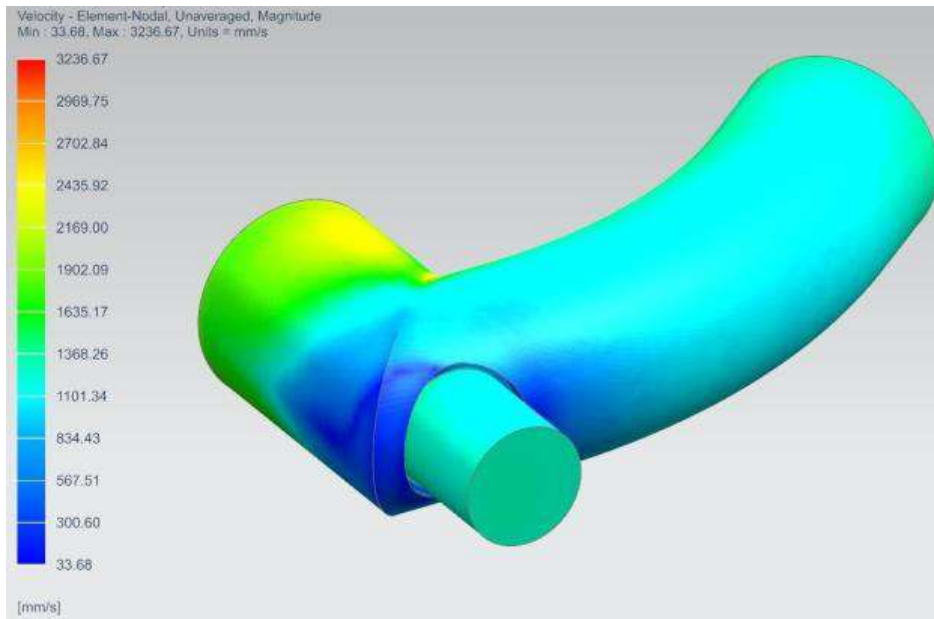


Рисунок 50 - Розподіл швидкості потоку рідини

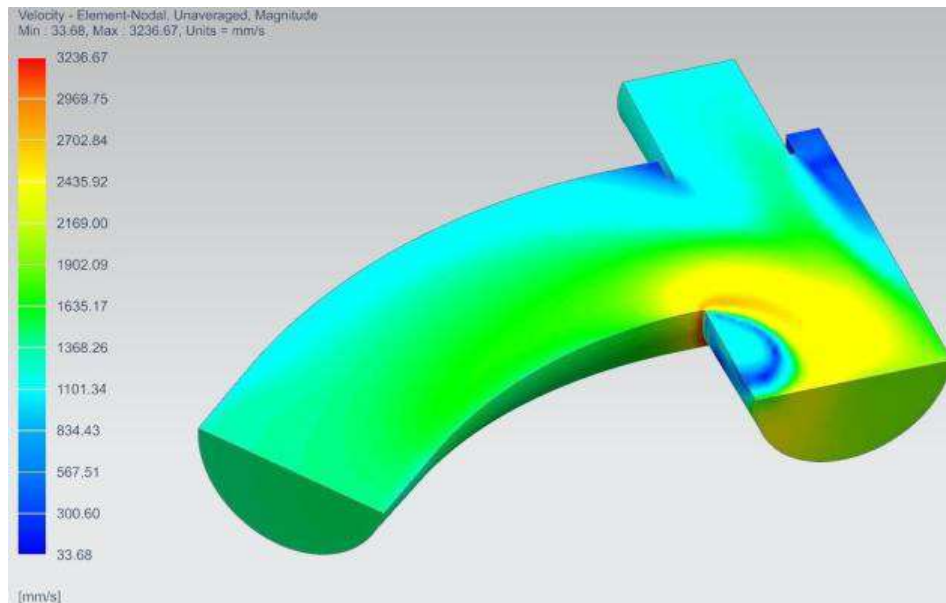


Рисунок 51 - Розподіл швидкості потоку рідини

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

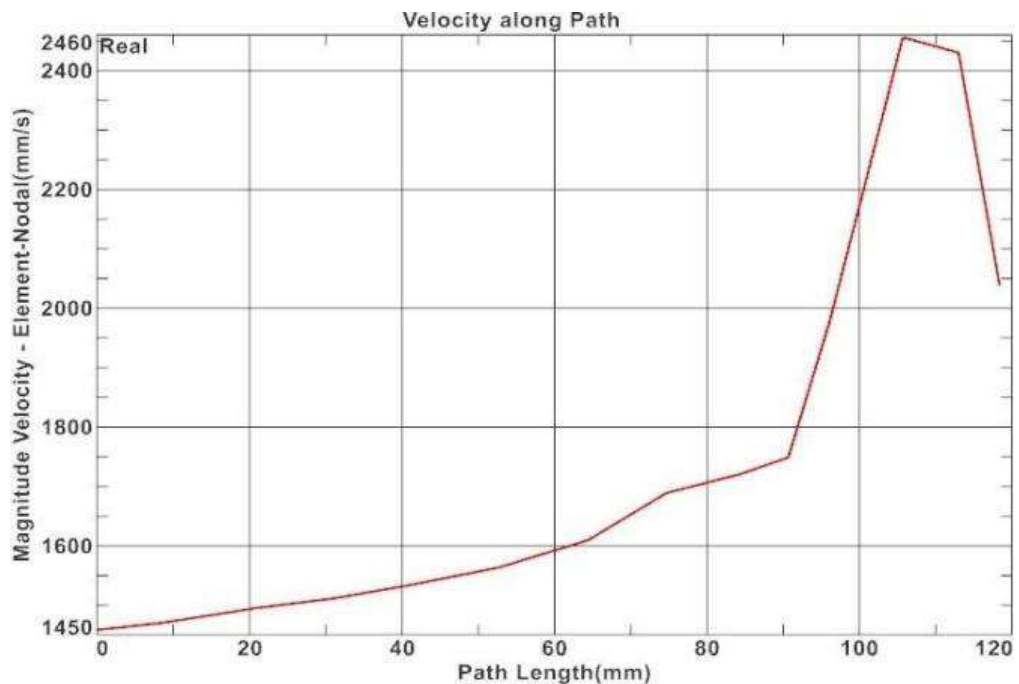


Рисунок 52 - Розподіл швидкості потоку рідини вздовж прямої труби

З результатів розрахунку (малюнки 65, 66, 67) видно, що поворот потоку під прямим кутом без радіусної частини (введення якої неможливе з технологічних причин) створює області з низькою швидкістю потоку, в яких рідина затримується і вибуває з робочого процесу системи охолодження, що може негативно впливати на ефективність системи охолодження.

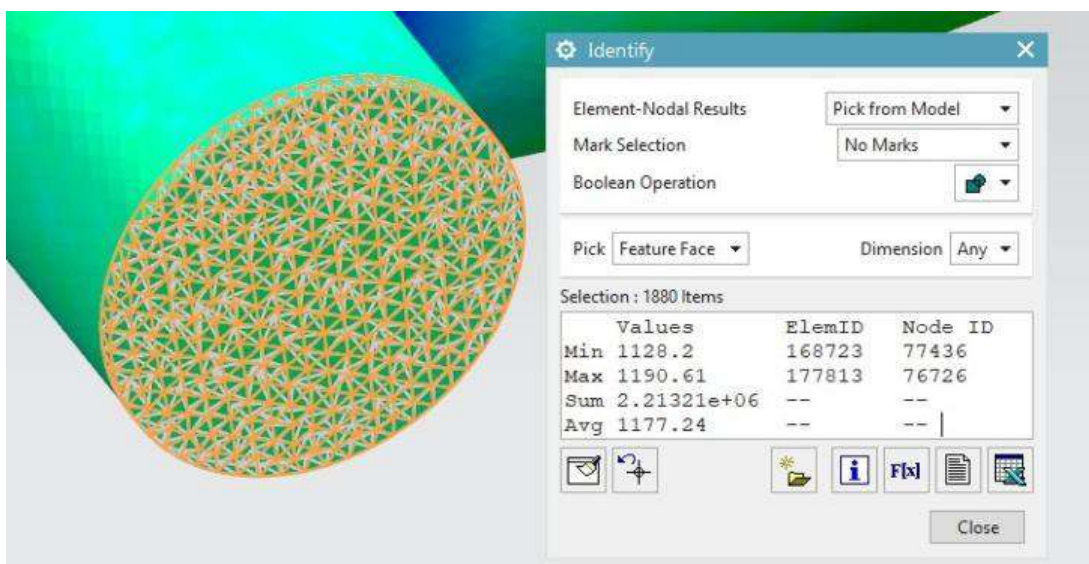


Рисунок 53 - Середня швидкість потоку від обігрівача

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 56 - Розподіл температури рідини (перетин площиною Z)

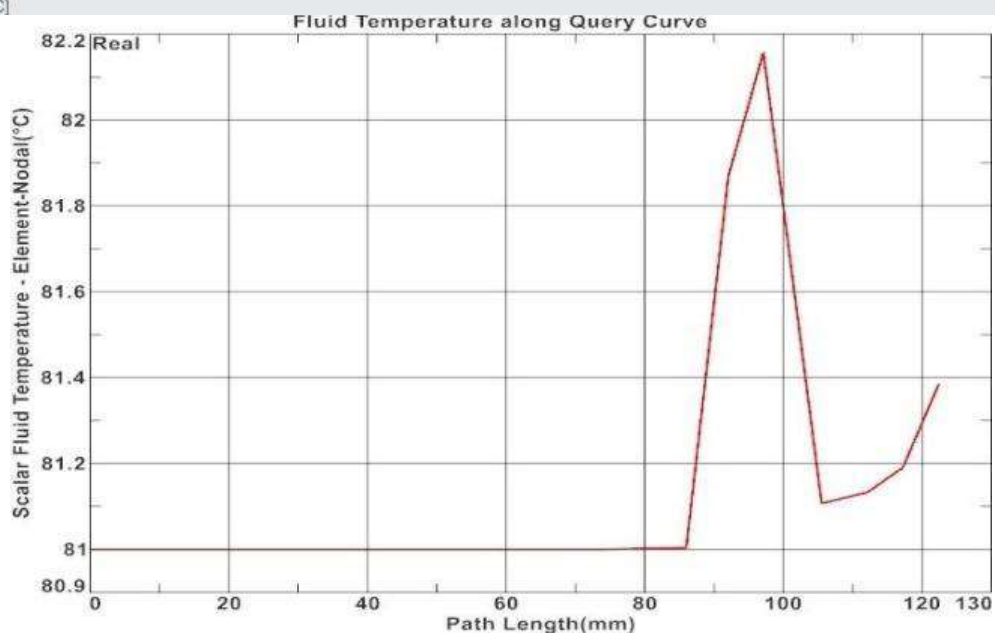
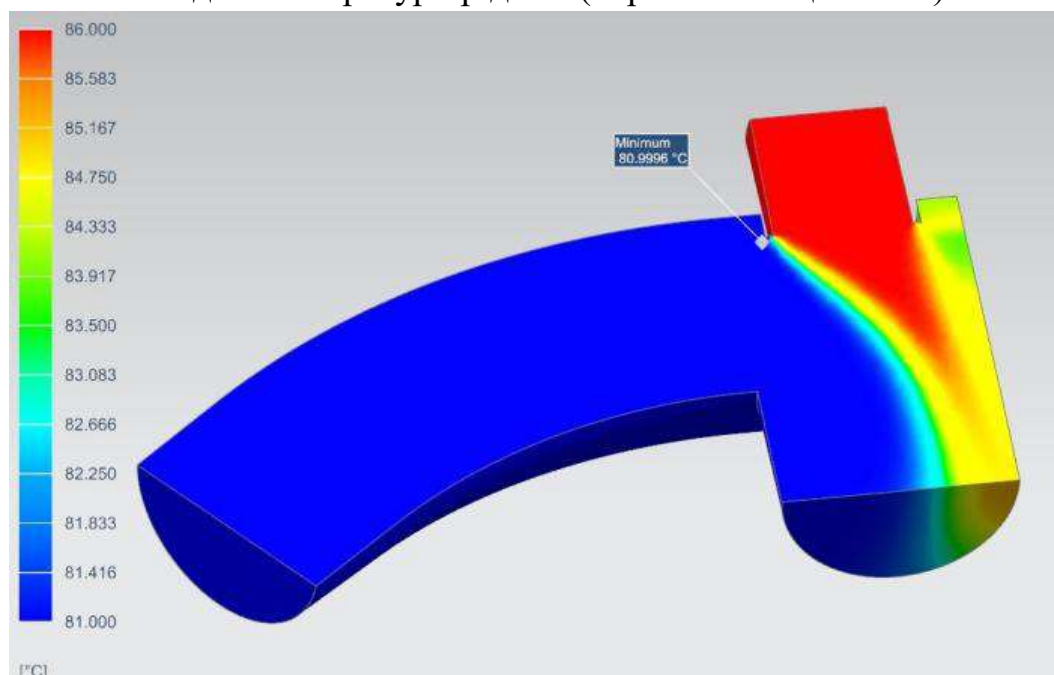


Рисунок 57 - Розподіл температури рідини вздовж напрямної труби

За характером зміни температури (малюнки 70, 71, 72) можна зробити наступний висновок: паразитний підігрів рідини на цій ділянці труби щодо значень, заданих на вході в трубу, відсутній.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 60 - Середній статичний тиск на виході з труби

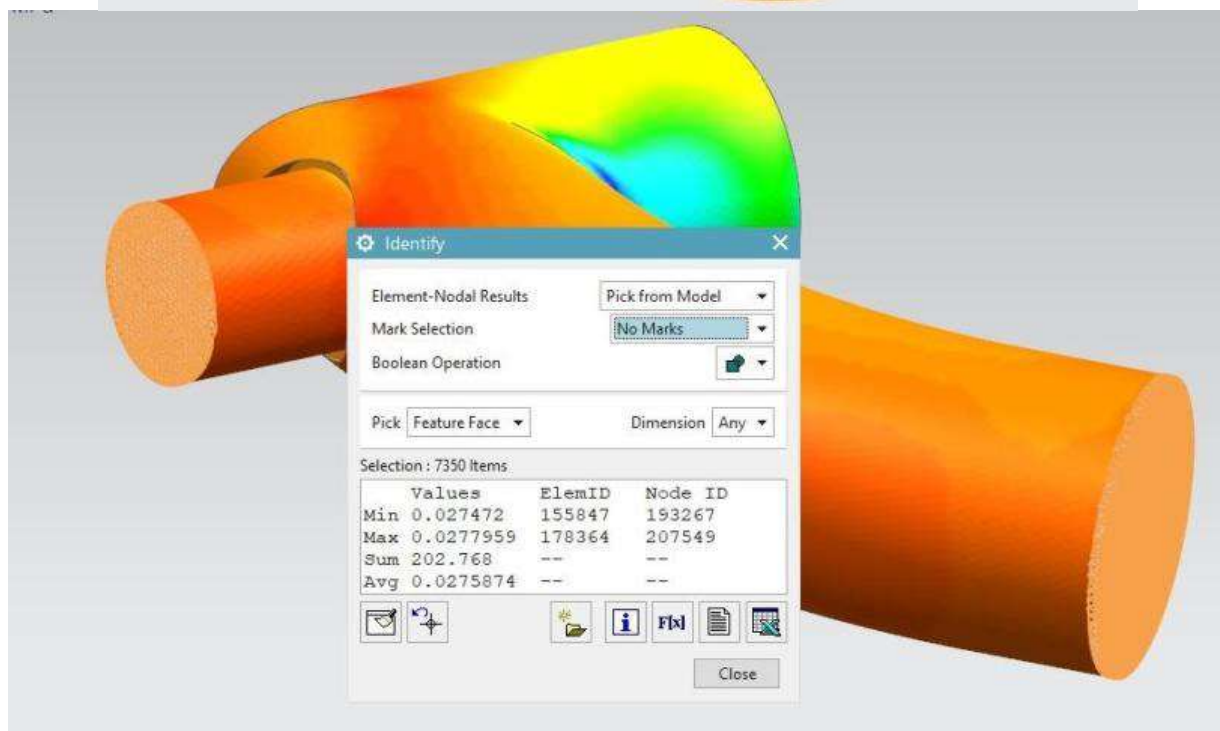
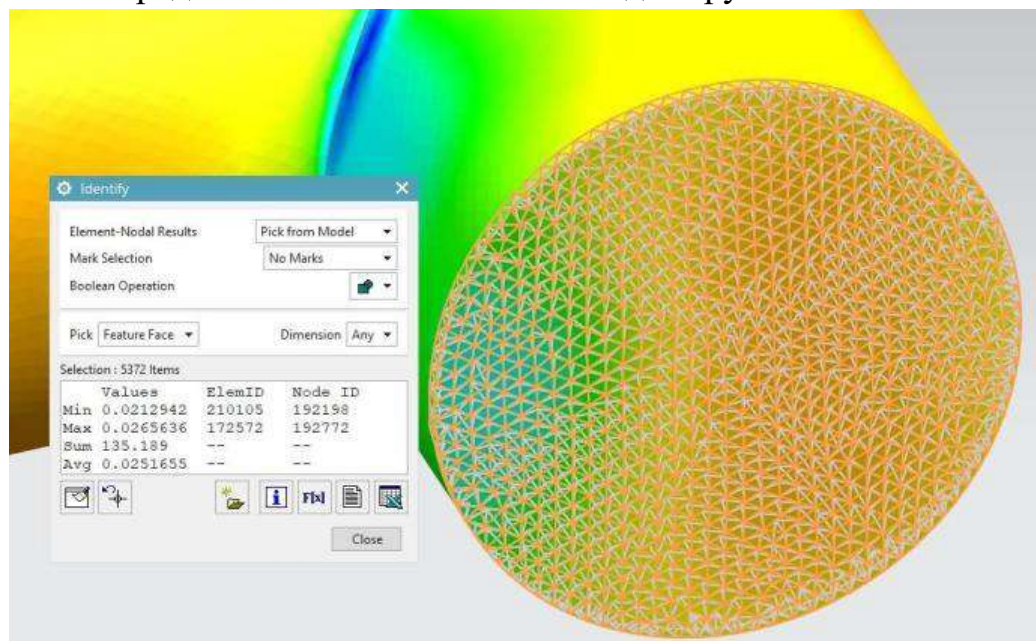


Рисунок 61 - Середній статичний тиск на вході в трубу

Розподіл статичного тиску трубі (рисунок 74) корелює з розподілом швидкості рідини в трубі. Різниця середнього статичного тиску між входом та виходом становить 0,0024 МПа, або 8,8% від вихідного тиску (малюнки 75, 76).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

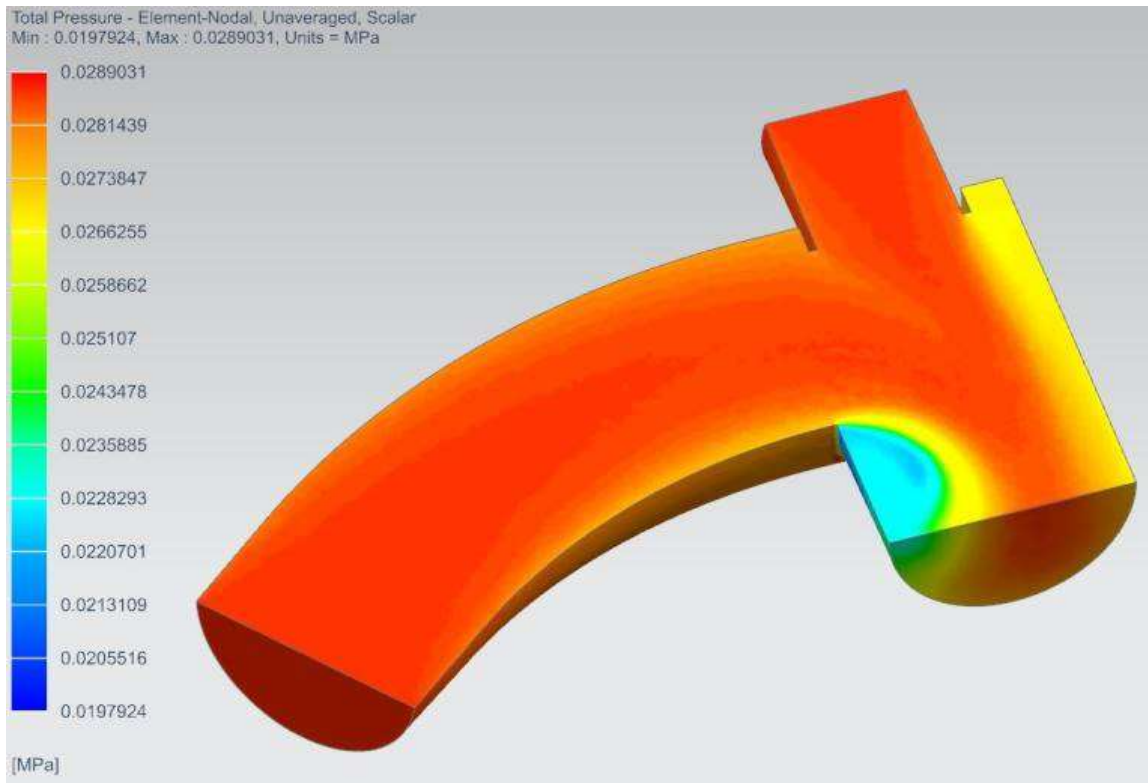


Рисунок 62 - Повний тиск у системі

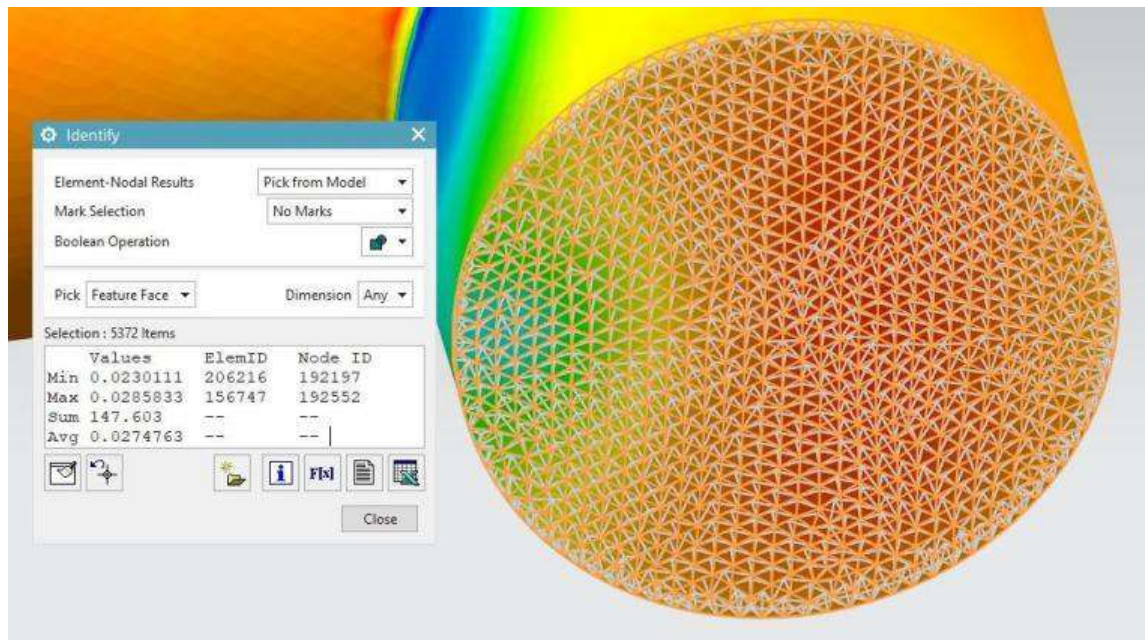


Рисунок 63 - Середній повний тиск на виході з труби

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

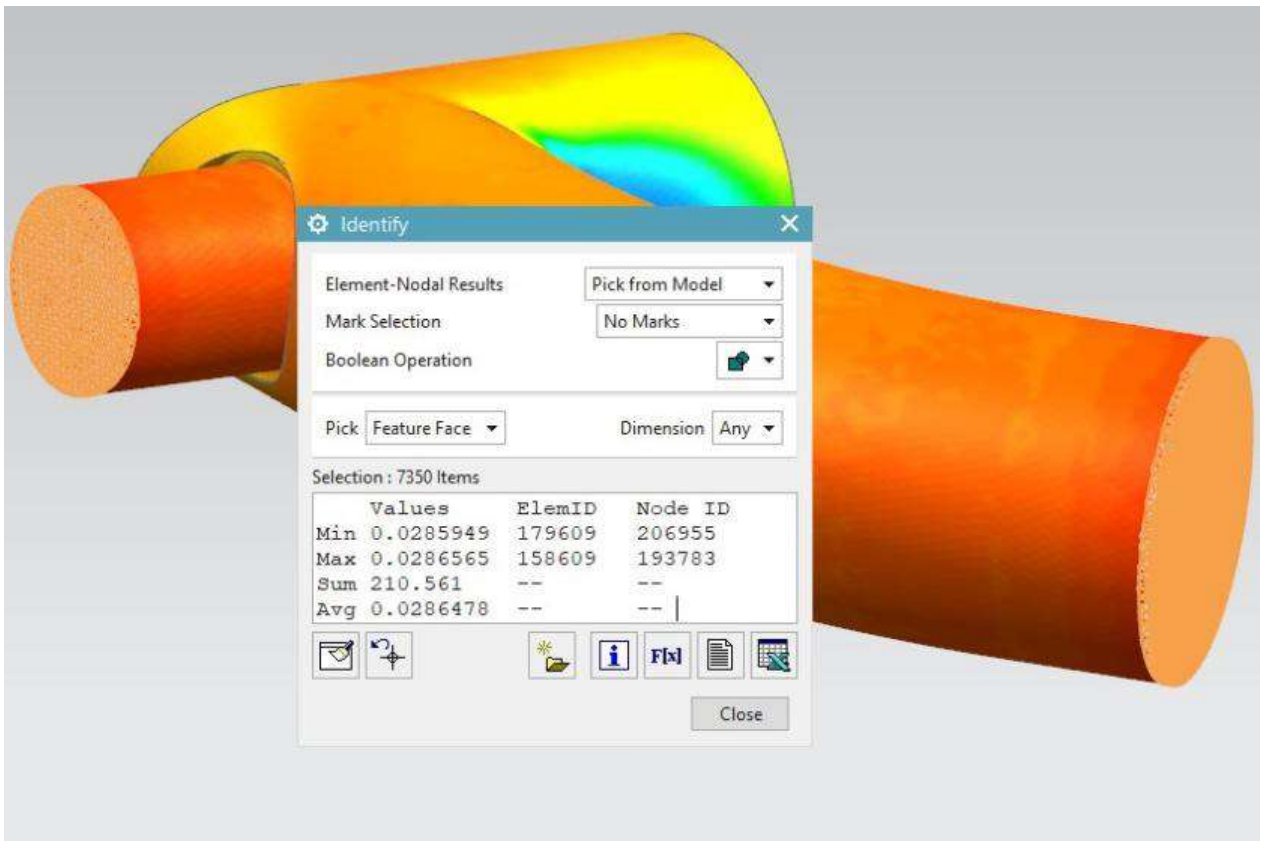


Рисунок 64 - Середній повний тиск на вході в трубу

Різниця середнього значення повного тиску (Рисунок 77) між входом і виходом становить 0,0012 МПа, або 4,1% від вихідного тиску (малюнки 78, 79).

Таким чином втрата тиску на даній ділянці труби становить 6%, що є високим ступенем гідравлічних втрат, але через швидкість течії рідини всередині труби, паразитного підігріву рідини, що охолоджує, від тепла, що генерується оточенням, практично не відбувається.

## 4. ВДОСКОНАЛЕННЯ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВОДУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ В САПР

### 4.1. Вплив аналізованих параметрів гідродинаміки та теплообміну на роботу рідинної системи охолодження двигуна та їх облік у конструкторській роботі

Завдання щодо побудови ефективнішої системи охолодження зводиться до зниження витрат у системі, тобто. зниження впливу явищ і процесів, що заважають виконувати системі цільову функцію, або що тягнуть за собою підвищення витрат енергії на функціонування системи.

Функція системи охолодження – відводити надлишки тепла від двигуна та підводити їх частину до салону для обігріву.

Поміщати виконання цього завдання можуть:

- паразитний підігрів рідини поза двигуном;
- відсутність струму рідини у каналах.

У свою чергу, підвищення витрат на функціонування може спричинити високий гідравлічний опір, який доведеться долати водяному насосу, збільшуючи при цьому витрати енергії, а отже, палива.

На паразитний підігрів рідини, що охолоджує, впливають температура оточення, теплове випромінювання навколишніх елементів, теплопровідність матеріалу труби, швидкість течії рідини всередині труби. Температура та теплове випромінювання оточення – не об'єкт даного дослідження, їх зміна в даному випадку не передбачається. Теплопровідність труби задається матеріалом і товщиною стінки, але ці фактори задаються технологічними та конструктивними обмеженнями, тому приймемо їх фіксованими, для оцінки впливу саме геометрії трубопроводів.

У результаті ефективність з погляду теплових витрат найбільше впливання надає швидкість потоку рідини. При швидшому потоці рідина не встигає отримувати достатню кількість тепла від стінок трубопроводів для

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

підвищення своєї температури. На швидкість потоку безпосередньо впливає об'ємна витрата рідини в системі, а отже, необхідно буде його підвищення для нівелювання ефекту підігріву рідини. У свою чергу це означає підвищення витрат енергії на роботу водяного насоса, а значить, палива.

Гідравлічні втрати оцінюються за рівнем падіння тиску на ділянці труби. Ці гідравлічні втрати змушують підвищувати кількість рідини, що прокачується, для підтримки тиску в системі, підвищуючи кількість витрачається на це енергії при тому ж водяному насосі.

Таким чином, основними цілями для конструктора при проектуванні трубопроводів системи охолодження повинні бути зниження паразитного підігріву системи охолодження, збільшення швидкості потоку в каналах, а також зниження рівня падіння тиску на всій довжині трубопроводів.

Розрахунок даних параметрів повинен проводитись після етапу створення моделі системи охолодження. За результатами аналізу результатів розрахунку конструкцію трубопроводів системи необхідно вносити зміни усунення негативних ефектів неякісної геометрії трубопроводів. Ці дії необхідно повторювати до отримання задовільного результату розрахунків підсумкової моделі. Задовільними значення втрат приймаються індивідуально у разі, з урахуванням економічних витрат за подальше поліпшення системи, загального рівня втрат у інших елементах конструкції

двигуна, технологічних можливостей виробництва, цільової вартості підсумкового продукту, специфічних вимог до системи, що надаються замовником тощо.

#### **4.2.Розробка моделі вдосконаленого трубопроводу системи охолодження в САПР**

Так як введення додаткових радіусів вигину напрямної лінії труби рідини, що підводить в області підведення рідини до водяного насоса, веде

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

до зміни геометрії, внаслідок чого критично зменшується зазор до вихлопної системи, було прийнято рішення введення під кутом ще однієї прямої ділянки труби, симетрично розрізає 2 існуючих до цього на основі двох ліній, що перетинаються, які є напрямними труби підводить, створюємо ескіз базової геометрії (рисунок 80).

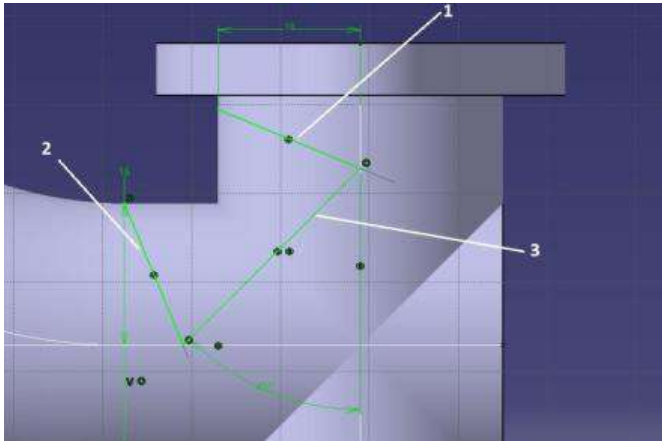


Рисунок 65 - Створення ескізу допоміжної геометрії

На представленому вигляді ескізу цифрами 1 і 2 позначені лінії нових сіючих поверхонь, а цифрою 3 - напрямна нової труби.

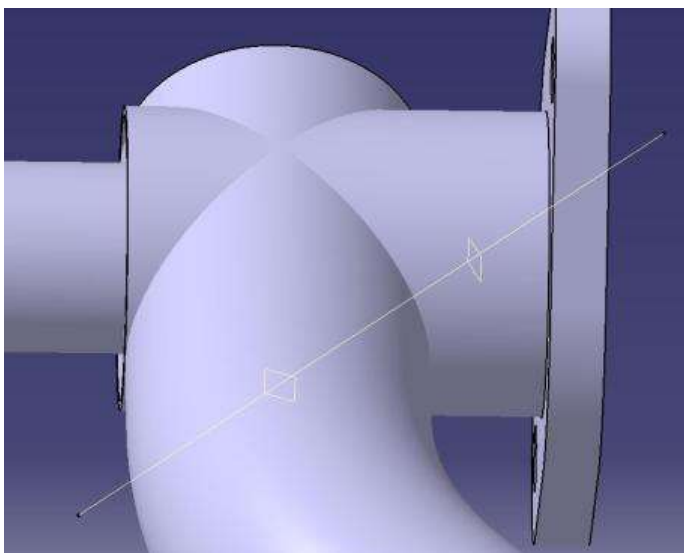


Рисунок 66 - Секальні площини та напрямна нової частини труби

Витягуємо вздовж напрямної утворює поверхню нової труби (рисунок

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ				60

67).

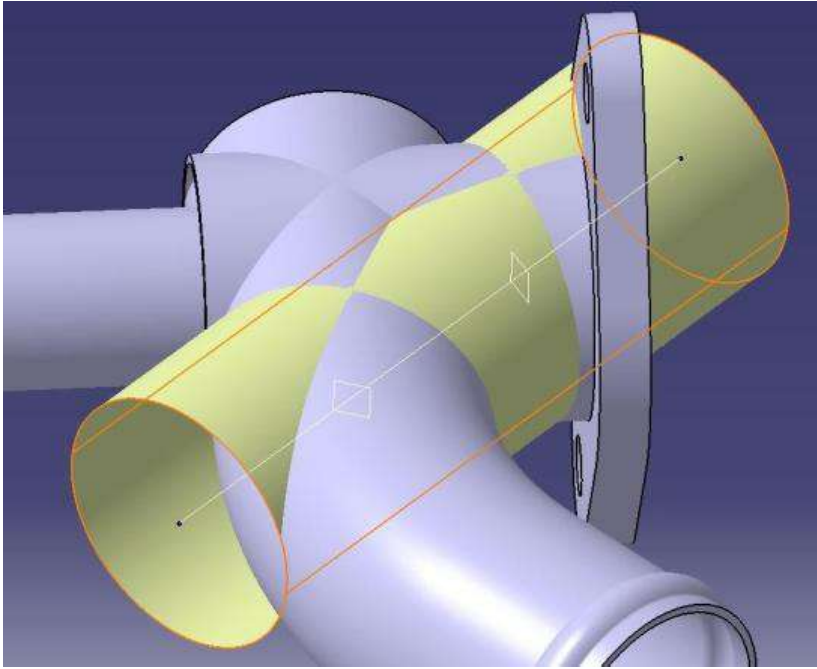


Рисунок 67 - утворює поверхню нової частини труби

Після задаємо трубі, що вийшла, в окремому тілі товщину 1 мм і обрізаємо всі частини труби січними поверхнями (рисунок 83).

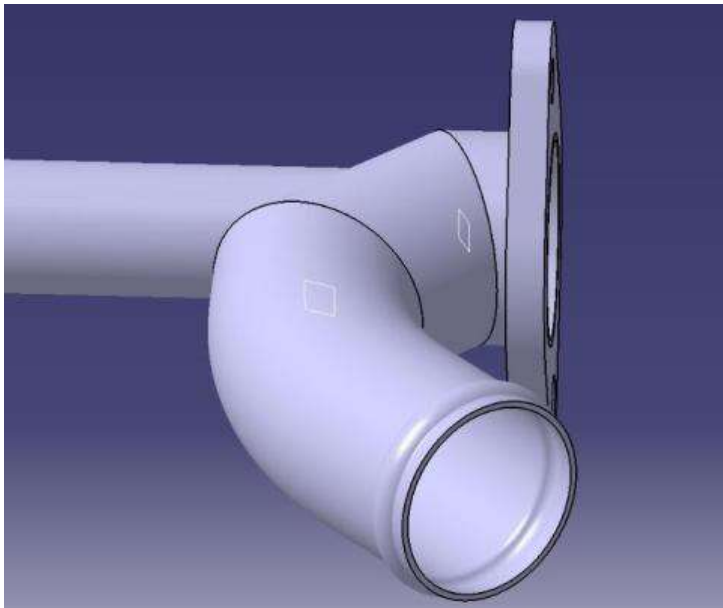


Рисунок 68 - Вид нової частини труби водяного насоса, що підводить.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

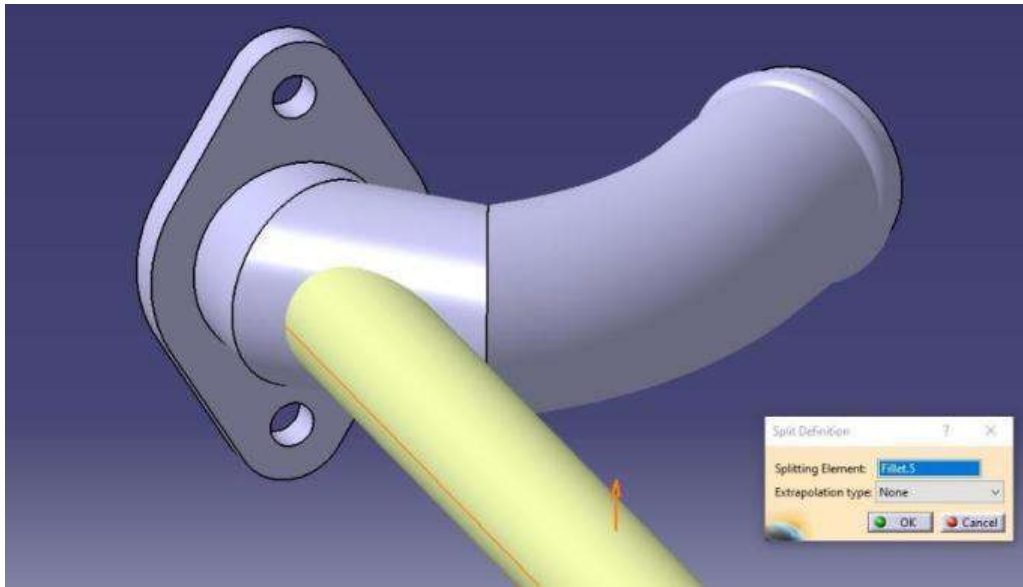


Рисунок 69 - Вирізи отвору для заправної труби

У геометрії, що вийшла, труба заправна значно виступає у внутрішній простір труби водяного насоса, що підводить (рисунок 85).

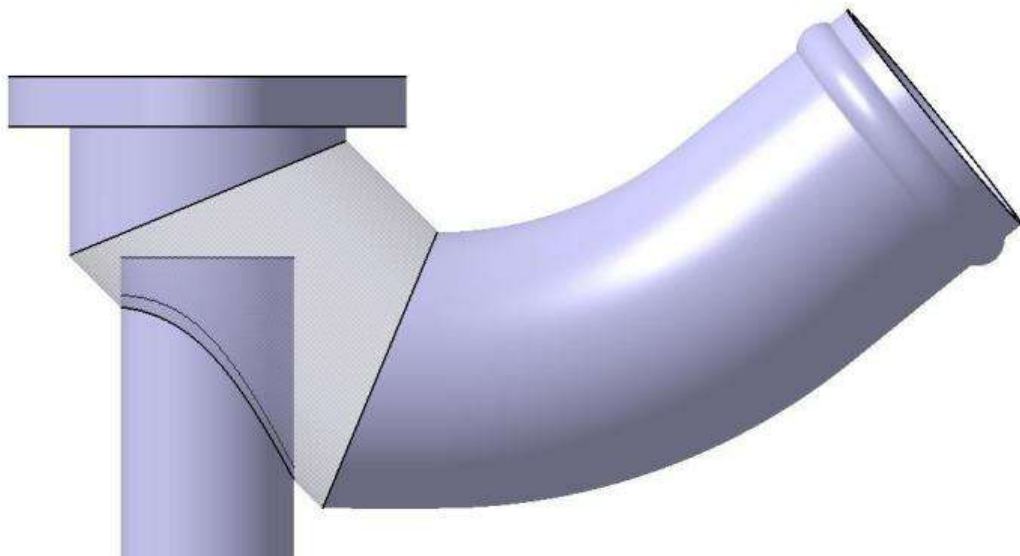


Рисунок 70 - Виступ заправної труби

З цієї причини вводимо фрезерування торця труби заправної системи охолодження для зниження його впливу на потік рідини (рисунок 86).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

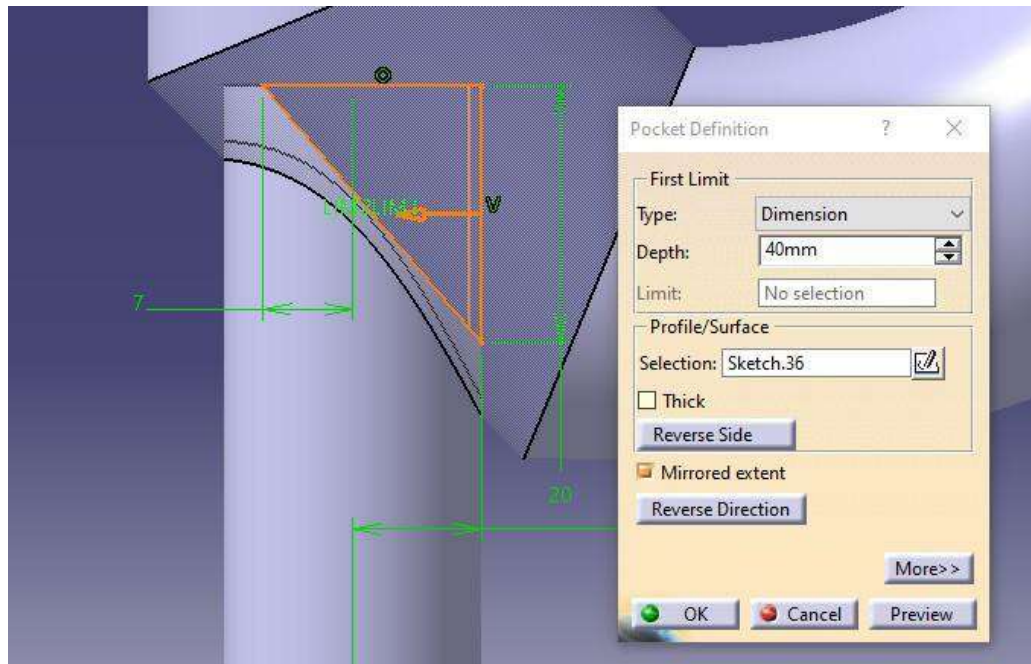


Рисунок 71 - Фрезерування торця заправної труби

Подальша робота буде проводитися з модернізованою трубою водяного насоса, що підводить, зовнішній вигляд якої представлений на Рисунку 87.

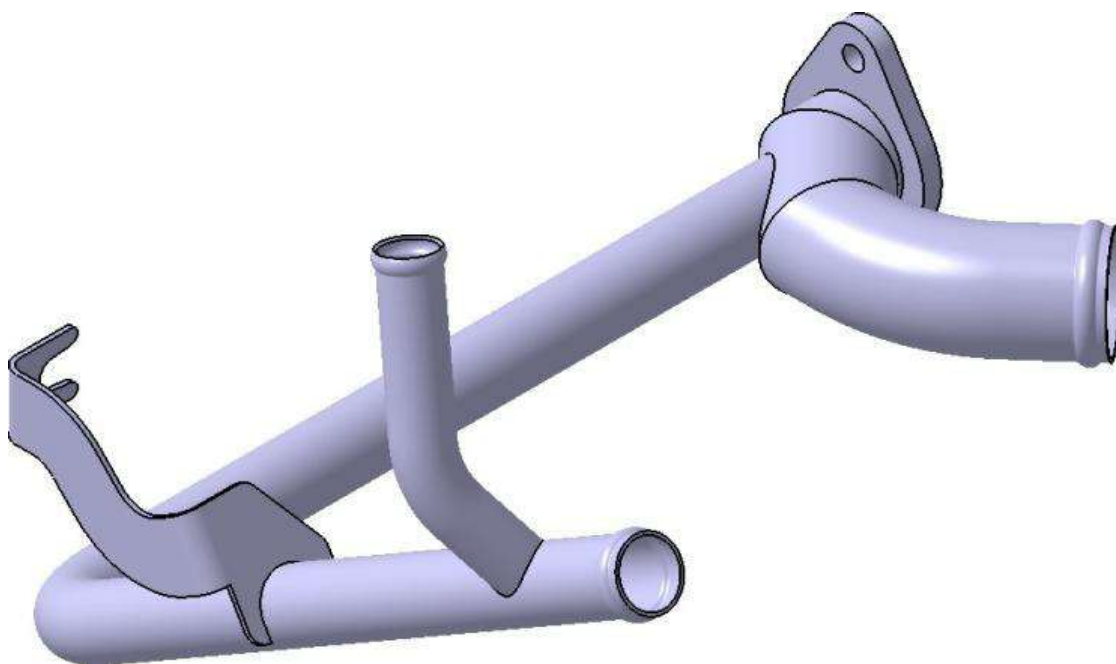


Рисунок 72 - Модернізована труба водяного насоса, що підводить.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

#### 4.3.Ідентифікація параметрів роботи нової конструкції трубопроводу на основі моделювання процесів перебігу рідини з урахуванням теплообміну в САПР

Застосовуючи ті самі граничні умови і зовнішні навантаження на систему, застосовуючи ті ж матеріали і розміри кінцевих елементів, вводячи контакти поверхонь тих самих регіонів геометрії, оновимо розрахункову модель труби водяного насоса, що підводить, до модернізованого стану (рисунок 88).

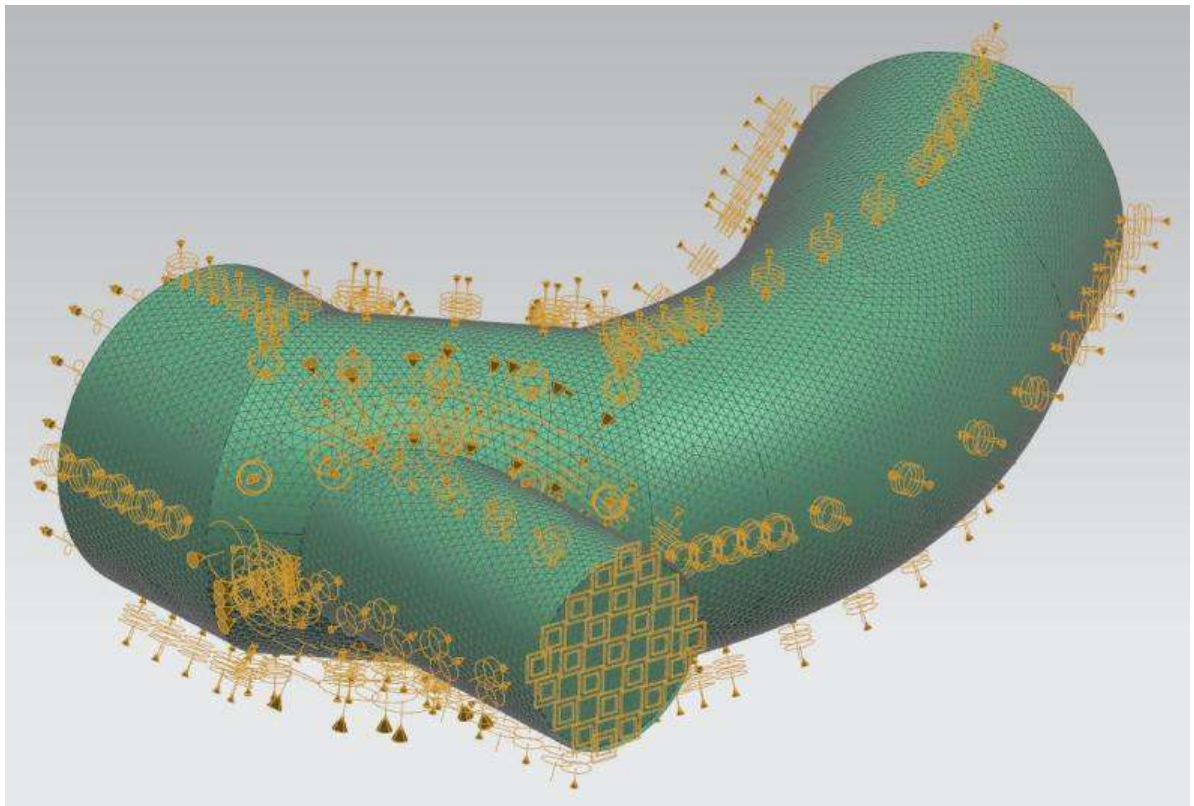


Рисунок 73 - Розрахункова модель модернізованої труби водяного насоса, що підводить.

За підсумками розрахунку отримано такі результати:

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

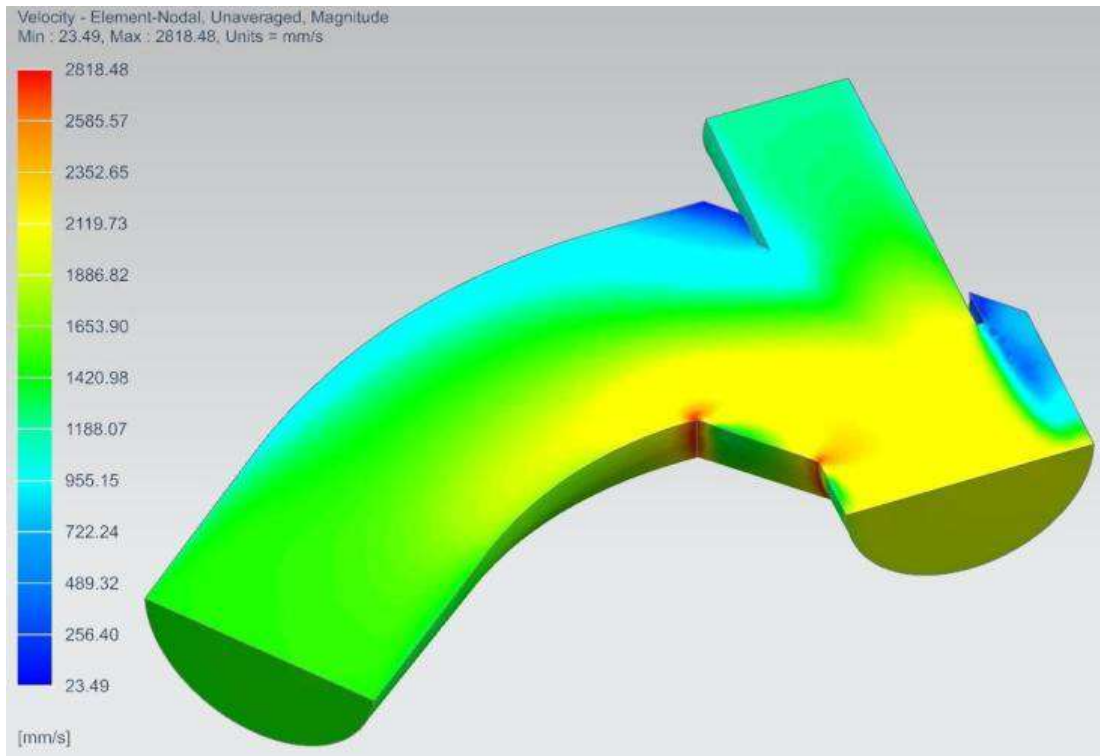


Рисунок 74 - Розподіл швидкості потоку рідини

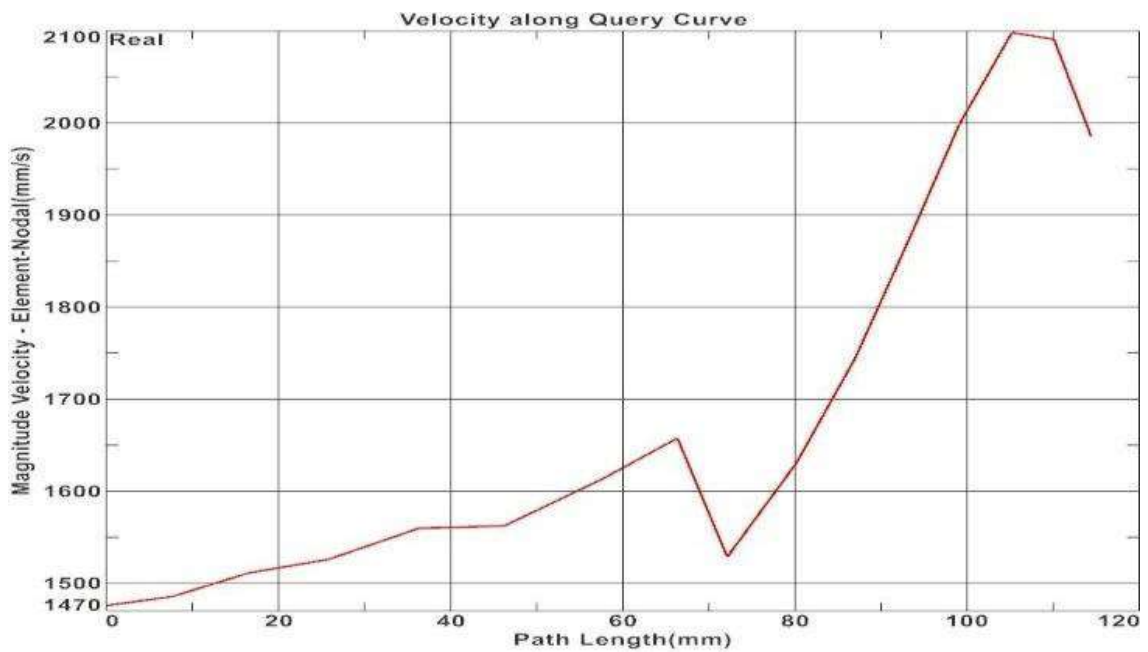


Рисунок 75 - Розподіл швидкості потоку рідини вздовж напрямної труби

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

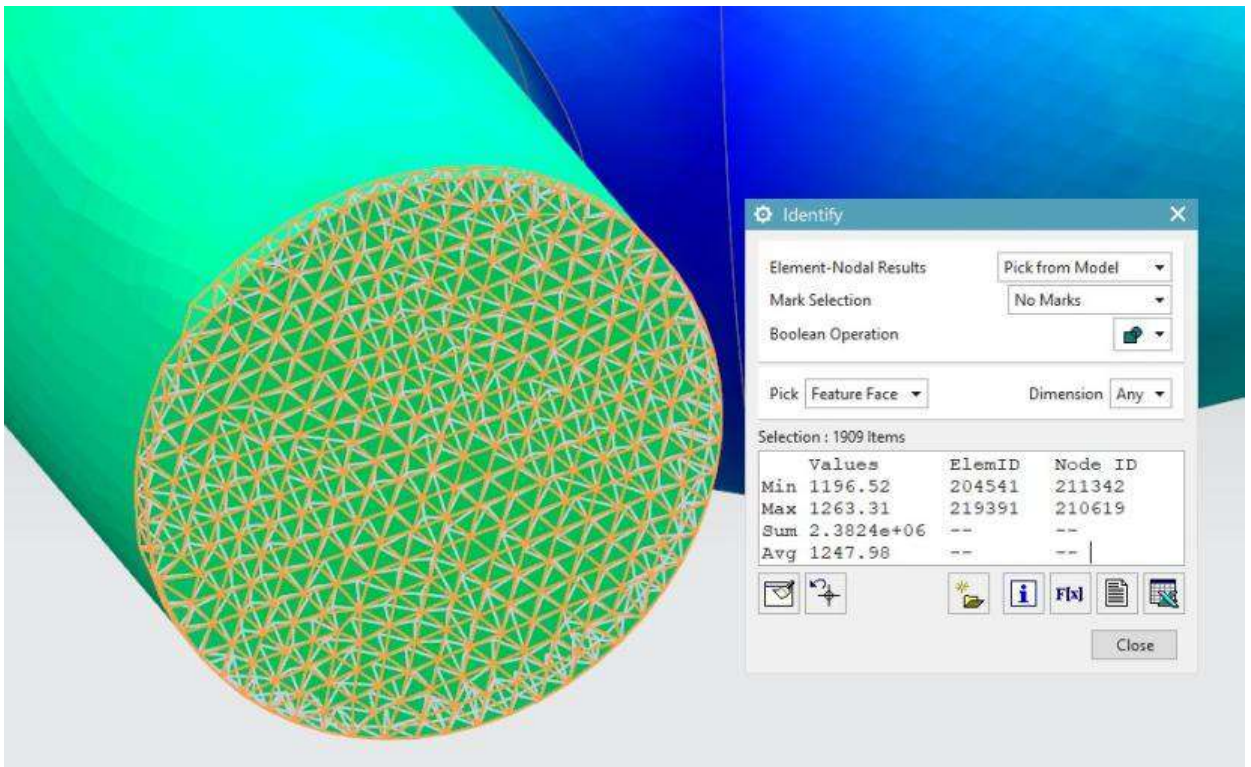


Рисунок 76 - Середня швидкість потоку від обігрівача

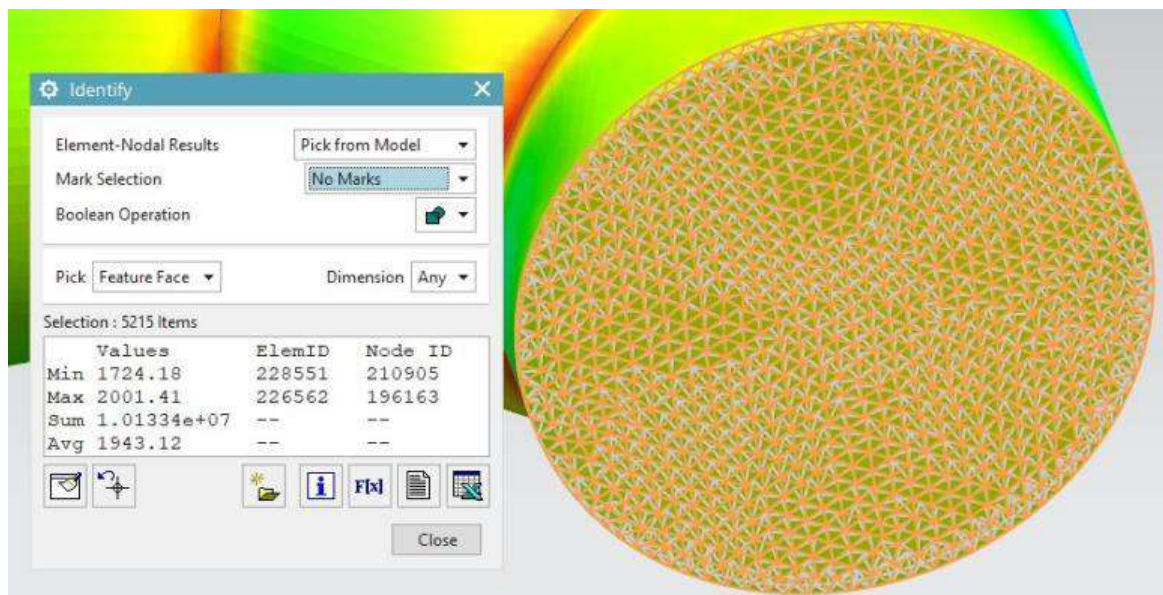


Рисунок 77 - Середня швидкість потоку на виході з підвідної труби

У розподілі швидкостей потоку (рисунок 89, 90) звертає на себе увагу незначно впала середня швидкість рідини на виході з труби водяного насоса, що підводить (на 5,8 мм/с або на 0,3%, з результатів на Рисунку 92) і зросла середня швидкість потоку в заправній трубі (на 70,7 мм/с або на 6%, з

результатів на Рисунку 91).

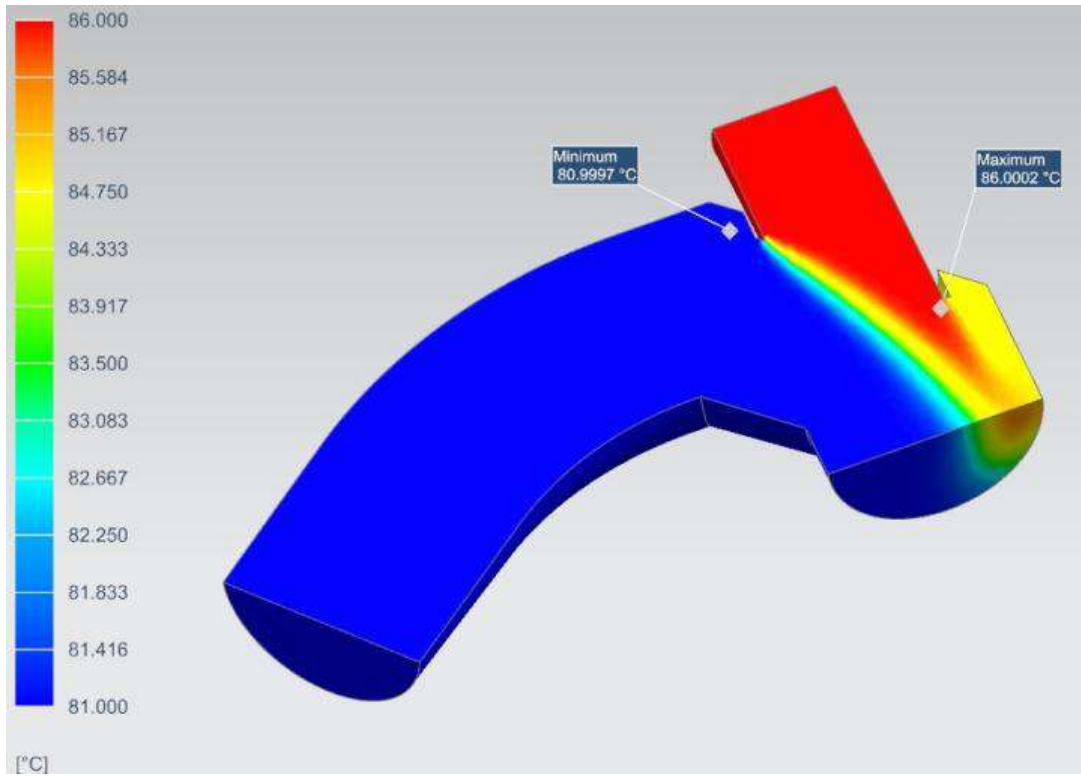


Рисунок 78 - Розподіл температури рідини

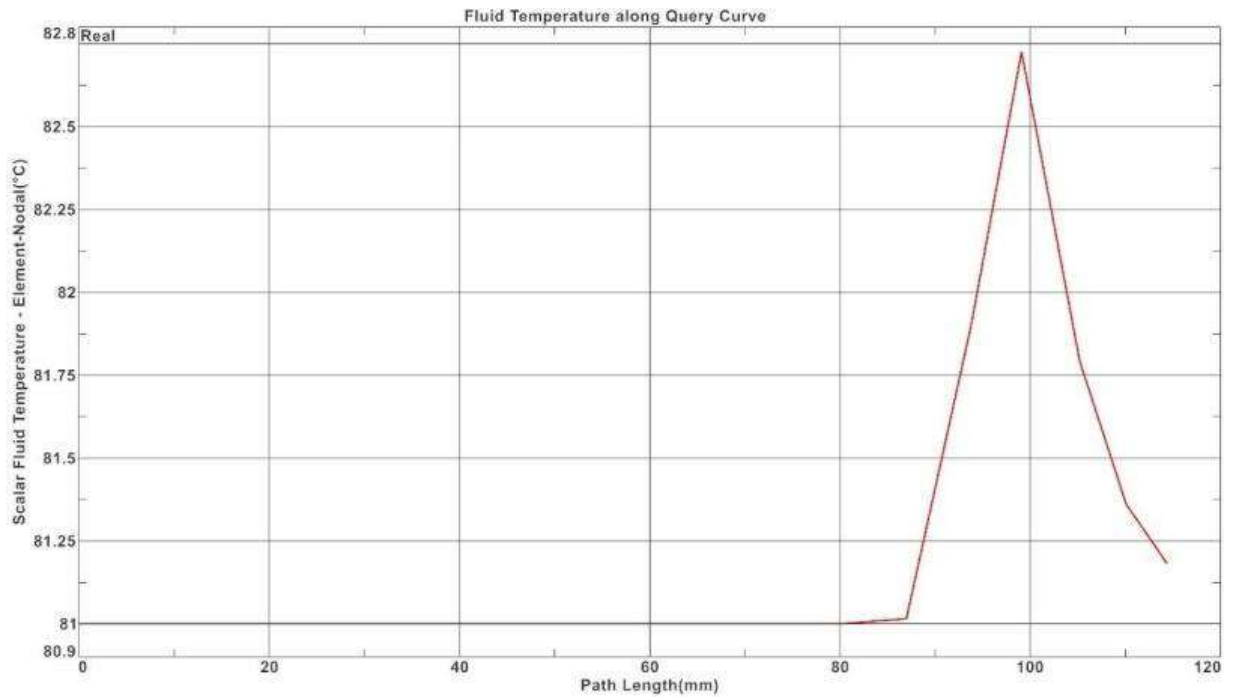


Рисунок 79 - Розподіл температури рідини вздовж напрямної труби

Відхилення температур (малюнки 93, 94) у велику сторону, від

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

заданих на вході значень, за результатами розрахунку становлять менше 0,01%, що з найбільшою ймовірністю є похибкою розрахунку, а значить, температуру рідини можна вважати незмінною, як і у разі не модернізованої труби. Тобто втрати в трубі через паразитне підігрів охолоджуючої рідини можна вважати рівними нулю.

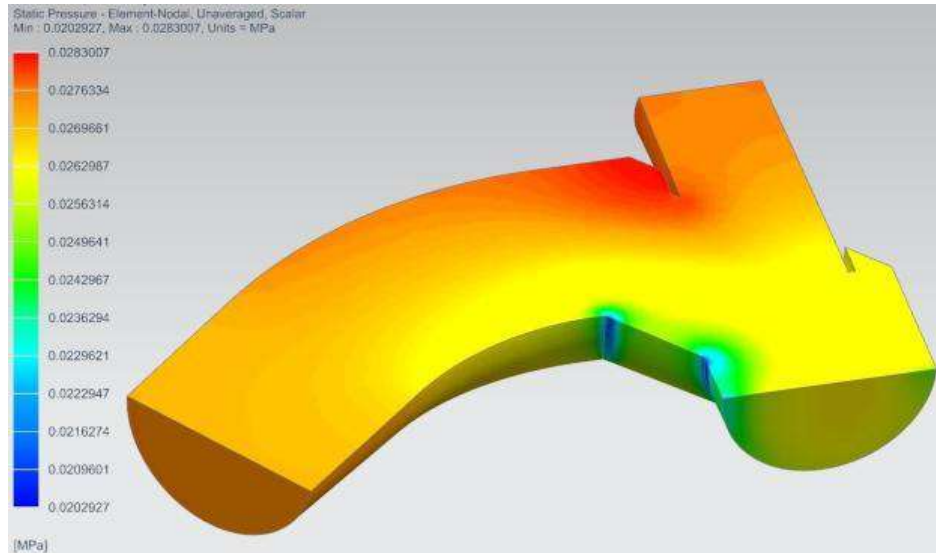


Рисунок 80 - Статичний тиск у системі

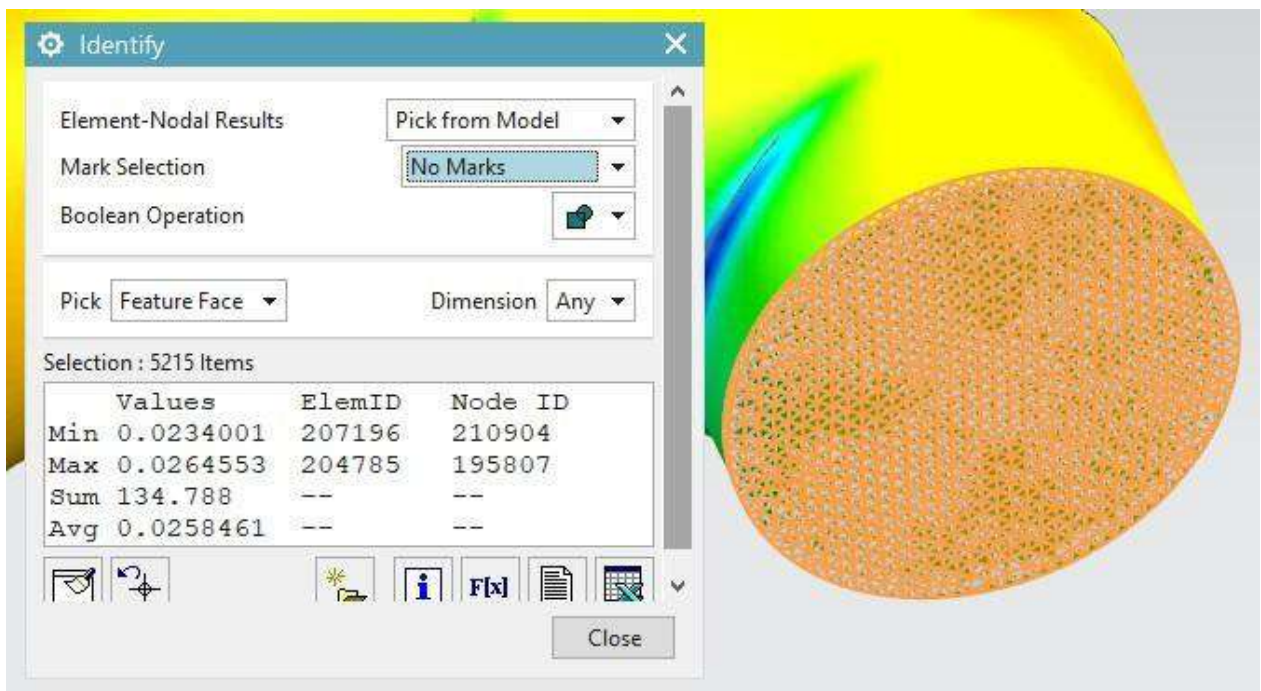


Рисунок 81 - Середній статичний тиск на виході з труби

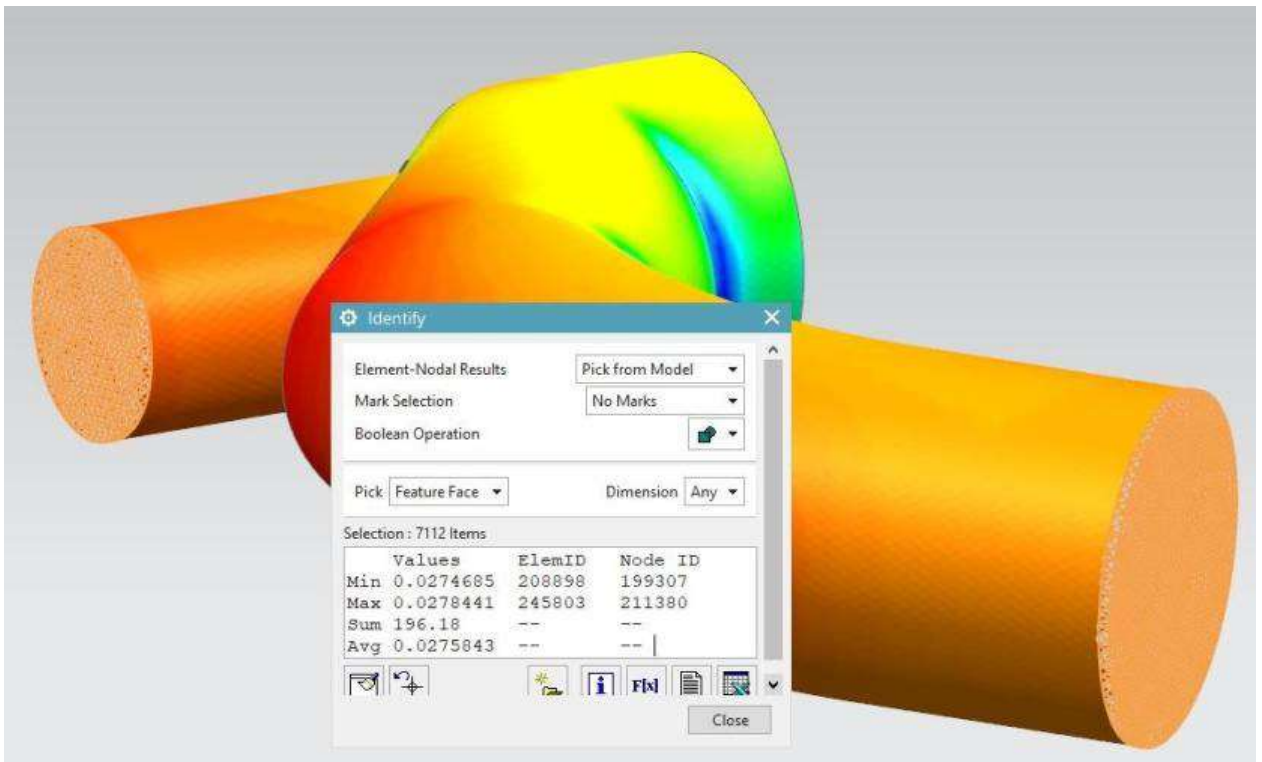


Рисунок 82 - Середній статичний тиск на вході в трубу

Різниця середнього значення повного тиску (рисунок 98) між входом і виходом становить 0,0007 МПа, або 2,7% вихідного тиску (рисунок 99, 100). Цей показник на 1,4% нижчий, ніж показник вихідної труби.

За допомогою здійснених змін конструкції труби вдалося знизити на 1,4% загальні гідравлічні втрати на даній ділянці труби, що негативно впливають на роботу системи охолодження в цілому. При цьому вдалося поліпшити циркуляцію рідини в колі обігу охолоджуючої рідини через радіатор обігрівача і уникнути падіння швидкості течії рідини та збільшення значень паразитного підігріву робочого тіла системи охолодження.

## Висновок

						ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			69

- В результаті аналізу існуючих джерел літератури встановлено, що сучасні системи охолодження ДВЗ поділяються на відкриті та замкнуті;
- Встановлено, що для вдосконалення конструкції з'єднувальних трубопроводів системи охолодження ДВЗ та підвищення швидкості та якості розробки доцільно створити методику проектування на основі САПР, яка дозволить врахувати гідравлічні втрати та теплообмін на основі чисельного моделювання процесів у гідросистемі охолодження;
- Було розроблено конструкцію системи охолодження двигуна автомобіля із застосуванням існуючих вузлів;
- Було розроблено модель течії рідини в трубі з урахуванням гідравлічних втрат та теплообміну;
- З проведеного розрахунку ясно, що необхідно збільшення радіусу та кута повороту потоку рідини для зменшення рівня втрат повного тиску; необхідно поліпшення струму рідини через заправну трубу з боку радіатора обігрівача, збільшення швидкості на даній ділянці; паразитний підігрів рідини в трубі відсутній завдяки досить високій швидкості перебігу рідини. Розподіл температури в стінках труби не значно впливає на роботу системи;
- За допомогою здійснених змін конструкції труби вдалося знизити на 1,4% загальні гідравлічні втрати на даній ділянці труби, що негативно впливають на роботу системи охолодження в цілому. При цьому вдалося поліпшити циркуляцію рідини в колі обігу охолоджуючої рідини через радіатор обігрівача і уникнути падіння швидкості течії рідини та збільшення значень паразитного підігріву робочого тіла системи охолодження.

### Література

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Сажко, В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник/ В.А.Сажко;рец.:В.В.Рудзінський, С.К.Полянський,А.З.Філіпов.–К. : Каравела,2008.–400с.:іл.

2. Лудченко, О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління : підручник / О. А. Лудченко.–К. : Знання-Прес, 2004.–478с.:іл.

3. Бабіч, Б. С., Лущик В. В. Технічне обслуговування й ремонт металевих кузовів автомобілів: підручник/Б.С. Бабіч,В.В.Лущик.–К. :Либідь,2001.–460с.:іл.

4. Автомобілі.Тягово-швидкіснівластивості та паливна економічність : навч. посібник/В.П.Сахно,Г.Б.Безбородова, М.М.Маяк, С.М.Шарай.–К. : КВІЦ, 2004.–174с:іл.

5. Automobiles : навч. посібник з англійської мови/Н. І.Марченко,Н.О. Курносова, О. В. Забашта та ін.Житомир:ЖДТУ,2005.–256с.

6. Довідник водія. Добірка законодавчих актів для власників транспортних засобів/упорядкув. Є. К. Пашутинського.–К. : КНТ, 2005.–408с.

7. Мельничук,С.В. Гідравлічні системи автомобіля : навч. посібник.–Житомир : ЖДТУ,2004.–294с.:іл.

8. Дерех, З. Д., Душник В. Ф. Підручник водія. Основи керування автомобілем / З. Д. Дерех, В. Ф. Душник. –К. : Арій, 2008. –144 с. : іл.

9. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навч. посібник / Є.Ю. Форнальчик, М. С. Оліскевич, О. Л. Мاستикаш,Р.А.Пельо.–Львів:Афіша, 2004.–492с.

10. Полянський, С. К., Коваленко, В. М. Експлуатаційні матеріали: підручник/С.К. Полянський,В.М.Коваленко.–К.:Либідь, 2003.–448с.

11. Окоча, А. І., Білоконь, Я.Ю. Паливномастильні та інші експлуатаційні матеріали : підручник/А. І.Окоча,Я. Ю. Білоконь.–К. : Центр. дух. культ., 2004.–448с.

12. Кисликов,В.Ф.,Лущик,В.В.Будова й експлуатація автомобілів : підручник.–5-те вид.–К. :Либідь, 2005.–400с.:іл.

13. Antonio Torregrosa, Pablo Olmeda, Antonio Garcia-Ricos, Jordi Natividad, Carlos Romero. Методика для дизайну Engine Cooling Systems в Standalone Applications. SAE Technical Papers, 2010.

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

URL:[https://www.researchgate.net/publication/286352432\\_A\\_Methodology\\_for\\_the\\_Design\\_of\\_Engine\\_Cooling\\_Systems\\_in\\_Standalone\\_Applications/](https://www.researchgate.net/publication/286352432_A_Methodology_for_the_Design_of_Engine_Cooling_Systems_in_Standalone_Applications/)

14. Chao Yu, Sicheng Qin, Bosen Chai, Sen Huang, Yang Liu. Діяльність ефективного потоку на твердому перетворенні продуктивності потоку електронної пошти на основі хімічної динамічної динаміки (CFD) Simulation. MDPI AG - Switzerland, 2019. URL:<https://www.mdpi.com/1099-4300/21/9/829/>

15. Maosheng Tian. Research on Features of Heat Spatial Distribution for Heat Exchanger Automobile Engine Bay and Improvement Model. AIDIC Servizi Srl - Italy, 2018.

16. Paola Elizabeth Rodriguez-Ocampo, Michael Ring, Jassiel Vladimir Hernández-Fontes, Juan Carlos Alcérreca-Huerta, Edgar Mendoza, Rodolfo Silva. CFD Simulations Multiphase Flows: Interaction of Miscible Liquids with Different Temperatures. WATER - Switzerland, 2020. URL:<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2581/htm>

17. Sergey Kartashov, Yuri Kozhukhov, Vyacheslav Ivanov, Aleksei Danilishin, Aleksey Yablokov, Aleksey Aksenov, Ivan Yanin, Minh Hai Nguyen. Проблема Accounting for Heat Exchange між Flow і Flow Part Surfaces У цьому плані Високий Flow in Low-Flow Stages of Centrifugal Compressor. APPLIED SCIENCES - Switzerland, 2020. URL:<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/9138/htm/>

18. Stefano Cademartori, Carlo Cravero, Martino Marini, Davide Marsano. CFD Simulation of Slot Jet Impingement Heat Transfer Process and Application to Temperature Control System for Galvanizing Line of Metal Band. APPLIED SCIENCES - Switzerland, 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1149/htm/>

					ДРБАТ.24.20208.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72