

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. М.Є.  
ЖУКОВСЬКОГО  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет авіаційних двигунів

Кафедра аерокосмічна теплотехніка

До захисту допускаю

Завідувач кафедри

д.т.н., доцент Гакал П.Г.

\_\_\_\_\_  
(наук. ступінь, вчене звання, прізвище ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до випускної роботи магістра

на тему: «Підвищення ефективності системи охолодження  
гідрогенератора потужністю до 22 МВт»

Виконав: студент  6  курсу, групи  268М   
напряму підготовки  6.050601   
Теплоенергетика

\_\_\_\_\_  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Полієнко В.Р.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

Керівник: Третяк О.В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

Рецензент:

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

м. Харків – 2018 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра аерокосмічної теплотехніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*  
Напрямок підготовки *6.050601 – Теплоенергетика*  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, д. т. н., доцент

\_\_\_\_\_ Гакал П.Г.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**

на випускню роботу студенту

***Полієнко Владиславу Руслановичу***

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Підвищення ефективності системи охолодження  
гідрогенератора потужністю до 22 МВт*

керівник роботи *Третяк Олексій Володимирович, к.т.н., старший викладач,*  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

*каф. 205; Заступник завідувача відділом ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ».*

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 року  
№ \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розрахунково-теоретична частина	Третяк О.В., к.т.н., старший викладач, каф 205		
Економічна частина	Сідлярук Т.В. ст.викладач каф.601		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання вхідних даних та характеристик розрахункових агрегатів	03.09.2018—09.09.2018	
2	Опрацювання технічних вимог до модернізації блоків Канівської ГЕС	10.09.2018—16.09.2018	
3	Проведення патентного дослідження	17.09.2018—23.09.2018	
3	Огляд світових аналогів виконання системи вентиляції капсульних гідрогенераторів	24.09.2018—30.09.2018	
4	Тривимірний та аналітичний розрахунок системи аксіальної вентиляції	01.10.2018—07.10.2018	
5	Тривимірний розрахунок радіальної системи вентиляції	08.10.2018—14.10.2018	
6	Тривимірний розрахунок аксіальної системи вентиляції з додатковим вентилятором	15.10.2018—21.10.2018	
7	Розрахунок на міцність додаткового вентилятора	22.10.2018—28.10.2018	
8	Аналіз отриманих даних та економічний розрахунок	29.10.2018—11.11.2018	
9	Оформлення пояснювальної записки	12.11.2018—25.11.2018	
10	Підготовка схем, креслень, доповіді та презентації	26.11.2018—07.12.2018	

Студент \_\_\_\_\_

( підпис )

Полюшко В.Р. \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

( підпис )

Третяк А.В. \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота магістра 81 с., 66 рис., 19 табл., 32 джерела, 1 додаток.

Об'єктом дослідження є капсульний гідрогенератор Канівської ГЕС.

Мета роботи - провести тепловий, вентиляційний, економічний розрахунки відповідно до завдань з модернізації системи охолодження капсульного гідрогенератора задля підвищення потужності до 22 МВт, розробити необхідні креслення за даними розділами.

У процесі дослідження проводилися тривимірні та аналітичні розрахунки за допомогою програми Mathcad і програмного комплексу SolidWorks з доповненням FlowSimulation, текст виконаний в текстовому редакторі MicrosoftWord 2016, креслення виконані в системі автоматизованого проектування і рохрахунку КОМПАС-3D.

Наукова робота складається з двох розрахункових розділів. Перший розділ має за собою мету Показати нову розроблення альтернативу проти класичної методики розрахунку систем вентиляції електричних машин методом схем заміщення та провести порівняння методів на основі Канівського гідроагрегату. Другий розділ відображаю економічну складових питання та матеріальні витрати для модернізації капсульного гідрогенератору Канівської ГЕС.

В результаті дослідження були визначені ключові теплові, гідравлічні параметри вузлів системи охолодження розрахункового гідрогенератору, таких як газоохолоджувач та додатковий вентилятор. Проаналізовані різні схеми вентиляції та визначена найбільш ефективна в рамках задач модернізації Канівської ГЕС. З патентного пошуку визначено загальний напрям розвитку систем охолодження стосовно гідрогенераторів капсульного типу.

Ступінь впровадження: ця робота є теоретичним опрацюванням декількох можливих варіантів модернізації гідрогенераторів Канівської ГЕС.

Область застосування: Канівська або Київська ГЕС.

СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ; СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ; КАПСУЛЬНИЙ ГІДРОГЕНЕРАТОР; АКСІАЛЬНА СИСТЕМА; РАДІАЛЬНА СИСТЕМА; ГЕНЕРАТОР; ОХОЛОДЖУВАЧ; ДРОТОВЕ РЕБРЕННЯ; РОТОР; СТАТОР; ТУРБІНА; ГЕС; ГАЕС; МАШИНА ЗМІННОГО СТРУМУ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
<b>1 ЗАВДАННЯ ТА ЦІЛІ МОДЕРНІЗАЦІЇ</b>	
1.1 Вихідні дані і діючі характеристики розрахункових агрегатів.....	11
1.2 Опис технічних вимог до модернізації блоків Канівської ГЕС .....	17
<b>2 ПАТЕНТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
2.1 Патентний пошук.....	19
2.2 Діючі світові аналоги.....	37
2.3 Висновок з патентного пошуку.....	39
<b>3 ОСНОВНА ЧАСТИНА</b>	
3.1 Розрахунок газоохолоджувача.....	40
3.1.1 Тепловий розрахунок.....	40
3.1.2 Гідравлічний розрахунок.....	41
3.2 Розрахунок системи вентиляції .....	43
3.2.1 Розрахунок аксіальної системи вентиляції.....	44
3.2.1.1 Тривимірний розрахунок.....	44
3.2.1.2 Аналітичний розрахунок (Верифікація).....	46
3.2.2 Розрахунок радіальної системи вентиляції.....	49
3.2.3 Розрахунок аксіальної системи вентиляції з додатковим вентилятором.....	54
3.3 Розрахунок на міцність додаткового вентилятора.....	58
3.4 Висновок з розрахункової частини.....	63
<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b>	
4.1 Розрахунок собівартості і ціни допоміжного вентилятора.....	68
4.2 Розрахунок собівартості і ціни теплообмінного апарату.....	74
4.3 Висновок з економічної частини.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	80

## ВСТУП

Втрати енергії, а отже, і нагрів збільшуються пропорційно зі збільшенням навантаження. Тому найбільша потужність навантаження, що допускається для даної машини, визначається головним чином допустимим рівнем нагрівання, а також механічної міцності її частин.

Одна з проблем, що виникли при цьому - утилізація тепла, що виділяється. Справа в тому, що перетворення енергії в електромашині неминуче пов'язане з її втратами, викликаними перемагнічуванням феромагнітних сердечників, перетворенням струму через провідники, тертям в підшипниках. Електромашини є досить досконалими перетворювачами енергії з відносно високим ККД. Наприклад, в самих потужних електричних машинах ККД дорівнює 98-99,5%.

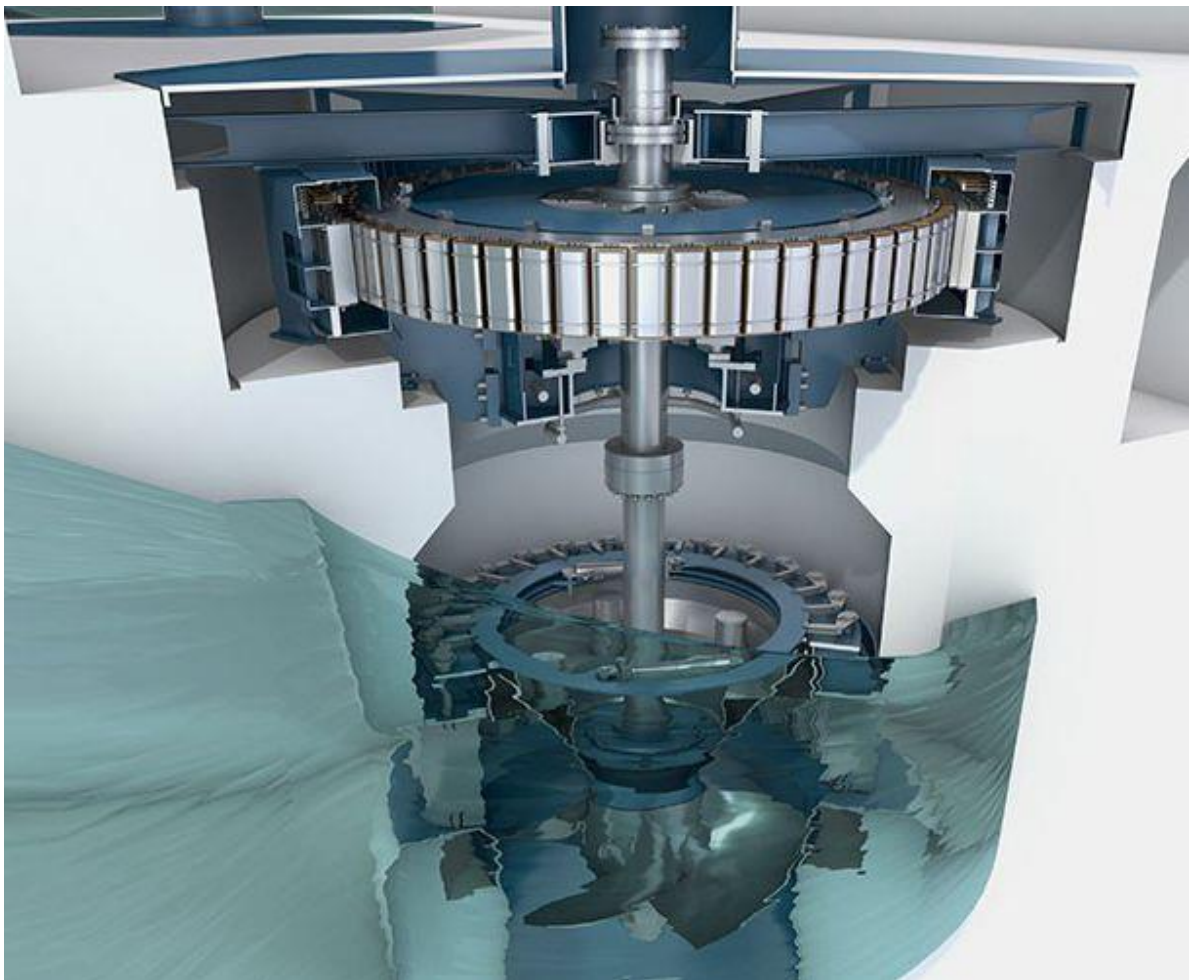


Рисунок 1 – Вертикальний гідрогенератор

Втрачена в електромашині енергія перетворюється в тепло і викликає нагрівання окремих її частин. Для надійності роботи і досягнення прийняттого терміну служби нагрівання частин машини повинно бути обмежено. Найбільш

чутливими до нагрівання є електроізоляційні матеріали, якість яких визначає допустимий рівень нагріву електричних машин. Велике значення має спосіб відведення тепла і охолодження. Тим самим саме система охолодження багато в чому визначає майбутній вигляд електричної машини.

Залежно від конструктивного типу турбіни гідрогенератор може бути вертикального або горизонтального виконання, а також існує капсульний тип гідрогенератора, про який піде мова у даній роботі, в якому турбіна і гідрогенератор об'єднані в одному корпусі, що знаходиться в проточній частині гідроелектростанції.

Капсульні гідрогенератори знайшли широке застосування для низьконапірних, а також приливних ГЕС. Вони характеризуються відносно невеликими частотами обертання і зменшеними радіальними розмірами, що досягається завдяки використанню більш ефективних, примусових систем охолодження. Одиначна потужність капсульних гідроагрегатів зазвичай не перевищує 50 МВт, проте при необхідності вона може бути значно підвищена. Для даного типу електричних машин отримали розвиток дві принципово відмінні системи охолодження великих капсульних машин: аксіальна - повітрям нормального або підвищеного тиску і безпосереднє водяне охолодження.

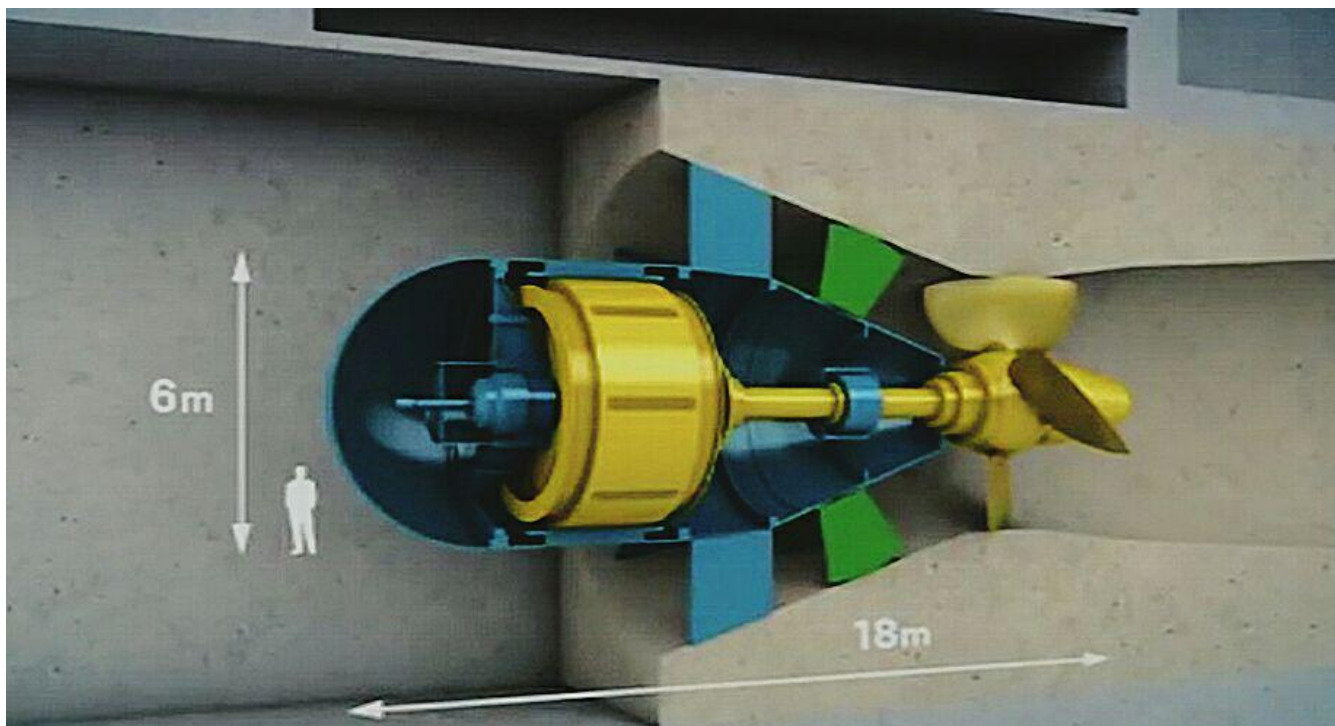


Рисунок 2 – Капсульний гідрогенератор (загальний вид)

У капсульних гідрогенераторах застосовується примусове охолодження. Це перш за все рідинні системи безпосереднього охолодження обмоток і сердечників. Впровадження цих систем, що характеризуються більшою ефективністю і

економічністю, дозволило повисити питомі електромагнітні та теплові навантаження машин і її одиничну потужність. При цьому в гідрогенераторах як холодильний агент використовується вода. Обмотки і шини обмотки статора охолоджуються безпосередньо водою, обмотки збудження виконані з форсованим повітряним охолодженням, причому форсування охолодження досягається виконанням поперечних каналів у витках котушок полюсів, а інші елементи конструкції мають традиційне непряме повітряне охолодження.

Практично реалізовані конструктивні схеми безпосереднього водяного охолодження всіх основних елементів гідрогенераторів в яких мають місце значні втрати (обмотки статора та збудження, шинопроводи, сердечники статора і полюси ротора, демпферна обмотка, нажимні гребінки статора ).

У багатьох випадках виконуються системи охолодження змішаного типу, в котрих для одних, найбільш напружених в тепловому відношенні елементів використовується безпосереднє водяне охолодження, для інших - повітряне.

При застосуванні аксіальної примусової вентиляції з циркуляцією повітря по замкнутому циклу для забезпечення необхідної інтенсивності теплос'єму зі статора в зубцях сердечника виконуються поздовжні щілиноподібні канали, які дозволяють в кілька разів збільшити охолоджуючу поверхню. Таким чином, повітря проходить по декільком паралельним шляхам: через повітряний зазор між статором і ротором, по каналах в зубцях сердечника статора, між спинкою сердечника і корпусом статора і в міжполюсних проміжках ротора. Відомі також конструкції з продувкою повітря через спеціальні канали в обмотці і спинці сердечника статора.

При аксіальній повітряній системі охолодження потужність, що витрачається на вентиляцію генератора, стає досить значною і ККД різко знижується. Саме ця обставина змушує в великих капсульних генераторах підвищувати тиск повітря; при цьому втрати на вентиляцію знижуються пропорційно абсолютному тиску. Однак таке рішення призводить до значного ускладнення конструкції статора і його ущільнень, системи маслопостачання підшипників, системи дренажу з капсули, появи важкої діафрагми між камерами генератора і турбіни. Крім того, різко ускладняється експлуатація генератора і виключається його обслуговування, під час роботи. Все це разом узяте, а також прагнення отримати більш компактну, легку, доступну і зручну в експлуатації машину змусили продовжити пошуки оптимальної для цього типу гідрогенераторів системи охолодження.

Використання безпосереднього водяного охолодження обмоток статора і ротора, а також сердечників полюсів усуває всі зазначені вище труднощі, повністю виключає необхідність штучної циркуляції повітря в генераторі, так як при належному виборі матеріалів і розмірів капсульних машин втрати в осерді статора відводяться водою, що протікає по каналах в провідниках обмотки статора.



Крім отримання звичайних переваг (зниження габаритів і маси), водяне охолодження стосовно капсульних гідрогенераторів великої потужності дозволяє також значно спростити конструкцію ряду вузлів і підвищити надійність роботи обладнання.

Тим не менш, в даній роботі мова піде про капсульний гідрогенератор з виключно аксіальною системою охолодження виробництва ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ» для Канівської ГЕС, потужністю 18,5 МВт, після майбутньої модернізації вона буде збільшена до 22 МВт.

Розробка перших зразків даних генераторів на заводі ДП «ЗАВОД «ЕЛЕКТРОВАЖМАШ» проводилася ще в 50-х роках минулого століття (Рисунок 3).

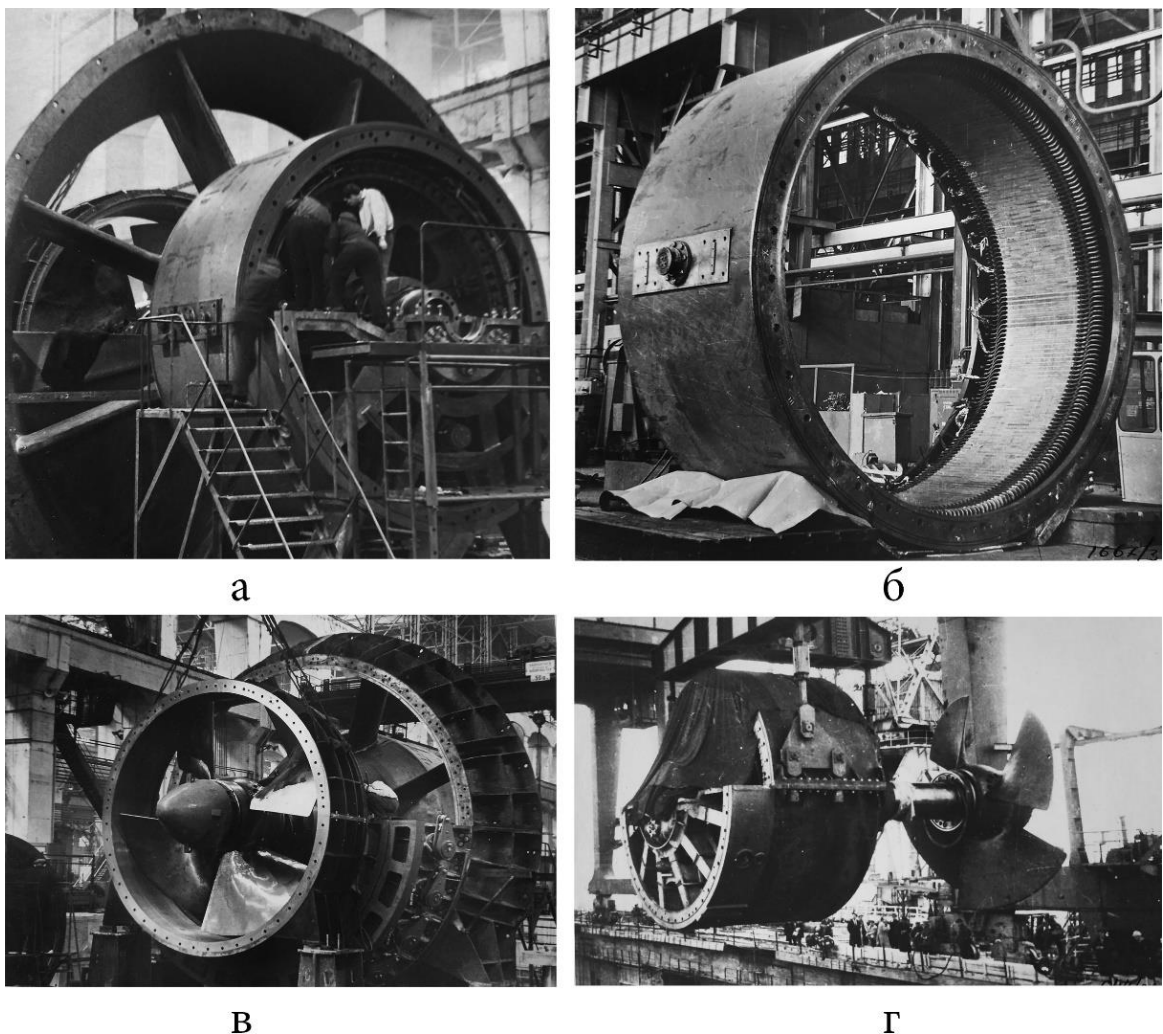


Рисунок 3 – Контрольна збірка гідрогенератору на виробництві (а),(б),(в) та великоблочний монтаж гідрогенератору на ГЕС (г)

Перший агрегат в Каневі був введений в експлуатацію в 1972 році, а вся станція була завершена до кінця 1975 року. У той час було проведено безліч основоположних

випробувань і вироблено безліч методик розрахунку під даний тип гідрогенератора. Готтер, Данько, Стоун, Алексєєв, Тітко Олексій Іванович та Мілих Володимир Іванович зробили безцінний внесок у розвиток електромашинобудування в цілому. Минуло понад 40 років і кілька модернізацій гідроагрегатів з початку роботи першої «Канівської машини», але кожна наступна модернізація потребує доопрацювання базових (в певному сенсі «застарілих») методик та впровадження сучасних технологій розрахунку та принципово нових конструкцій.

## 1 ЗАВДАННЯ ТА ЦІЛІ МОДЕРНІЗАЦІЇ

### 1.1 Вихідні дані і діючі характеристики розрахункових агрегатів

Проектування нової системи охолодження викликано необхідністю реконструкції та модернізації Канівської ГЕС, одна з основних цілей модернізації є збільшення потужності капсульних гідрогенераторів СГК2 538 / 160-70 до 22 МВт, що в результаті призводить до збільшення теплових втрат в активних частинах генератора, для забезпечення належного охолодження необхідно спроектувати охолоджувач тепловою потужністю 680 кВт. Перед проектуванням необхідно вивчити систему вентиляції і ряд цілей реконструкції, а також ряд цілком нових вимог стосовно роботи гідрогенератору на аварійному режимі без штатних вентиляторів.

#### Стан гідроенергосистеми України

Каскад гідроелектростанцій, дамб і водосховищ, існуючий на р. Дніпро в Україні, є однією з найбільших гідросистем в світі. Перша гідроелектростанція (ГЕС) системи (Дніпровська ГЕС-1) була побудована біля міста Запоріжжя в 1934 р, а остання (Дніпровська ГЕС-2) була завершена в 1980 р.

ПАТ «Укргідроенерго» (УГЕ) є основною гідроенергетичній компанією України, що покриває пікову частину навантажень, що забезпечує регулювання частоти і потужності, а також аварійний резерв для Об'єднаної енергосистеми України.

Таблиця 1 - Загальні відомості про встановлену потужність УГЕ

Назва ГЕС	Кількість агрегатів	Потужність
Київська ГАЕС	6 агрегатів (3 об'єднаних)	235,5 МВт
Київська ГЕС	20 агрегатів	429,5 МВт
Канівська ГЕС	24 агрегата	472 МВт
Кременчуцька ГЕС	12 агрегатів	632,9 МВт
Дніпродзержинська ГЕС	8 агрегатів	369,6 МВт
Дніпровська ГЕС-1	10 агрегатів	629 МВт
Дніпровська ГЕС-2	8 агрегатів	841,1 МВт
Каховська ГЕС	6 агрегатів	329 МВт
Дністровська ГЕС	6 агрегатів	702 МВт
Разом	100 агрегатів	4683,6 МВт

Загальна встановлена потужність дев'яти гідроелектростанцій УГЕ

становить 4683,6 МВт (100 гідроагрегатів). Середньорічне виробництво компанії складає 10 -11 млрд кВт / год.

#### Загальна мета реконструкції

Середній вік енергетичної інфраструктури України в даний момент перевищує 35 років. Щоб гарантувати безпечну експлуатацію, довгострокову надійність і генеруючу потужність, основні об'єкти повинні пройти серйозну реконструкцію. Ці роботи також зменшать кількість незапланованих простоїв і знизять витрати на технічне обслуговування.

Основні цілі реконструкції - це збільшення терміну служби ГЕС, підвищення її потужності, вироблення, надійності і безпеки устаткування і споруд, виконання вимог щодо захисту навколишнього середовища, поліпшення якості вироблюваної електроенергії за рахунок реконструкції системи управління, і створення сучасних умов роботи.

УГЕ протягом декількох років реалізує програму реконструкції (етапи 1 і 2) деяких гідроагрегатів Канівської ГЕС (турбіни, генератори, системи збудження, регулятори швидкості, системи управління і захисту і т.п.).

Поточний, третій етап програми реконструкції Канівської ГЕС, що є предметом справжніх специфікацій, включає реконструкцію 2 блоків, включаючи 7 турбін, 7 генераторів, допоміжних систем для 8 гідроагрегатів, а також системи управління і захисту для 8 агрегатів і двох блоків).

На діючих агрегатах спостерігається проблема волнистості і вібрацій в магнітному осерді статора (що складається з двох частин). Обмоткам статорів сорок років, охолоджувачі статора не відповідають зростанню рівня втрат і вже не ефективні (наявність дрейссени всередині підводу води охолодження).

Загальні цілі даного проекту реконструкції:

- 1) підвищення експлуатаційної надійності і терміну служби;
- 2) підвищення ККД і потужності агрегатів;
- 3) заміна застарілого контрольно-вимірювального обладнання;
- 4) підвищення екологічної безпеки;
- 5) зміна вихідної напруги з 3,15 кВ на даний момент на 6,3 кВ після реконструкції;
- 6) зміна конструкції і заміна статора і полюсів ротора, включаючи демпферну обмотку.

Обсяг робіт по реконструкції генератора, по кожному гідроагрегатів, в основному включає:

- 1) перевірка, ремонт і посилення корпусу статора з заміною призм і їх кріплення;
- 2) посилення корпусу статора (якщо необхідно)
- 3) заміна магнітного сердечника і обмотки статора;

4) заміна теплообмінників і повна заміна контуру охолодження генератора (для 8 агрегатів);

5) заміна всіх контрольно-вимірювальних приладів, включаючи клемні шафи датчиків;

6) зміна полюсів ротора (нові сердечники полюса і зміна котушок);

7) модернізація вихідних (нейтральних і головних) шин генератора до першого болтового з'єднання за межами шахти капсули (приблизно на 1 метр вище кришки капсули), в тому числі заміна 6 прохідних ізоляторів між внутрішньою і зовнішньою частинами капсули;

8) перевірка і ремонт обода ротора;

9) посилення обода ротора (якщо необхідно)

10) заміна струмознімальних кілець, щіток, щіткотримачів і установка мішка;

11) модернізація системи гальмування;

12) монтаж всього реконструйованого генератора;

13) остаточні випробування і введення в експлуатацію.

Обсяг робіт по кожному Блоку в основному включає повну заміну частини системи водяного охолодження, яка є спільною для чотирьох гідроагрегатів.

#### Опис ГЕС

Канівська гідроелектростанція (Канівська ГЕС) розташована на річці Дніпро поблизу міста Канів.



Рисунок 4 – Канівська ГЕС

Основні характеристики Канівської ГЕС, такі:

- 1) Бетонна гребля загальною довжиною близько 344 м.
- 2) Гребля розділена на 24 прольоти.
- 3) У кожному прольоті є один капсульний агрегат потужністю 18,5 МВт.
- 4) На кожному прольоті також встановлено один основний впускний затвор роликового типу, одна знімна змінна сміттестримна решітка і один водозливний затвор роликового типу.

Перший агрегат в Каневі був введений в експлуатацію в 1972 р, вся станція була завершена до кінця 1975 р Середньорічне виробництво станції становить 823 ГВт / год.



Рисунок 5 - Бетонна гребля Канівської ГЕС

Дванадцять гідроагрегатів (№4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 17, 21, 22, 23, 24) нещодавно пройшли реконструкцію (турбіни + генератори) або знаходяться в реконструкції, проведеної виробником вихідного обладнання, і не входять в обсяг цієї роботи.



## Основні характеристики діючих агрегатів

У наступній таблиці описуються основні характеристики діючих гідроагрегатів:

Таблиця 2 - Характеристики діючих гідроагрегатів

<b>Основні характеристики діючих гідроагрегатів Канівської ГЕС</b>	
<b>ЗАГАЛЬНІ</b>	
Тип і компоновка агрегатів	горизонтальний капсульний
Кількість агрегатів	24
Кількість реконструйованих агрегатів	7
Максимальний напір нетто, (м)	14,8
Розрахунковий напір нетто, (м)	7,2
Мінімальний напір нетто, (м)	4,7
Максимальна потужність турбіни, (кВт)	23 000
Проектна потужність турбіни, (кВт)	19 200
Витрата через турбіни при проектній потужності і розрахунковому напорі нетто, м <sup>3</sup> / с	320
Номінальна частота обертання (об / хв)	85,7
Напрямок обертання	За годинниковою стрілкою
Розгінна частота обертання при збереженні комбінаторної залежності (об / хв)	200
Розгінна частота обертання при роз'єднанні комбінаторної залежності (об / хв)	255
Чи можлива робота в режимі синхронного компенсатора?	Ні
Чи можлива робота в режимі «підвищеної витрати»?	Ні
Розворот «з нуля» для видачі напруги в мережу	Так

### Режими роботи

Всі агрегати на Канівській ГЕС використовуються тільки в генераторному режимі. Агрегати не розраховані на роботу в режимі синхронного компенсатора або режимі «підвищеної витрати».

Середня кількість годин роботи кожного агрегату при встановленій потужності - близько 3002 годин на рік, 8 годин на день.

Середня кількість пусків / зупинок агрегату на рік: 1460.

#### Загальна електрична схема

Загальну електричну схему Канівської ГЕС можна описати так:

1) Кожні чотири послідовно розташованих генератора підключені безпосередньо до загального підвищуючого трансформатора 3,15кВ / 110 кВ, утворюючи один блок. Такий трансформатор називається блоковим.

2) 24 капсульних агрегату об'єднані в 6 блоків по 4 агрегати кожен.

3) Шість блокових трансформаторів підключені до підстанції 110 кВ, обладнаної 8 вихідними лініями електропередачі.

4) Підстанція 110 кВ також підключена до прилеглої підстанції 330 кВ через два автотрансформатора 110 кВ / 330 кВ. Тут є дві вихідні лінії 330 кВ.

5) Кожен блоковий трансформатор підключений до підстанції 110 кВ через високовольтний (блоковий) вимикач. Зараз у кожного агрегату немає свого генераторного вимикача, тільки один блоковий вимикач, загальний для чотирьох агрегатів.



Рисунок 6 – Машинний зал (Блок)



## 1.2 Опис технічних вимог до модернізації блоків Канівської ГЕС

Система охолодження гідрогенераторів Канівської ГЕС призначена для відводу теплових втрат статора і ротора. В даних агрегатах застосовується система непрямого повітряно-водяного охолодження з замкнутим циклом вентиляції. Охолоджуючий повітря, що циркулює через статор і ротор відбирає тепло, яке виділяється в активних частинах в результаті втрат. Повітря нагрівається і спрямовується в повітряно-водяні охолоджувачі, де охолоджується холодною водою і далі направляється в статор і ротор. Циркуляцію повітря по замкнутому контуру при номінальному режимі роботи з номінальними параметрами забезпечують два вентилятори з електроприводом, кожен потужністю 115 кВт і напругою живлення 0,4 кВ. На відміну від генератора до модернізації де використовується тільки один вентилятор.

Кожен вентилятор, пускається від свого пристрою плавного пуску (УПП), тобто для двох вентиляторів передбачено два УПП.

Пристрій працює плавного пуску забезпечується від трансформатора 6,3 / 0,4 кВ, номінальною потужністю 500 кВА.

Для запобігання перетікання повітря при роботі одного електричного вентилятора і стоянці іншого, на вході повітря в вентилятори встановлюються автоматичні повітряні заслінки дискового типу з електроприводом.

Для забезпечення роботи системи охолодження одного гідрогенератора розглядаються два вентилятора MFLD 900.

Вентилятори повинні забезпечувати надійність і простоту експлуатації. Розміщення робочого колеса вентилятора безпосередньо на валу двигуна виключає необхідність періодичної центрування і балансування. Контроль вібрації виконується двома трикомпонентними датчиками, які встановлюються на корпусі двигуна в зонах підшипникових щитів. Застосування асинхронних двигунів з системою плавного пуску також підвищує надійність гідроагрегату. Застосовувані двигуни серійні, загальнопромислового виконання, доступні на ринку України.

Для модернізації системи охолодження гідрогенератора поставляються:

- два повітроохолоджувача (опис по п.2.3);
- осьової двоступеневий компресор з електроприводом 6,3 кВ (опис в додатку 2)
- шафа управління компресором (опис в додатку 1).

Місце установки шафи управління компресором в безпосередній близькості до входу в прохідну колону агрегату на позначці 77,7 м.

Задачі модернізації системи охолодження.

Система охолодження генератора з аксіальної схеми вентиляції включаючи аварійні режими роботи:

- повинна забезпечувати відведення тепла активних частин до 680 кВт;

- розрахункові значення температур активних частин не повинно перевищувати гранично допустимих значень за ГОСТ 5616-89 для класу ізоляції Р, при максимальній температурі охолоджуючої води на вході в повітроохолоджувачі  $30^{\circ}\text{C}$ ;

- при відключенні одного вентилятора, забезпечується робота гідрогенератора 60 хвилин з номінальними параметрами, при максимальній температурі охолоджуючої води на вході в повітроохолоджувачі  $30^{\circ}\text{C}$ , з температурами активних частин, що не повинно перевищувати гранично допустимих значень для класу ізоляції Р по ГОСТ 5616-89.

- при відключенні всіх вентиляторів забезпечується робота гідрогенератора 30 хвилин з номінальними параметрами, при максимальній температурі охолоджуючої води на вході в повітроохолоджувачі  $30^{\circ}\text{C}$ , з температурами активних частин, що не повинно перевищувати гранично допустимих значень для класу ізоляції Р по ГОСТ 5616-89.

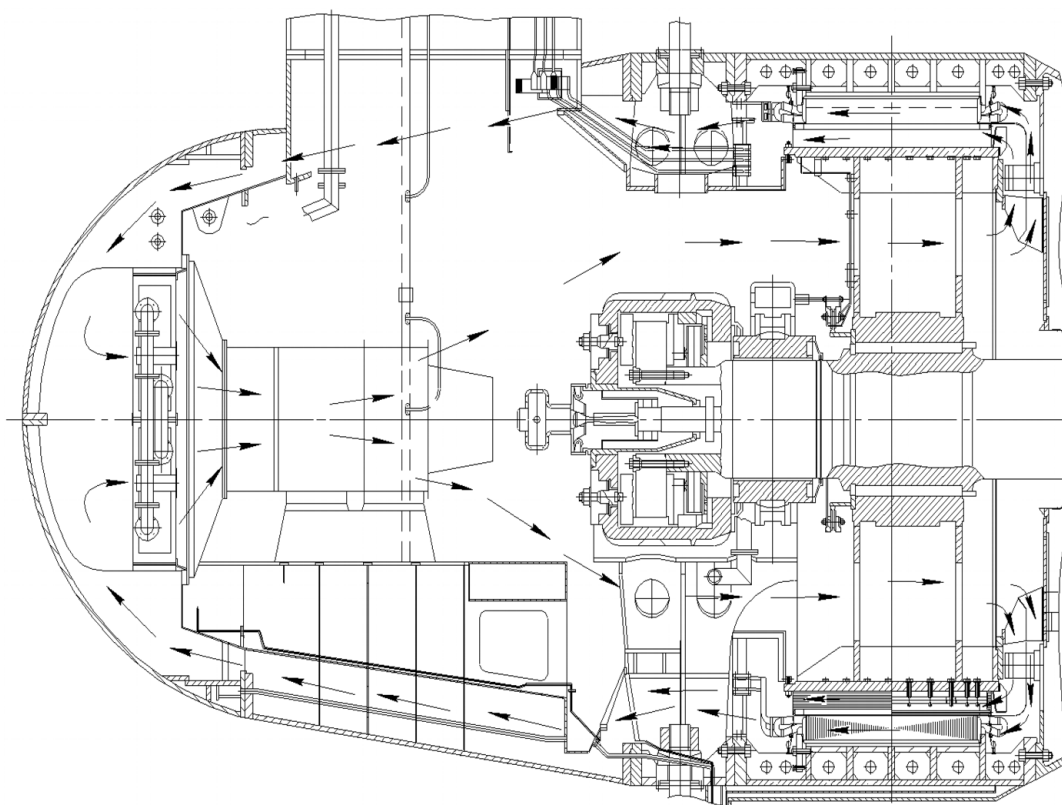


Рисунок 7 - Схема вентиляції модернізованого капсульного гідрогенератора

## 2 ПАТЕНТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Патентний пошук

Об'єктом дослідження є система вентиляції та охолодження капсульного гідрогенератора.

Мета патентного пошуку у відстеженні розвитку і пошуку нових рішень в системах вентиляції і охолодження капсульних гідрогенераторів.

Патентний пошук проводився вручну по декільком найбільшим світовим патентним базам таких як United States Patent and Trade Mark Office (USPTO) (патентна база США); Patentscope (Пошукова система Всесвітньої Організації Інтелектуальної Власності (ВОІВ), ЕРО-Espacenet (Європейське патентне відомство), ФПС (Федеральний інститут промислової власності). Дослідження здійснювалося в наступній послідовності: пошук і відбір патентної та науково-технічної інформації, що відноситься до теми дипломного проекту; систематизацію та аналіз відібраної інформації; підготовку рефератів (висновків); складання самого звіту про патентні дослідження.

Проведене дослідження дозволяє оцінити хронологію винаходів, направлення технічного розвитку виділяючи основні типи і доопрацювання систем вентиляції та охолодження капсульних гідрогенераторів на глибину 50 років. Даною глибини пошуку (ретроспективності) досить для встановлення тенденції розвитку систем охолодження даного виду генераторів.

У дослідженні наведені 17 характерних патентів таких країн як СРСР, США, Китай та Росії. В цілому представлено 28 схем, звіт по патентному пошуку складається з 21 сторінки. Результати патентного пошуку оформлено у вигляді звіту про пошук згідно ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти в сфері науки і техніки» [14].

Результати роботи можуть застосовуватися для визначення прототипу, оцінки сьогоденних та бази для нових винаходів або корисних моделей та задля перевірки унікальності роботи і її наукової новизни, а також для визначення інших сфер застосування нового продукту.

Областю застосування даного дослідження може бути будь-який капсульний гідрогенератор.

### Авторське свідоцтво СРСР №240084 (1962 р.)

В авторському свідоцтві СРСР №240084 [16] описується винахід, що стосується охолодження капсульного гідрогенератора.

Потужність відомих капсульних гідрогенераторів обмежена, так як існуючі системи повітряного охолодження, що застосовуються в генераторах цього типу, не дозволяють інтенсифікувати їх охолодження. Застосування стисненого повітря для охолодження ускладнює конструкцію капсульного гідрогенератора і знижує його експлуатаційні якості.

Відомо використання води в якості теплоносія для безпосереднього відведення тепла від стрижнів обмоток статора звичайних генераторів.

Предметом даного винаходу є застосування в горизонтальному капсульному гідрогенераторі охолодження обмоток статора, ротора і демпферної системи рідиною, що протікає по порожнистим провідникам обмоток, що підвищує потужність і зменшує габарити генератора цього типу. Для охолодження сердечника проточною рідиною в спинці статора капсульного гідрогенератора може бути розташована система трубок.

Допоміжні елементи рідинної системи охолодження (наприклад насос, фільтр і ін.) Можуть бути розміщені всередині капсули зазначеного гідрогенератора.

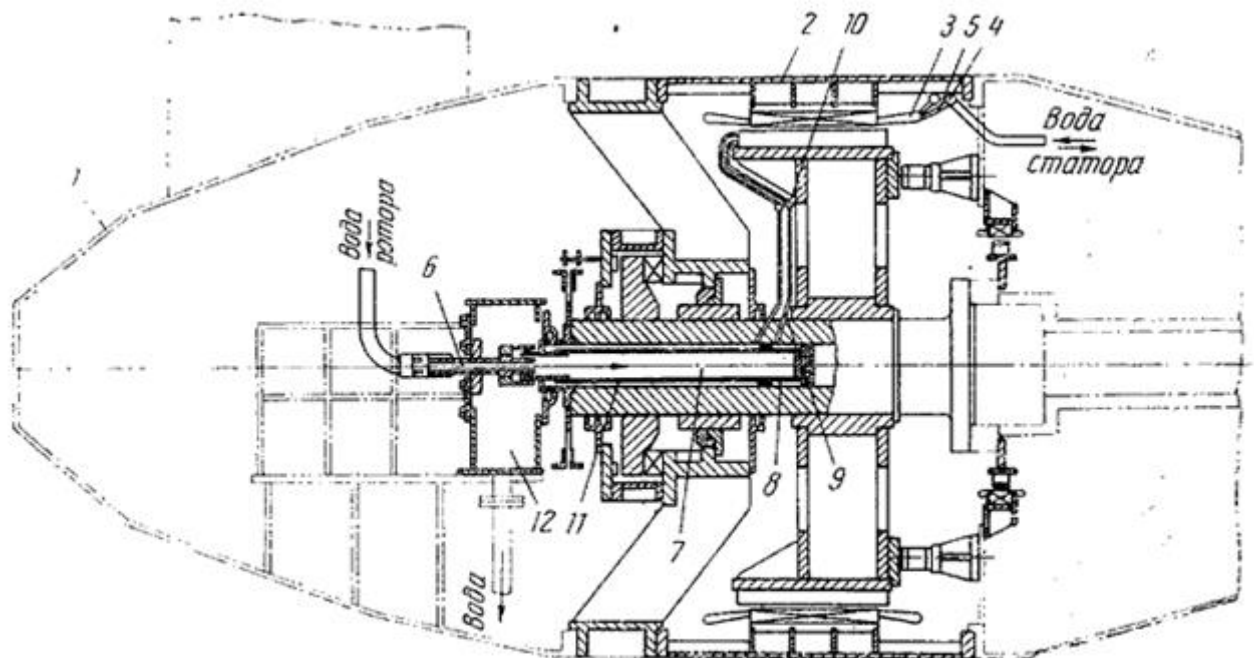


Рисунок 8 – Схема підведення води в генераторі

### Авторське свідоцтво СРСР №1552298 (1974 р.)

В авторському свідоцтві СРСР №1552298 [17] описується винахід який відноситься до електромашинобудування. У середині корпусу капсульного гідрогенератора встановлені кільцеві колектори 1 і 2. Схема охолодження містить насос 3, теплообмінник 4, напірний колектор 5 і зливний колектор 6. Обмотка статора 7 і обмотка ротора 8 мають водяне охолодження. На внутрішніх стінках капсули розміщені короба 9 і 10. Циркуючи в коробах, вода нагріває поверхню контакту з повітрям.

Внаслідок рівності температур води і повітря в капсулі виключається конденсація вологи, що підвищує надійність роботи гідрогенератора.

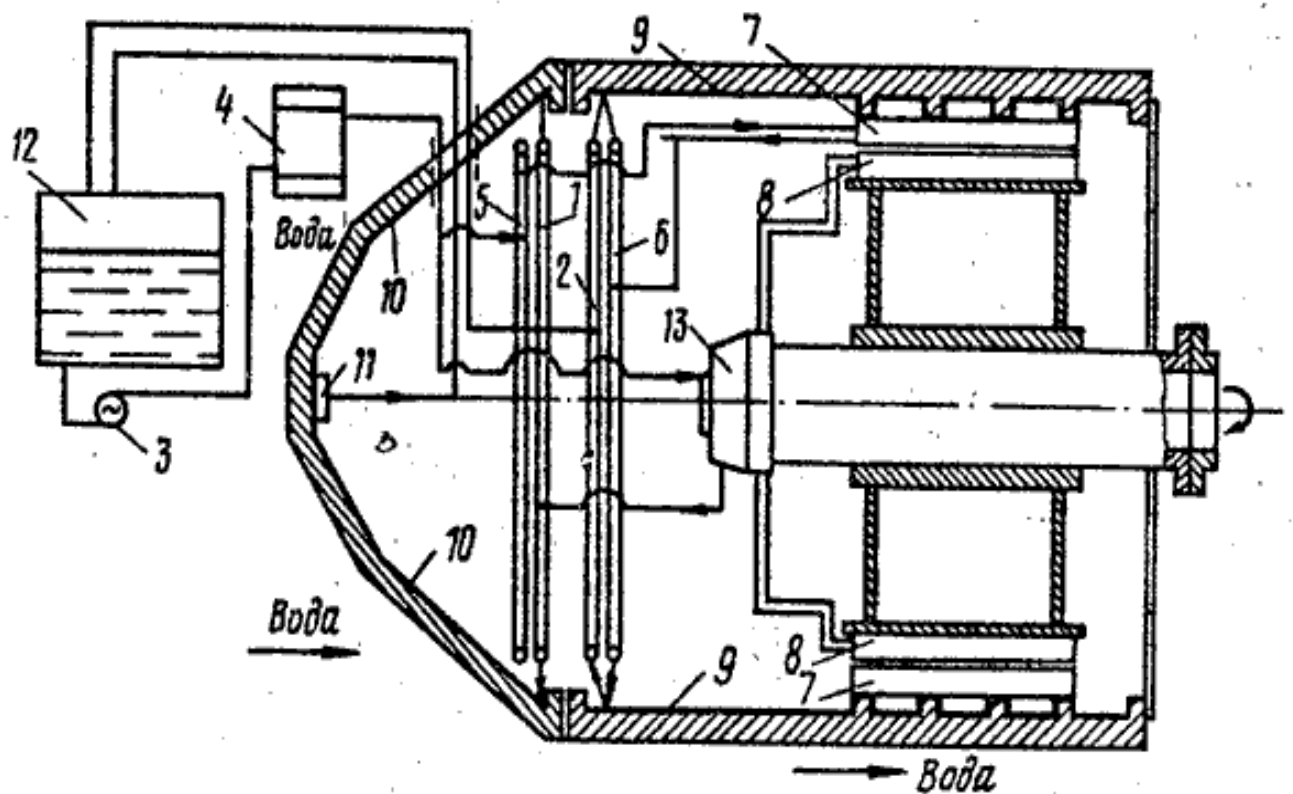


Рисунок 9 – Схема охолодження

### Патент США №3936681 (1976 р.)

У патенті США №3936681 [18] передбачено пристрій для охолодження капсульного гідрогенератора, який знаходиться безпосередньо в корпусі гідрогенератора, в якому циркулює охолоджуюча рідина для охолодження генератора.

Охолоджувальний пристрій включає «капот», який покриває торцеву поверхню генератора і утворює деяку частину його корпусу. Зовнішня поверхня «капота» піддається впливу турбінної проточної води, а внутрішньою поверхнею «капот» відводить тепло від охолоджувальної рідини для повторного охолодження холодоагенту (повітря) в гідрогенераторів. Передбачено безліч охолоджуючих ребер, і кожне з ребер має дві кільцеві частини, зігнуті один до одного, щоб дати ребру гачкоподібне форму. Кожне ребро закріплено до внутрішньої поверхні «капота» одним кінцем. Ребра тонкі щодо ширини каналу.

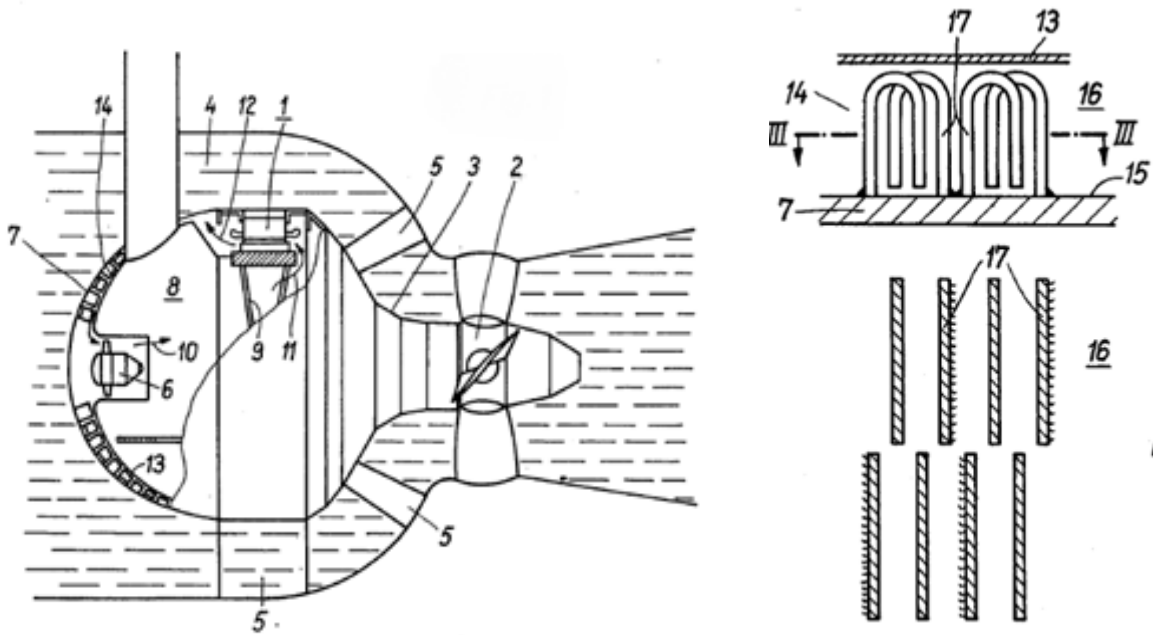


Рисунок 10 – Схема проточної частини з генератором (зліва) і ребра «капота» (праворуч)

Патент США №4308464 (1981 р.)

У патенті США №4308464 [19] показаний турбінний генератор капсульного типу, в якому верхні і нижні опори містять верхні і нижні масляні баки. Верхній масляний бак з'єднаний з частиною підшипника валу, що обертається генератора через масляний канал, а нижній резервуар з'єднаний з несучою частиною. Масляні канали розташовані всередині зовнішнього корпусу, так що проходить через нього масло охолоджується потоком рідини. Зовнішній кожух разом з верхнім і нижнім лонжеронами розділені для полегшення транспортування і установки.

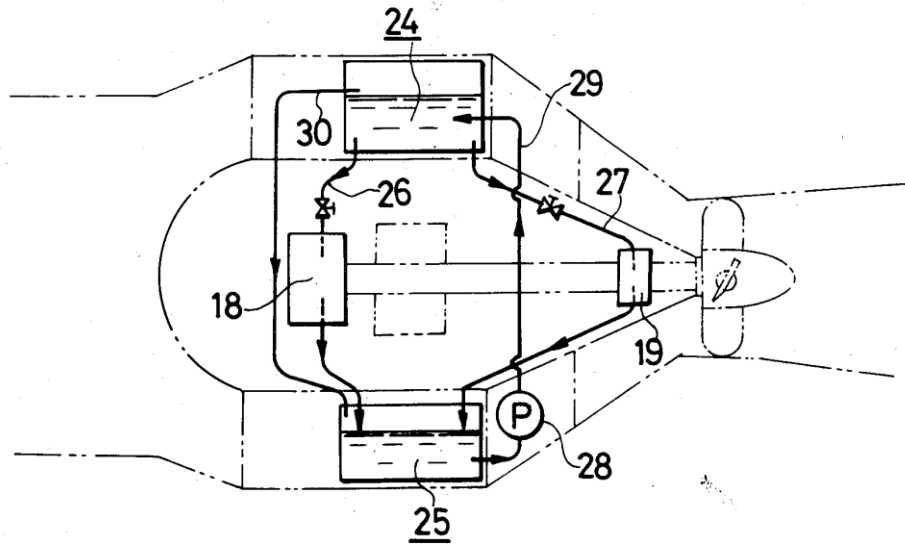


Рисунок 11 – Схема системи охолодження масла (вид збоку)

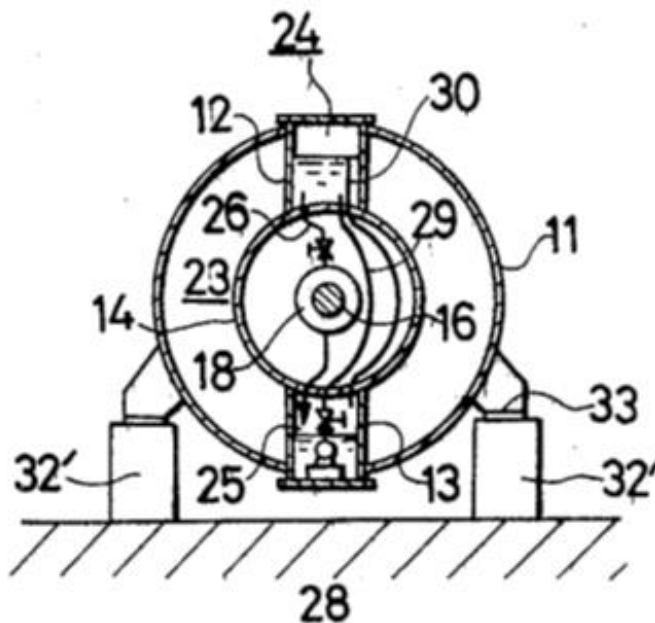


Рисунок 12 – Схема охолодження масла (вид спереду)

### Авторське свідоцтво СРСР №1152295 (1983 р.)

В авторському свідоцтві СРСР №1152295 [20] описується полюс погрузної електричної машини з непрямим рідинним охолодженням

Винахід відноситься до електромашинобудування. Метою винаходу є поліпшення охолодження, підвищення надійності і довговічності. Полюс погрузної електричної машини складається з сердечника 1, закріпленого до основи 2. На сердечнику розміщені секціонованная обмотка 3, укладена в герметичний кожух 4 з немагнітного теплопровідного матеріалу. Між секціями розміщені порожнисті коробчаті елементи 5, відкриті з торців і закріплені в стінках кожуха 4. Полюс закріплюється в потоці охолоджуючої рідини, яка, проходячи усередині елементів, охолоджує обмотку, кожух і сердечник.

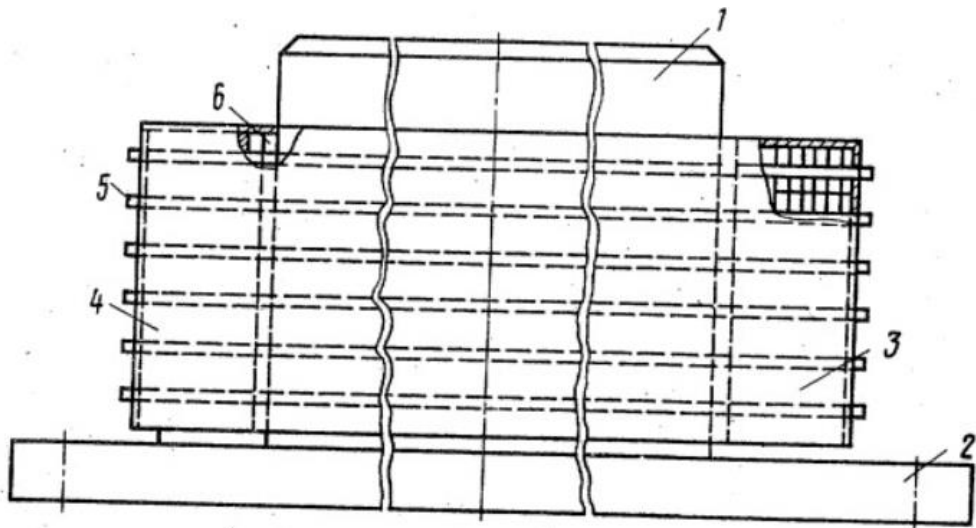


Рисунок 13 – Зовнішній вигляд полюса з сердечником і кожухом

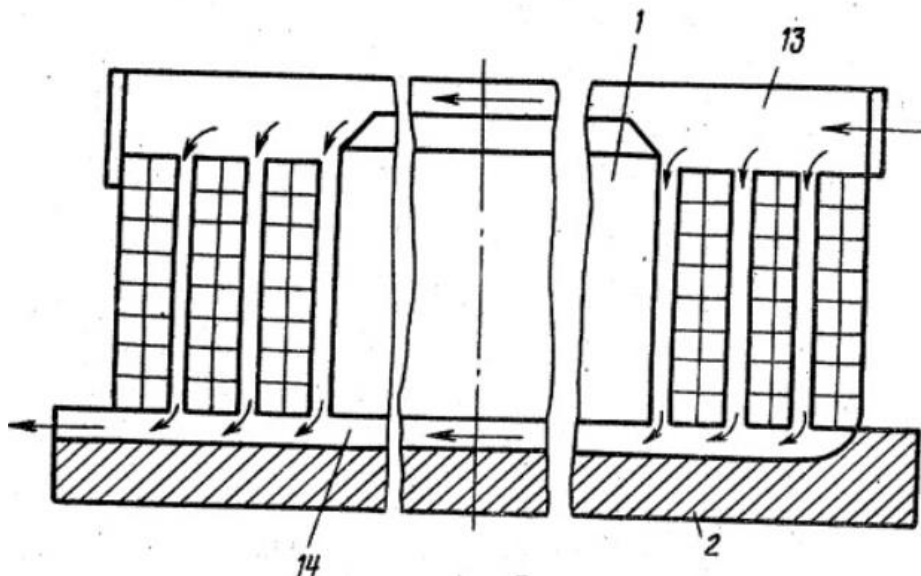


Рисунок 14 – Схема каналів води всередині полюса



### Патент США №4445046 (1984 р.)

У патенті США №4445046 [21] показаний гідрогенератор з високою потужністю, оснащений підшипником і зовнішнім охолодженням.

Передня частина (116) зануреної гідрогенераторної капсули містить генератор змінного струму (5, 19). Проміжна частина (114) містить підшипник (26), а задня частина має турбіну (122, яка виступає з неї). Проміжна частина має більший діаметр, ніж передня частина, і вони з'єднані між собою фланцем (2). Охолодження здійснюється за допомогою трубок (7), через які протікає охолоджуючий повітря, і один кінець з'єднаний з отворами через фланець (2).

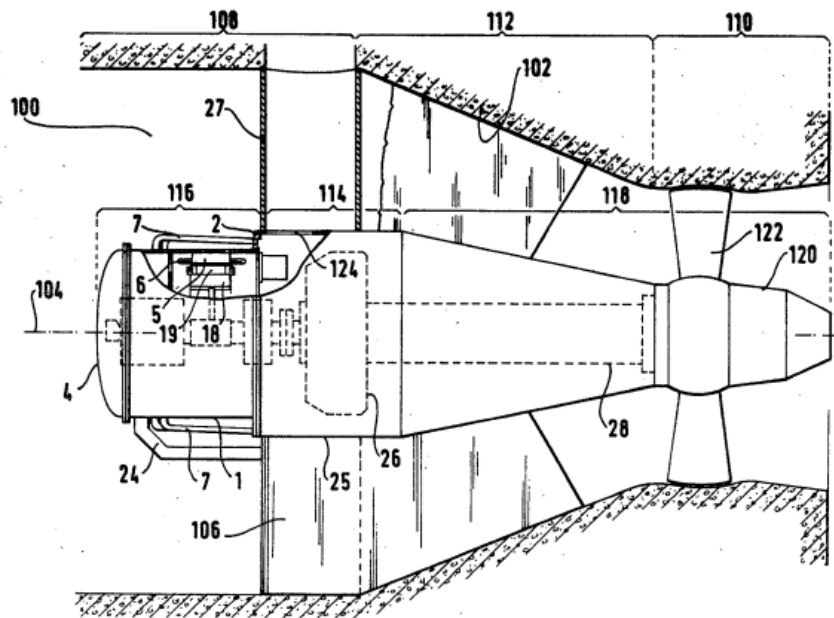


Рисунок 15 – Схема проточної частини ГЕС

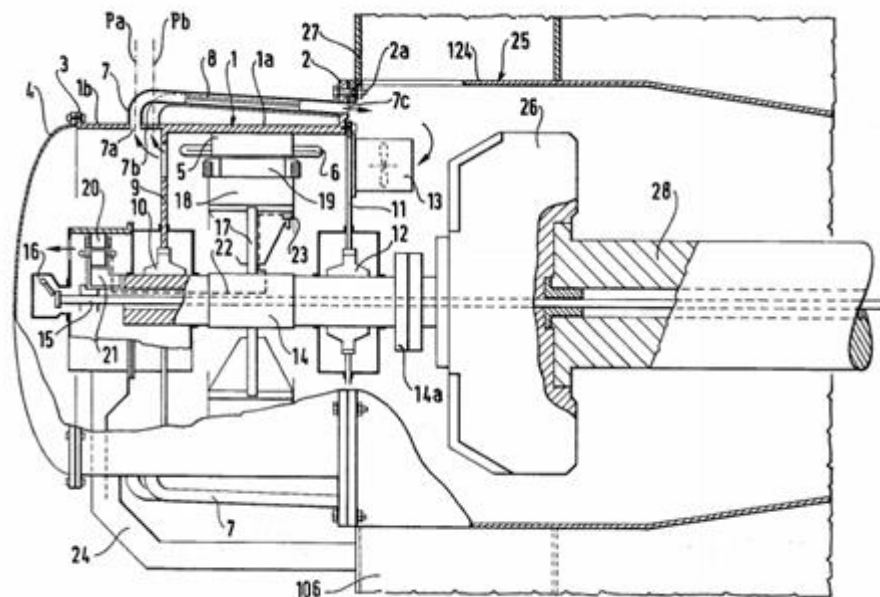


Рисунок 16 – Схема гідрогенератора

### Патент США №5333680 (1994 р.)

У патенті США №5333680 [22] показана система охолодження генератора, яка забезпечена контуром первинної охолоджуючої рідини, що містить первинний охолоджуючий агент для охолодження генератора, і контур вторинної охолоджуючої рідини, забезпечений вторинної охолоджуючої середовищем для охолодження контуру первинної охолоджуючої рідини в теплообміннику.

Вторинна охолоджуюча рідина охолоджується в радіаторах, утворених в стінці капсули. Система охолодження також має підшипник і турбіну і розташована в камері і оточена проточною водою.

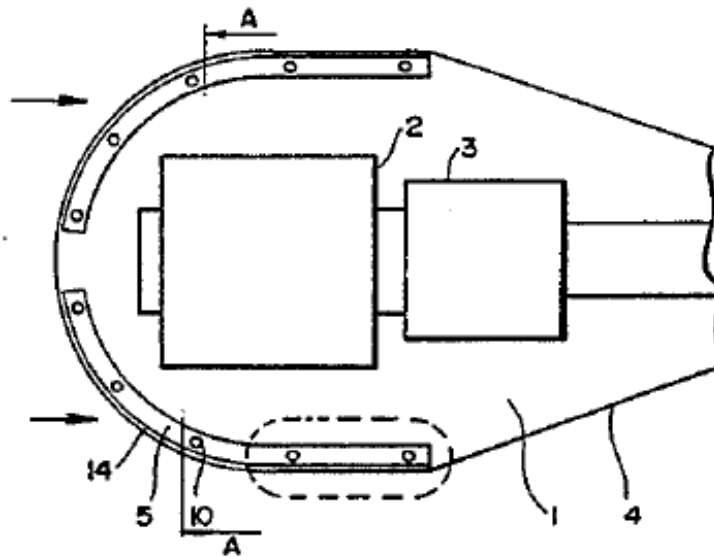


Рисунок 17 – Схема капсули.

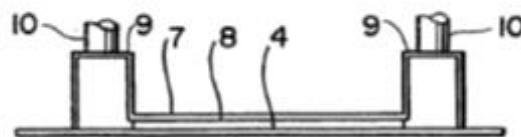
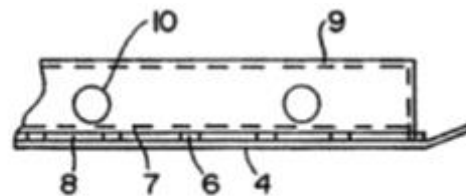


Рисунок 18 – Схема другого контуру капсули.

### Патент США №5796191 (1998 р.)

У патенті США №5796191 [23] показано винахід, що покращує ефективність охолодження.

У генераторі капсульного типу обмотки багат шарове тіло (2) підвішено на кільце (1) за допомогою V-образних елементів (14). Кільце корпусу посилено V-подібними елементами. Повітряну або охолоджуючу воду можна направляти для охолодження в порожнині (18), виконані V-подібними елементами (14) і внутрішньою стінкою кільцевого кільця (1). Таким чином, частина втраченого тепла вже розсіюється по проточній воді при проходженні через холодну стінку корпусу, збільшену V-подібними елементами (14).

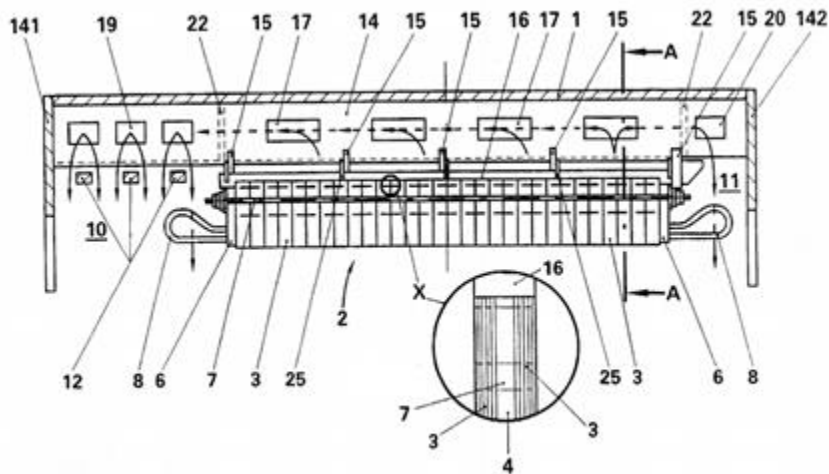


Рисунок 19 – Схема ротору і статору

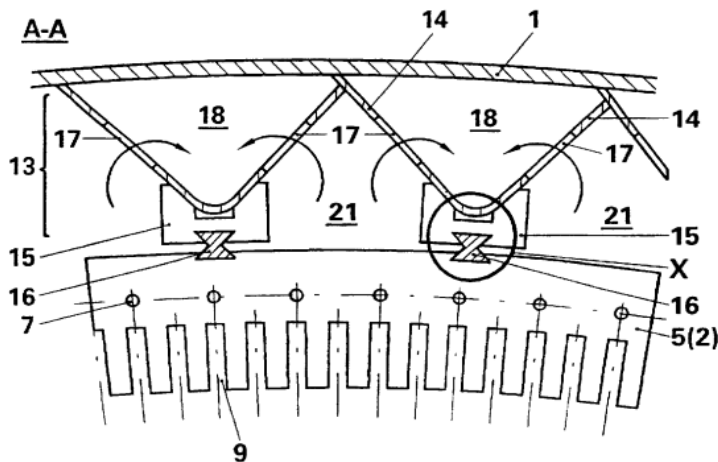


Рисунок 20 – Схема статорного кільця з V-подібними елементами

### Патент США №6028380 (2000 р.)

У патенті США №6028380 [24] капсульний генератор містить корпус, розташований в потоці води з можливістю проходження турбінної води вздовж і по напрямку до турбіни, засіб для видалення надлишкового тепла, що генерується в процесі роботи генератора, виконане у вигляді елементів, проточних каналів для охолоджувача і / або нагрітого генераторного повітря.

Технічний результат полягає в незалежності охолоджуючої системи від якості річкової або турбінної води і змісті елементів, які не є дорогими у виготовленні і збірці. Система складається з штампованих елементів, які або містять канали, або при складанні утворюють канали для циркулюючого охолоджувача, зокрема циркулюючого повітря, або будь-якого іншого відповідного охолоджувача. Зовнішня поверхня цих елементів звернена до оточуючої турбінної води.

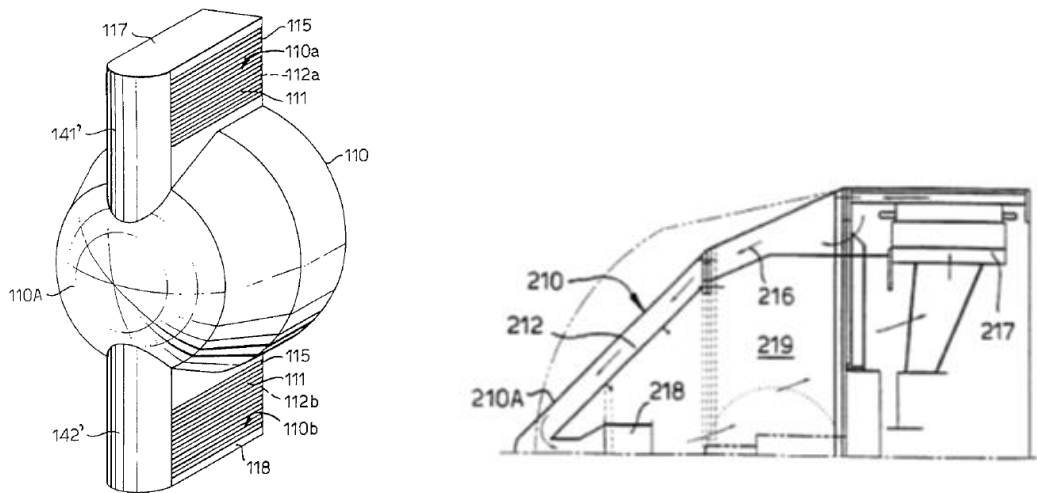


Рисунок 21 – Загальний вигляд капсули і внутрішній контур

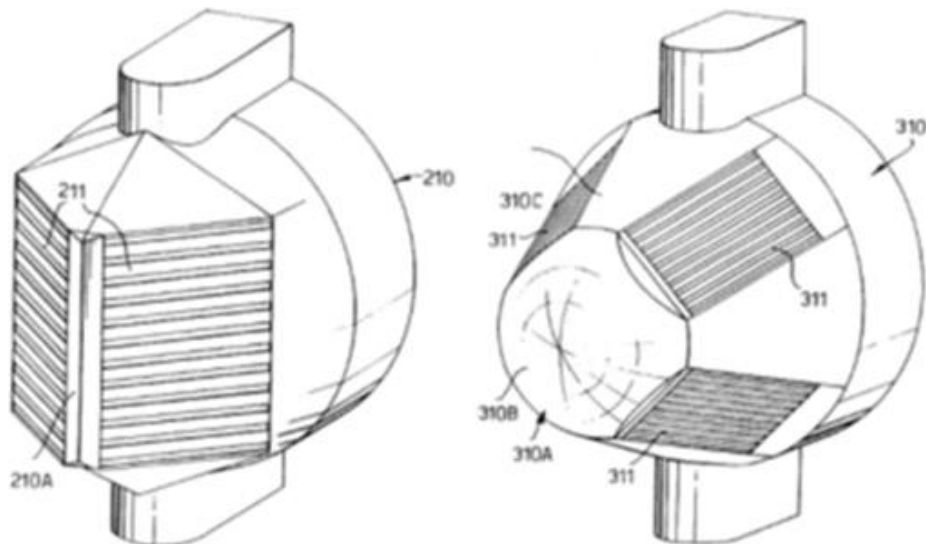


Рисунок 22 – Розташування проточних каналів на капсулі

### Патент Європейського патентного відомства №1318299 (2003 р.)

У патенті Європейського патентного відомства №1318299 [25] показується нова система відводу тепла в капсульному гідрогенераторів.

Звичайні капсульні гідрогенераторної установки як правило забезпечують зовнішню систему охолодження, наприклад, внутрішня система циркуляції повітря в поєднанні з зовнішнім теплообмінником для розсіювання тепла, що генерується електричними втратами в генераторної і обмотці збудження. Однак ці системи охолодження є дорогими.

Даний винахід описує блок (1) капсульного турбінного генератора, який уникає вищезазначених недоліків з використанням синхронного генератора (3) з постійним магнітним збудженням, які мають постійні магнітні полюси (13), які розташовані на роторі (12) генератора і шляхом охолодження генератора (3) тільки потоком робочого середовища турбіни шляхом передачі тепла від зовнішньої поверхні капсули (4) до середовища.

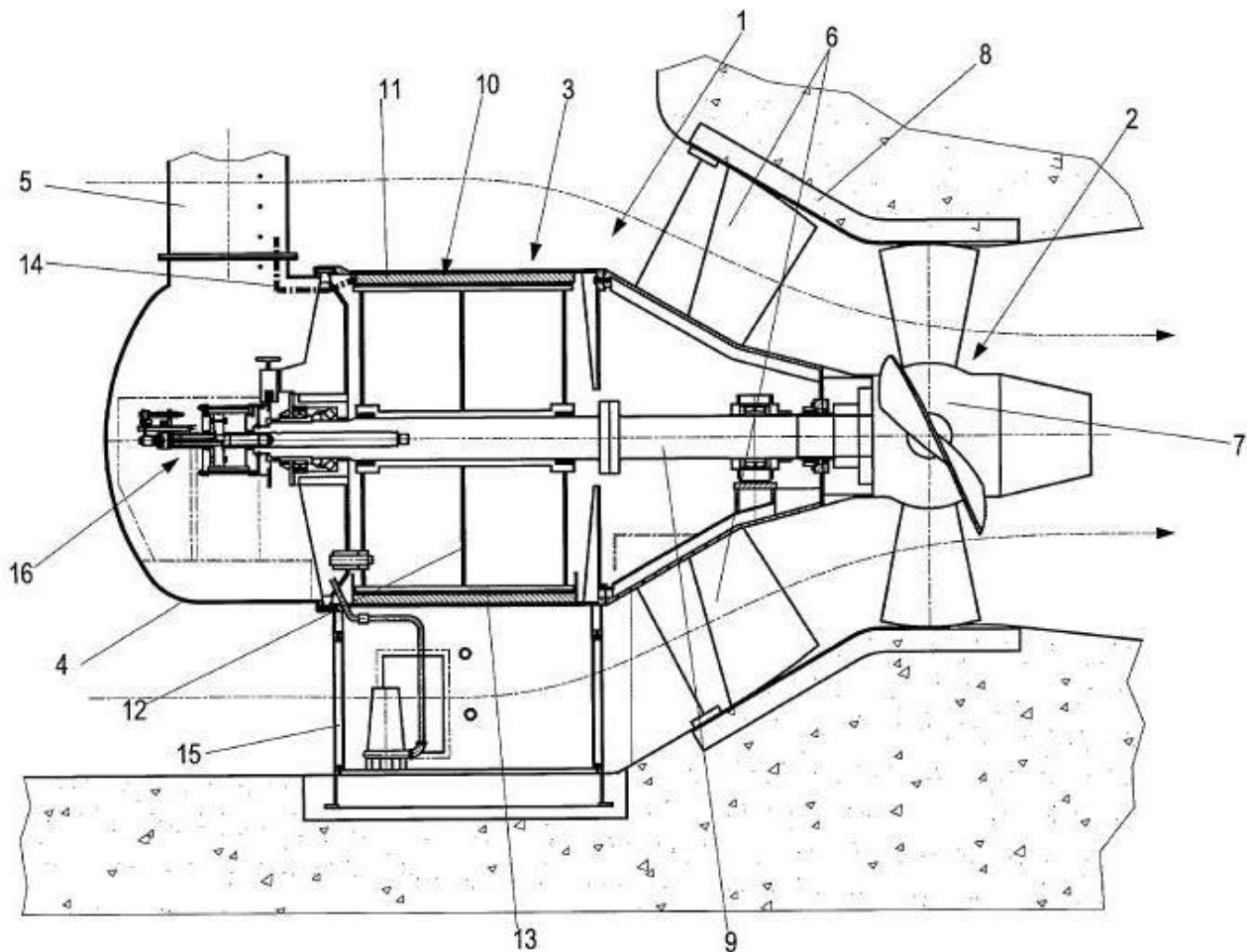


Рисунок 23 – Загальна схема капсульного гідрогенератора

### Патент Російської Федерації №2285321 (2004 р.)

У патенті Російської Федерації №2285321 [26] пропонується винахід відноситься до області електротехніки і великого електромашинобудування, а саме - до горизонтальних капсульної гідрогенераторів з повітряним охолодженням їх активної зони - обмоток статора і ротора сердечників. Суть винаходу полягає в наступному. Система повітряного охолодження горизонтального капсульного гідрогенератора є аксіально-радіальний вентиляційний тракт, що включає сердечник статора (1) з пакетів з вентиляційними каналами (2) між ними. Корпус статора складається з фланців (3, 4) і обшивки (5). Для забезпечення розрахункової жорсткості в корпусі статора передбачені кільцеві полки (6) з ребрами (7) між ними. У полках (6) виконані отвори 8 зі зростаючою прохідним перетином в сторону виходу повітря в напрямку відвідного дифузора, утвореного елементами (9, 10, 11, 12). Остов ротора (13) складається з обода (14), дисків (15, 16) з вікнами (17) і втулки (18) і посаджений на вал (19). У фланцях проміжного кільця головної частини (20) виконані наскрізні отвори (21) для проходу гарячого повітря в бік повітроохолоджувачів (22). У зоні фланця (4) розміщена кільцева обичайка (23) і щиток (24). Позицією (25) позначений жорсткий кільцевої диск, позицією (26) - напірно-вентиляційний агрегат. На зовнішньому діаметрі остова ротора встановлені полюса (27), в проміжках між якими в кільцевому ободі передбачені вентиляційні отвори (28).

Технічний результат - підвищення ефективності повітряного охолодження горизонтального капсульного гідрогенератора.

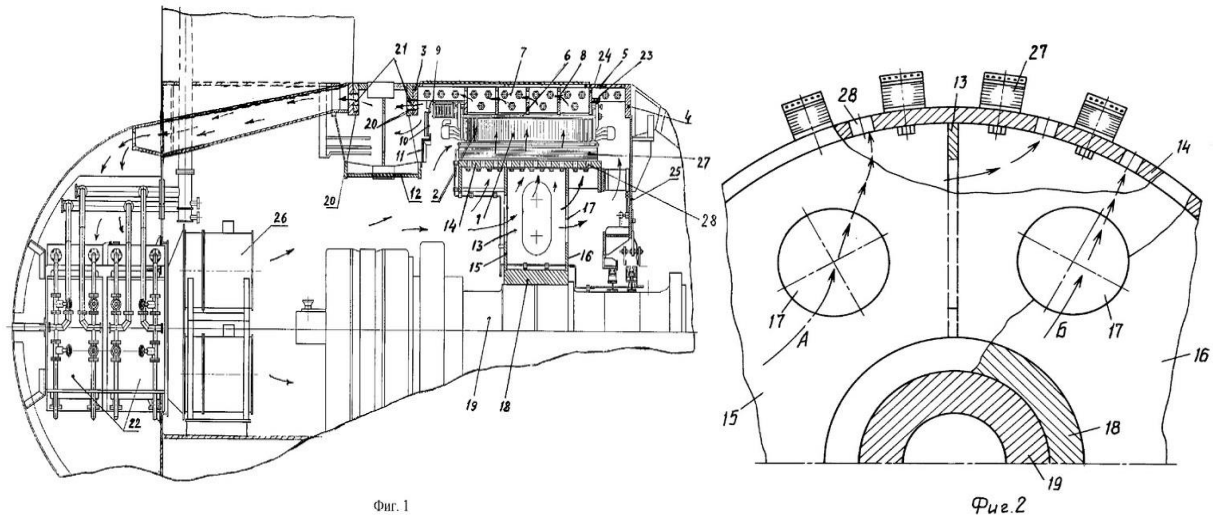


Рисунок 24 – Схема вентиляції в капсулі і роторі

Патенте США № 2011260458 (2011 р.)

У патенті США № 2011260458 [27] винахід відноситься до капсульних гідрогенераторів, який містить диск ротора турбіни; приводний вал, який є скручують, сполученим з диском ротора турбіни; електричний генератор з ротором генератора і статор генератора, причому ротор генератора приводиться в рух, щонайменше, через приводний вал; корпус трубчастої турбіни, який охоплює електричний генератор; підшипниковий вузол, який розташований всередині корпусу турбінної турбіни і дозволяє підтримувати приводний вал; відрізняється тим, що в корпусі трубчастої турбіни передбачено щонайменше один простір для заливки, яке заливається водою в області капсульного турбінного генератора, причому проміжок генератора між ротором генератора і статором генератора і зазор підшипника в збірці є частиною заливається простору.

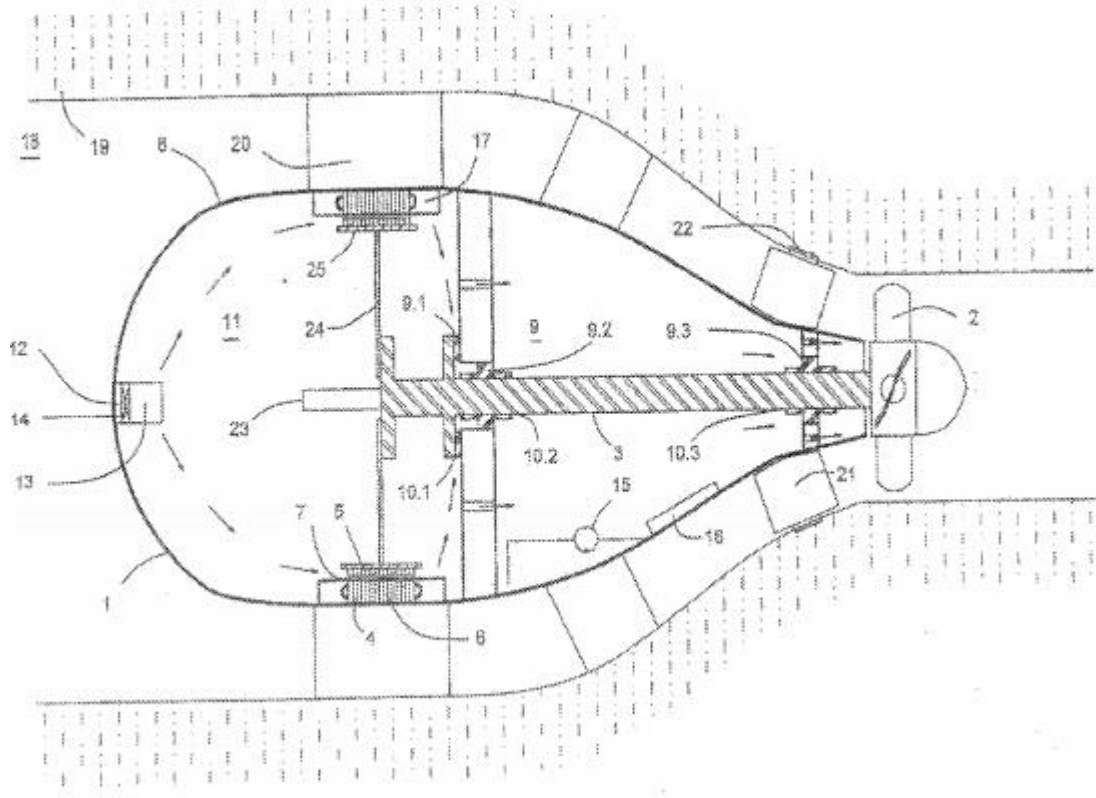


Рисунок 25 – Схема вентиляції

Патент США №2012025641 (2012 р.)

У патенті США №2012025641 [28] розглянута нова схема циркуляції повітря. В малообертальній електричній машині такої як гідрогенератор капсульного типу, циркуляція повітря для охолодження забезпечується вентиляторами із зовнішнім приводом. Охолоджувальний пристрій монтується на стороні тиску або всмоктування вентилятора, а ротор і статор встановлені з боку всмоктування вентилятора.

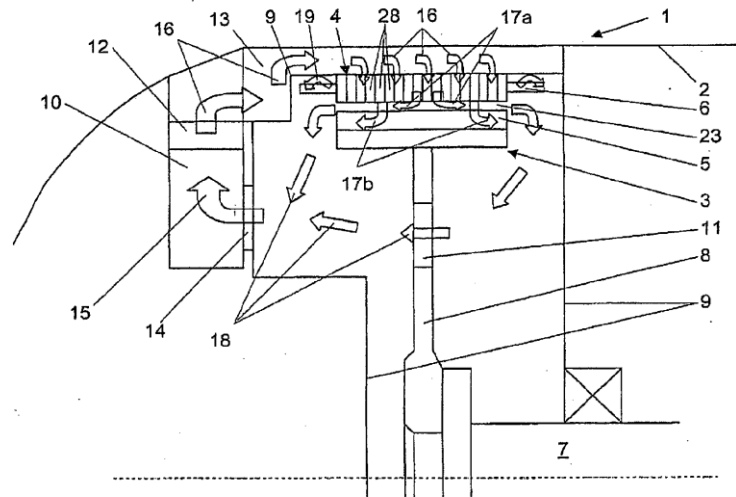


Рисунок 26 – Схема вентиляції в перерізі ротора

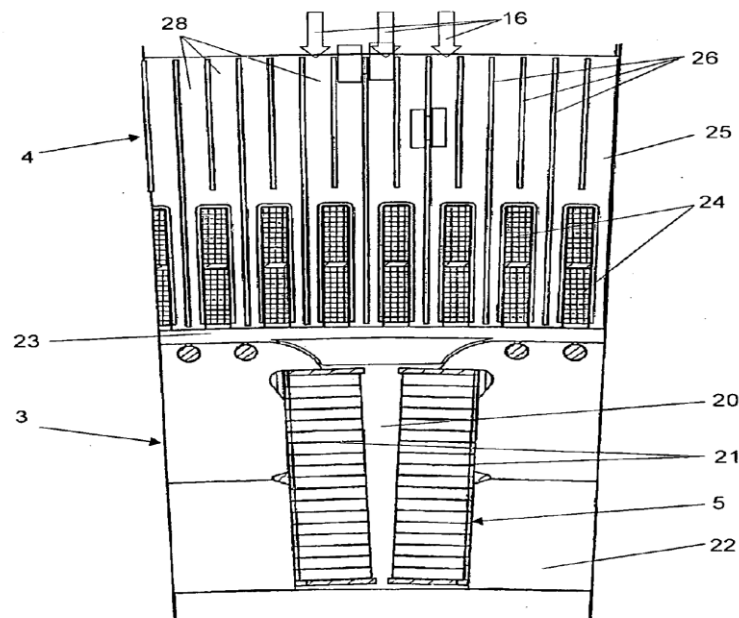


Fig. 2

Рисунок 27 – Схема вентиляції загальний вигляд і активні частини в розрізі



**Патент Китаю №203368236 (2013 р.)**

У патенті Китаю №203368236 [29] корисна модель відноситься до системи охолодження і вентиляції гідрогенератора і, зокрема, відноситься до охолоджувальної і вентиляційної структури гідрогенератора капсульного типу з використанням пластикового вітрового скла, армованого скловолокном.

Конструкція охолодження і вентиляції водяного турбінного типу включає в себе опору ротора, ротор, з'єднаний з опорою ротора, котушку статора, розташовану поза ротора, повітряний охолоджувач, розташований на зовнішній кінцевій частині, верхній вітрозахисний екран на стороні вище по потоку і нижній вітрозахисний екран на стороні нижче по потоку і відрізняється тим, що верхній вітрозахисний екран утворений шляхом з'єднання пластикового вітрозахисного екрану, армованого скловолокном, і пластини кріплення вентилятора, частина зовнішнього діам Етра верхньої вітрозахисної панелі виконана в конічній поверхні, і конічна поверхня в комплекті з ущільнювальними стрічками EPDM через теріленові втулки. Охолоджуюча та вентиляційна структура гідрогенератора модифікована для досягнення високої швидкості використання холодного повітря, підвищення ефективності теплового випромінювання, зниження втрат при вентиляції і підвищення загальної ефективності генератора.

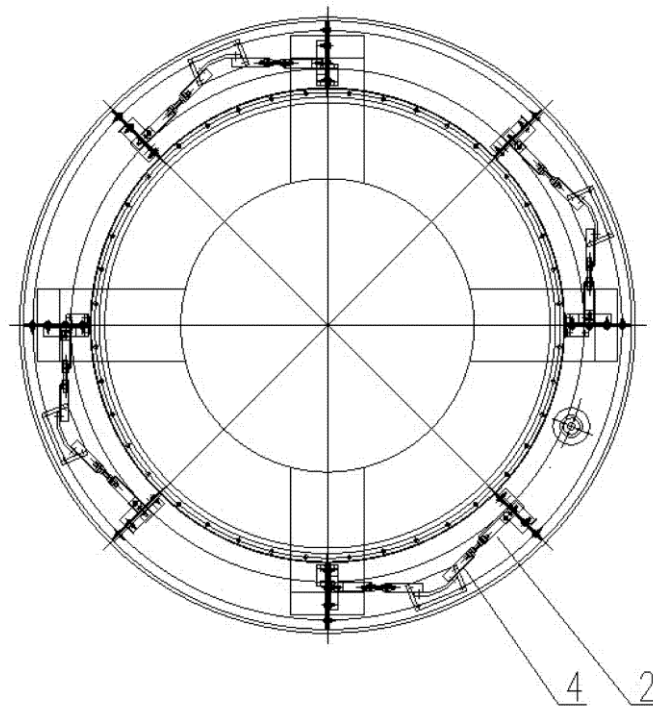


Рисунок 28 – Поперечний розріз корпусу статора

**Патент Китаю №204003043 (2014 р.)**

У патенті Китаю №204003043 [30], в корисній моделі описується енергозберігаюча система охолодження води капсульного генераторного агрегату і відноситься до технічної області дренажних систем гідроелектростанцій. Енергозберігаюча система охолоджуючої води в капсульному генераторі технічно характеризується тим, що система охолодження з енергозберігаючою системою включає в себе повітряний охолоджувач і масляний радіатор, в якому повітряний охолоджувач розташований в голові капсули генераторної установки, масляний радіатор розташований на бічному краю голови капсули, передня частина, протилежна потоку води, голови капсули забезпечена впускним отвором для води, що відкриває частину впускного отвору для води забезпечена фільтрує ґратами, вхід для води з'єднаний з впускним отвором системи подачі охолоджуючої води в повітроохолоджувач через водозабірну трубу, також впускна труба для води забезпечена фільтром; бокова стінка конічної хвостовій труби забезпечена конусоподібним впускним отвором для води, зверненим до напрямку потоку води. Випуск води системи охолодження охолоджуючої води повітряного охолоджувача з'єднаний з впускним отвором у формі конуса через дренажну трубу; кут конусообразного виходу води становить від 20 до 40 градусів.

Енергозберігаюча система охолодження охолоджуючої рідини в трубчастих генераторному агрегаті має просту конструкцію і високу ефективність, а обладнання просто підтримувати.

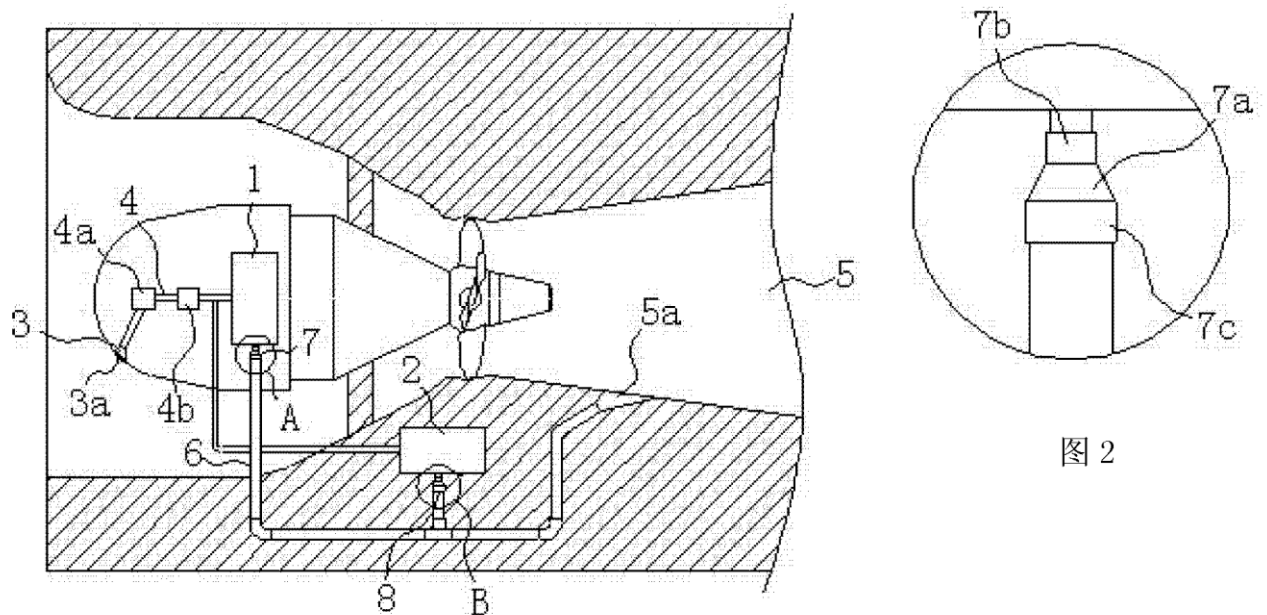


Рисунок 29 – Схема підведення і відведення води в капсулу

### Патенте Китаю №203387357 (2014 р.)

У патенті Китаю №203387357 [31] корисна модель відноситься до централізованої системи відкритої вентиляції та охолодження турбогенератора з проточним потоком. Централізована відкрита система вентиляції та охолодження відрізняється тим, що її головна частина капсули забезпечена верхнім фланцем голови капсули, що розділяє голову капсули в порожнину холодного повітря і порожнину гарячого повітря; передня стійка підстави статора забезпечена переднім вітровим склом, заднім вітровим склом заднього вітрового скла і заднім вітровим склом з гарячим повітрям, які ділять передню стійку на холодні і гарячі повітряні канали; і підстава статора внутрішньо забезпечено вертикальним вітровим склом і кронштейном ротора, які ділять внутрішню частину підстави статора на порожнину холодного повітря і порожнину гарячого повітря. Відповідно до корисної моделі повітряний охолоджувач і вентилятор, відповідно, розташовані в централізованому і уніфікованому режимі, тим самим ефективно оптимізуючи внутрішній простір капсули і додатково збільшуючи внутрішній простір; і холодне повітря і гаряче повітря комплекту, відповідно, об'єднані і зібрані, тим самим дозволяючи більш холодному тілу ефекту бути більш однорідним і більш розумним, дозволяючи збільшити внутрішній простір голови капсули, і задовольнити базові вимоги до простору для робітників, щоб увійти у внутрішню частину капсули і провести капітальний ремонт і обслуговування всередині. Централізована відкрита система вентиляції та охолодження, що забезпечується корисною моделлю, проста і ефективна за своєю структурою, зручна в установці і обслуговуванні, економічна у виробництві і обслуговуванні, а також безпечна і надійна в експлуатації.

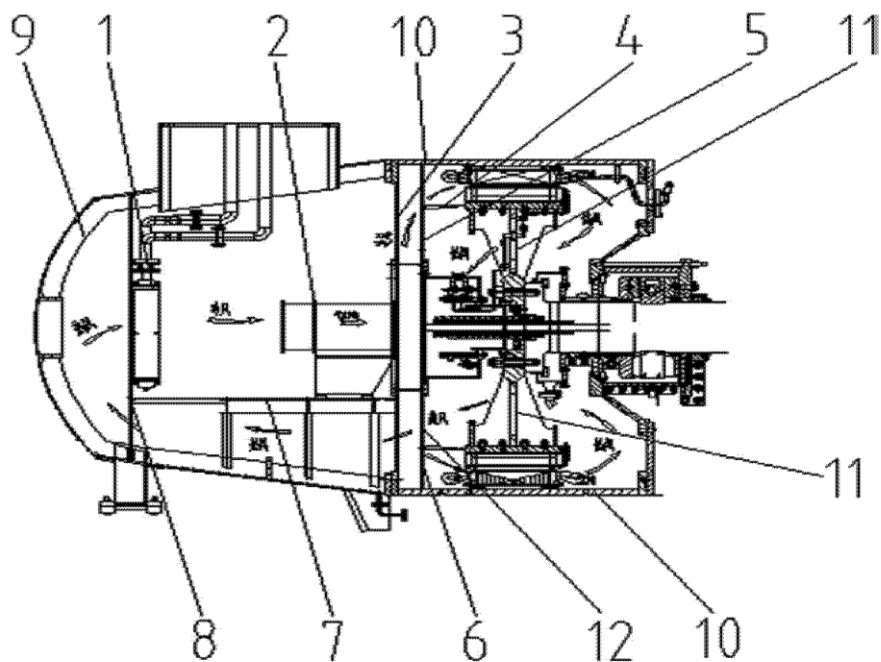


Рисунок 30 – Схема вентиляції

### Патент Російської Федерації №2309512 (2016 р.)

У патенті Російської Федерації №2309512 [32], суть винаходу полягає в наступному. Електрична машина, що включає корпус (1), розміщені в ньому охолоджувачі (5), (6) статора (2) і ротора (4), статор (2), що має в торцевих зонах сердечника радіальні канали (11), ротор (4), встановлений в статорі (2) з повітряним зазором, і має вентиляційні канали (13) з входами і виходами на різних радіусах обертання, вентилятори (7), розміщені по обидва боки бочки ротора, і камери (8).

Спосіб охолодження охарактеризованої вище електричної машини здійснюють наступним шляхом. Охолоджуючий повітря від охолоджувачів статора через камеру збору холодного повітря статора, організовану між охолоджувачами статора і зовнішньою поверхнею сердечника статора, і від охолоджувачів ротора направляють за допомогою напірних елементів, а саме вентиляторів, розміщених по обидва боки бочки ротора, і каналів ротора різними шляхами в канали ротора і сердечника статора, а підігрітий в цих каналах повітря направляють через камеру збору підігрітого повітря, організовану в зонах розташування лобових частин обмотки статора, на входи про хладітелей ротора і на входи вентиляторів і далі - на охолоджувачі статора, при цьому один шлях організують від охолоджувачів статора, з виходів яких охолоджуючий повітря направляють з боку зовнішньої поверхні сердечника статора в радіальні канали торцевої зони сердечника статора, інший шлях організують від охолоджувачів ротора, з виходів яких охолоджуючий повітря направляють в канали ротора. Ще один шлях, відповідно до винаходу, організують від охолоджувачів статора, з виходів яких охолоджуючий повітря направляють в канали натискних плит сердечника статора, при цьому охолодження обмотки статора і основного сердечника статора здійснюють водою, що циркулює в трубках охолоджувачів, які мають у своєму розпорядженні між пакетами основного сердечника статора.

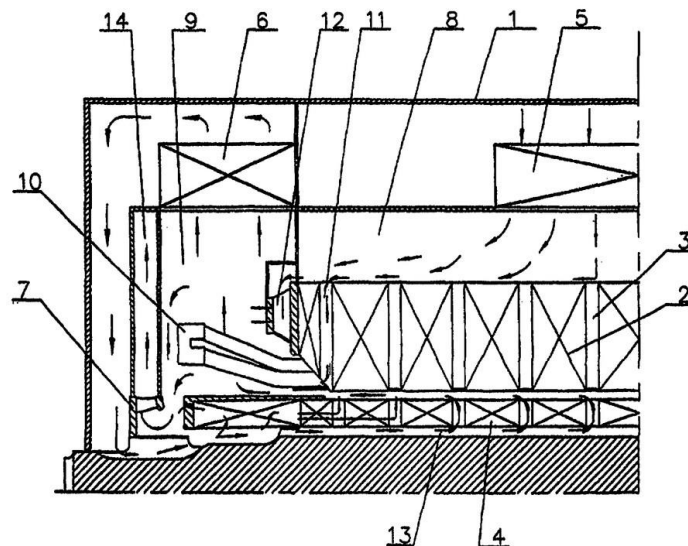


Рисунок 31 – Схема вентиляції активних частин

## 2.2 Діючі світові аналоги

Нижче наведено короткий огляд капсульних гідрогенераторів від світових виробників таких як General Electric і Andritz. На основі даних прикладів ми наочно можемо визначити як система охолодження є найбільш поширеною в капсульних гідрогенераторах.

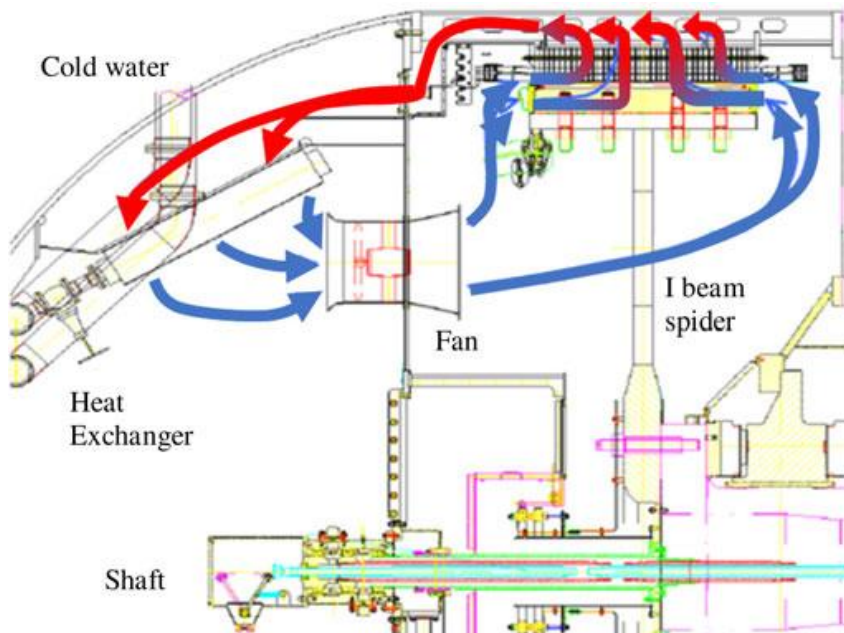


Рисунок 33 – Схема найбільш популярної схеми вентиляції сьогодні

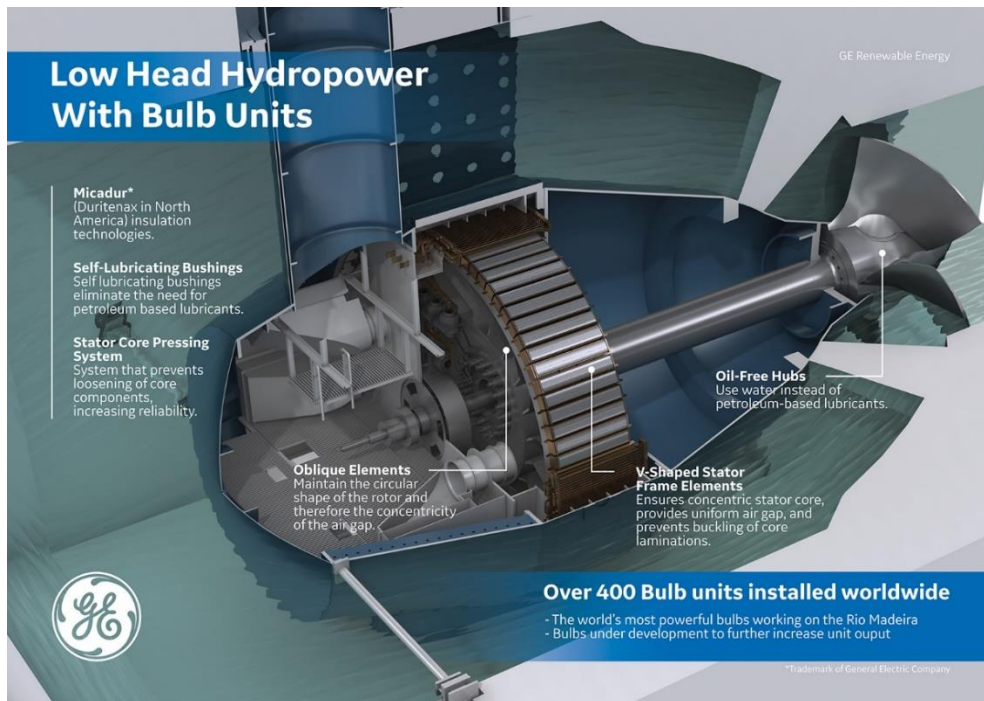


Рисунок 34 – Тривимірна модель виконання капсульного гідрогенератора від General Electric

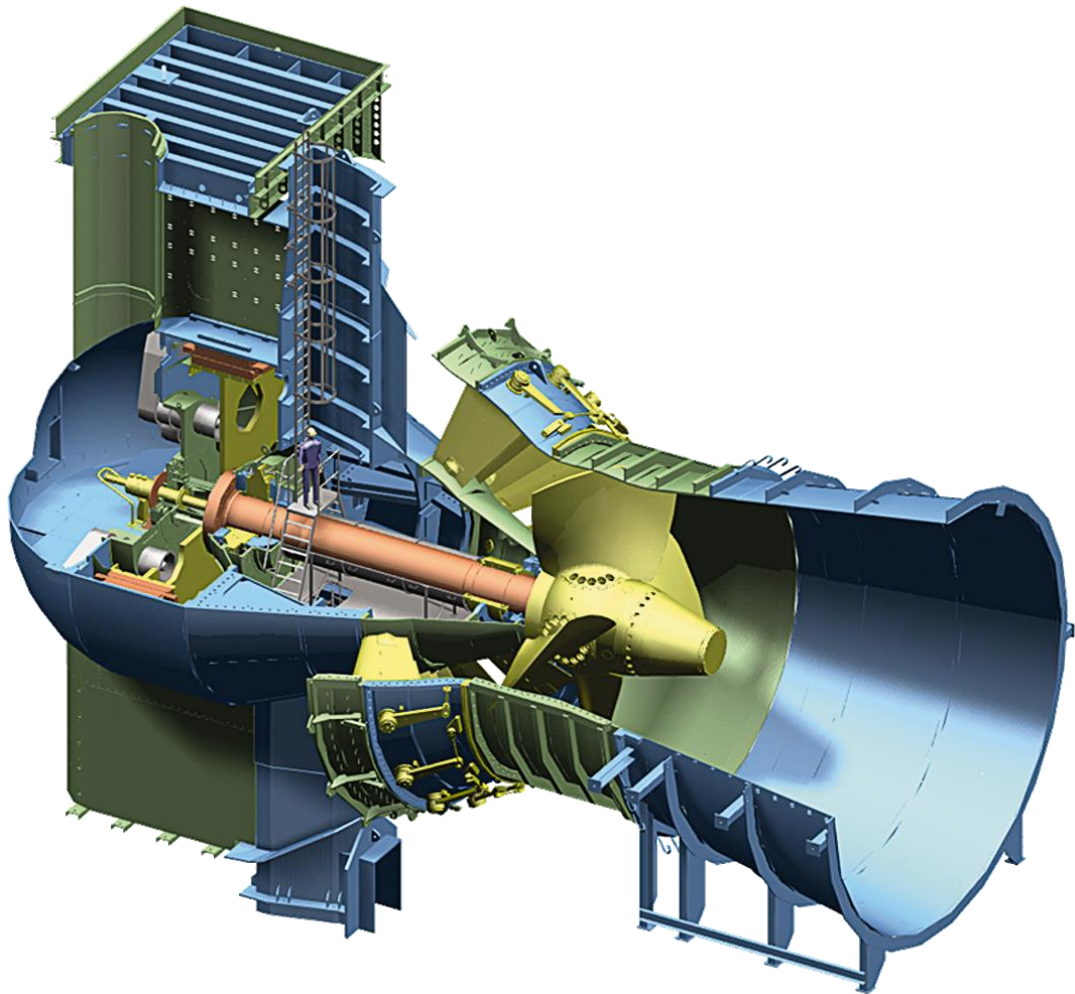


Рисунок 35 - Схематичне тривимірне зображення капсульного гідрогенератора для ГЕС «Iffezheim» (Німеччина) від Andritz

### 2.3 Висновок з патентного пошуку

В даному патентному дослідженні була проведена вибірка світових патентів більш ніж за 50 років в області систем охолодження і вентиляції капсульних гідрогенераторів.

Даний патентний пошук, дозволяє зрозуміти, що основний упор винаходів направлений на безпосереднє охолодження активних частин і на використання в якості тепловідводу воду, що протікає в проточному каналі ГЕС в якому знаходиться сам гідрогенератор. Багато винаходи спрямовані на альтернативні (супутні) способи використання водяного потоку проточної частини ГЕС.

На основі огляду нових капсульних гідрогенераторів від світових виробників можна відзначити, що в основі їх схеми вентиляції лежить схема вентиляції як в патенті США №2012025641 (с. 32).

Використання даних винаходів направлено в першу чергу на підвищення ККД і енергонезалежності самого гідроагрегату. Відведення тепла через капсулу дозволяє відмовитися від використання дорогої системи охолодження, що включає в себе потужні насоси і компресори для прокачування води і повітря. Однак варто зазначити, що у більшості представлених винаходів є істотний загальний недолік - складність виконання. Ймовірно, це є основною причиною того, що в більшості реальних капсульних гідроагрегатів використовуються більш прості технічні рішення і класичні схеми компонування.



### 3 ОСНОВНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок газоохолоджувача

##### 3.1.1 Тепловий розрахунок

Тепловий розрахунок та проект в цілому теплообмінного апарату для капсульного гідрогенератора Канівської ГЕС повністю відображено у попередній атестаційній роботі на здобуття академічної ступені бакалавра. Для збереження єдності всієї роботи стосовно проектування системи охолодження капсульного гідрогенератора у цьому розділі наведено короткий опис та результат попередньо проведеного теплового розрахунку теплообмінного апарату.

Був спроектований газоохолоджувач (вода/повітря) для гідрогенератора капсульного типу на основі вихідних вимог:

Трубки - алюміній, з мідним дротяним оребренням, стандарту «ВТИ-1»;	
Маса	не більше 2500 кг;
Габаритные размеры	не більше 600x2570x2590;
Температура газу на виході з охолоджувача	$t_{air} = 40^{\circ}\text{C}$ ;
Об'ємна витрата холодного газу	$Q_{air} = 28 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
Напір компресора	5500 Па;
Температура води на вході в охолоджувач	$t_{water} = 30^{\circ}\text{C}$ ;
Теплові втрати, які потрібно відвести	$P = 680 \text{ кВт}$ .

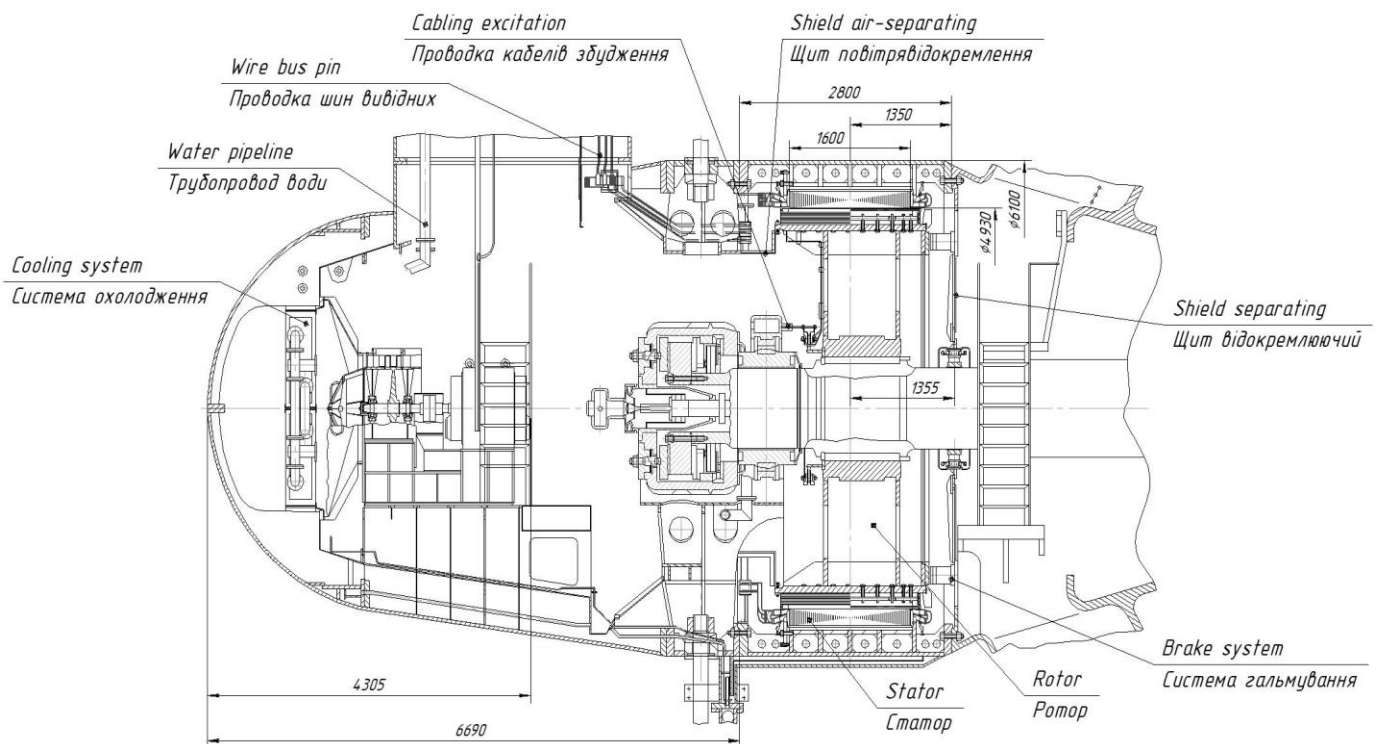


Рисунок 36 – Схема розрахункового капсульного гідрогенератора



Результати розрахунку приведено на окремому форматі в Додатку 1 – Результати розрахунку охолоджувача.

### 3.1.2 Гідравлічний розрахунок

Розрахунок було проведено для однієї секції охолоджувача, тому що вони ідентичні та секції прокачуються одночасно.

По ходу руху теплоносія (Рисунок 37) визначено кількість і тип місцевих втрат:

- 1) Поворот  $90^{\circ}$  (трійник);
- 2) Поворот  $90^{\circ}$ ;
- 3) Розширення на виході з колектору;
- 4) Вхід в трубний пучок (різке звуження);
- 5) Вихід з трубного пучка (різке розширення);
- 6) Поворот  $180^{\circ}$ ;
- 7) Вхід в трубний пучок (різке звуження);
- 8) Вихід з трубного пучка (різке розширення);
- 9) Поворот  $180^{\circ}$ ;
- 10) Вхід в трубний пучок (різке звуження);
- 11) Вихід з трубного пучка (різке розширення);
- 12) Поворот  $180^{\circ}$ ;
- 13) Вхід в трубний пучок (різке звуження);
- 14) Вихід з трубного пучка (різке розширення);
- 15) Звуження на вході в колектор;
- 16) Поворот  $90^{\circ}$ ;
- 17) Поворот  $90^{\circ}$  (трійник).

Таблиця 3 – Отримані результати гідравлічного розрахунку

Найменування	Величина
Газодинамічні втрати для повітря	1,024 кПа
Газодинамічні втрати для води	1,08 МПа
Потужність яка необхідна для прокачки води по теплообмінному апарату	63,3 кВт

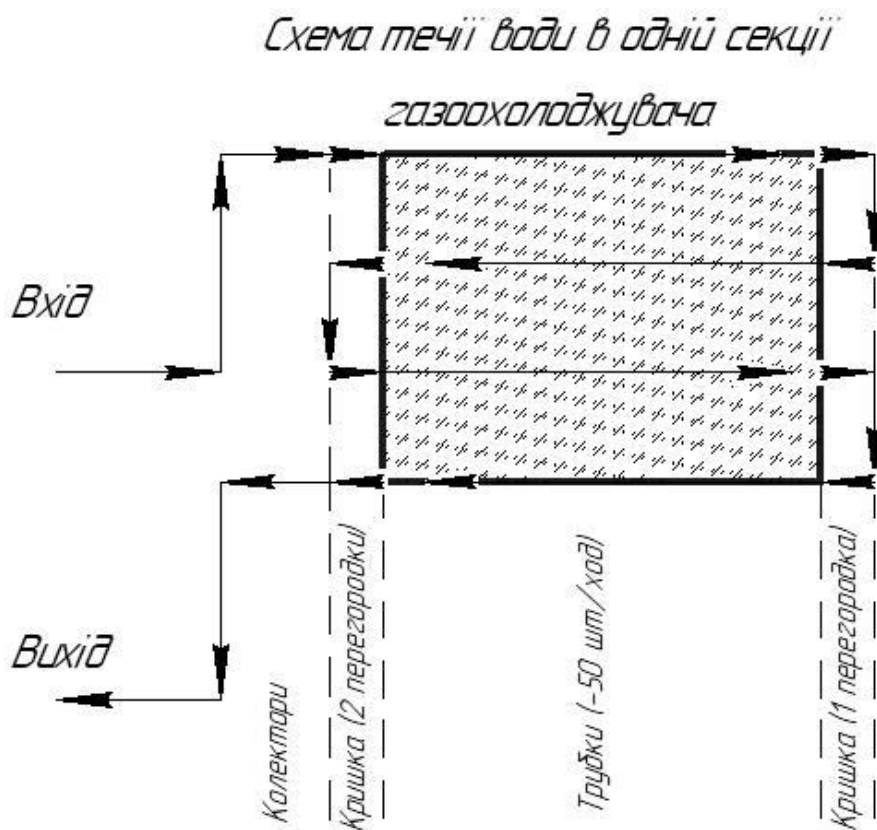


Рисунок 37 – Схема течії води в секції газоохолоджувача



Рисунок 38 – Спрощена модель спроектованого газоохолоджувача (розріз по відвідному каналу)

### 3.2 Розрахунок системи вентиляції

В даний час існує декілька методів визначення теплового стану електричних машин і, зокрема, гідрогенераторів:

1. Метод розгорнутих теплових (еквівалентних) схем;
2. Аналітичне рішення теплового стану;
3. Методи CFD (computational fluid dynamics) кінцевих елементів.

Базовим методом для верифікації нової розрахункової моделі обрано звичний та перевірений роками для даного типу гідрогенератору – метод розгорнутих теплових (еквівалентних) схем.

У зв'язку з появою потужних та доступних комп'ютерів методи розрахунку теплонапруженості різних систем активно розвиваються. Для визначення локальних гідродинамічних параметрів течії рідини з урахуванням турбулентності і вихрового характеру потоку в останні роки все частіше використовують чисельні методи на основі CFD моделей, зокрема метод кінцевих елементів, що реалізовується за допомогою CAE (Computer-aided engineering) технологій. При проектуванні та створенні нової для даного типу гідрогенераторів розрахункової моделі використовуються також сучасні методи математичного моделювання CFD. Провівши огляд літератури можна зробити висновок, що компанія Andritz і Alstom є на даний час флагманами у використанні сучасних методів розрахунку. Примітно, що частина вузлів, які в класиці виготовляються на підприємствах заводу виробника виконуються на станції. Дана обставина говорить про досить точних методиках розрахунку і моделювання, тому що велика кількість зварних з'єднань вимагає повсюдного обліку теплових і механічних навантажень.

У даній роботі в якості засобу моделювання використаний прикладний програмний пакет SolidWorks та зокрема його модуль для моделювання течії рідин та газів - Flow simulation. Flow simulation - програмне забезпечення, повністю інтегроване в SolidWorks для розрахунку рідинних і газових потоків всередині і зовні моделі SolidWorks, а також розраховує теплопередачу між цими моделями конвекцією, випромінюванням і теплопровідністю за допомогою технологій обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD). Flow Simulation моделює рух потоку, на основі рішення рівняння Нав'є-Стокса, яке являє інтерпретацією законів збереження маси, імпульсу і енергії для потоку рідини. Рівняння доповнені виразами стану рідини, які визначають природу рідини та емпіричними залежностями щільності, в'язкості та теплопровідності рідини від температури. Нестискувані неньютонівські рідини розглядаються по залежності їх динамічної в'язкості від швидкості деформації зсуву і температури, а стискувані рідини розглядаються по залежності їх щільності від тиску. Ще одна частина рівнянь відповідає за геометрію потоку, граничні і початкові умови.

Результати розрахунку методом кінцевих елементів представлені у вигляді полів векторів швидкостей течії рідини уздовж поверхонь. При цьому кожен вектор відповідає певному значенню швидкості. В цьому розділі приведено розрахунковий аналіз системи вентиляції в програмному комплексі SolidWorks доповненні Flow Simulation.

### 3.2.1 Розрахунок аксіальної системи вентиляції

#### 3.2.1.1 Тривимірний розрахунок

Вентиляційний розрахунок було проведено в тривимірній постановці засобами SolidWorks FlowSimulation.

Розрахункова схема заміщення і результати двох розрахунків представлені на рисунку 45 і таблиці 4 відповідно. На рисунку 8 наочно показано порівняння двох методик розрахунку за характерними перетинах.

Результати тривимірного розрахунку в характерних перерізах наведені на рисунках 39, 40, 41, 42.

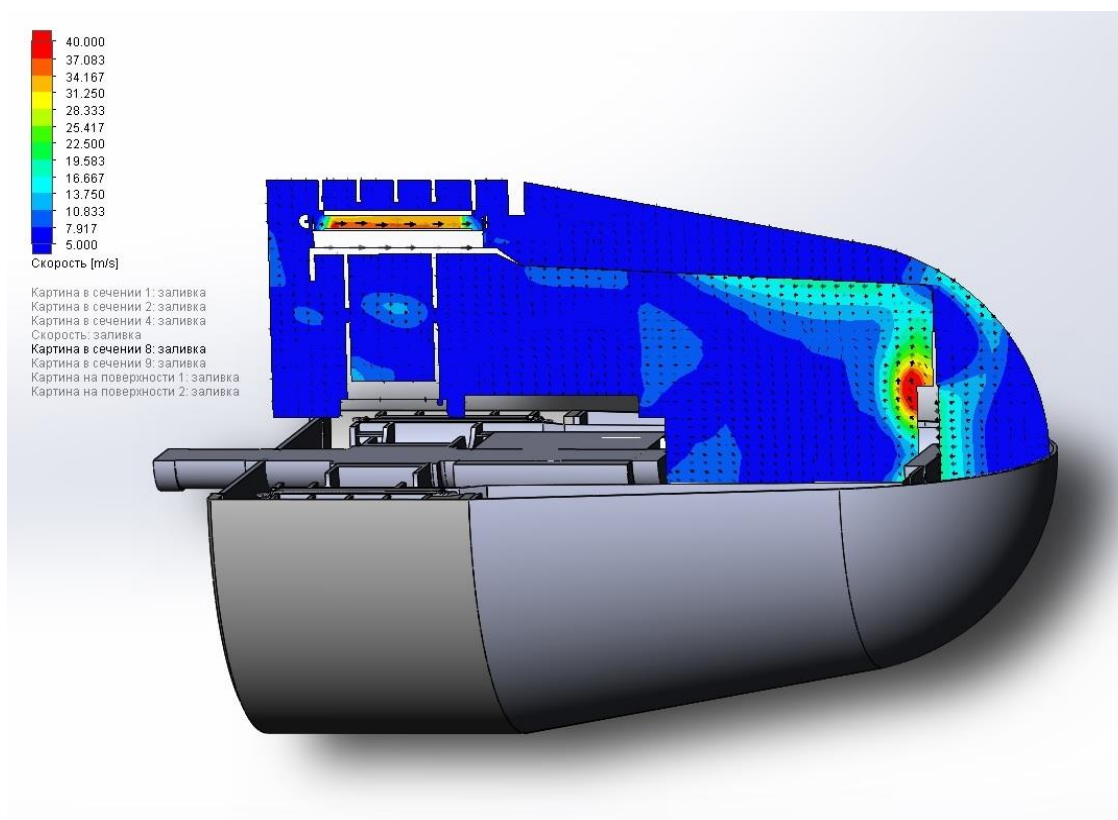


Рисунок 39 – Загальний вид результату тривимірного розрахунку

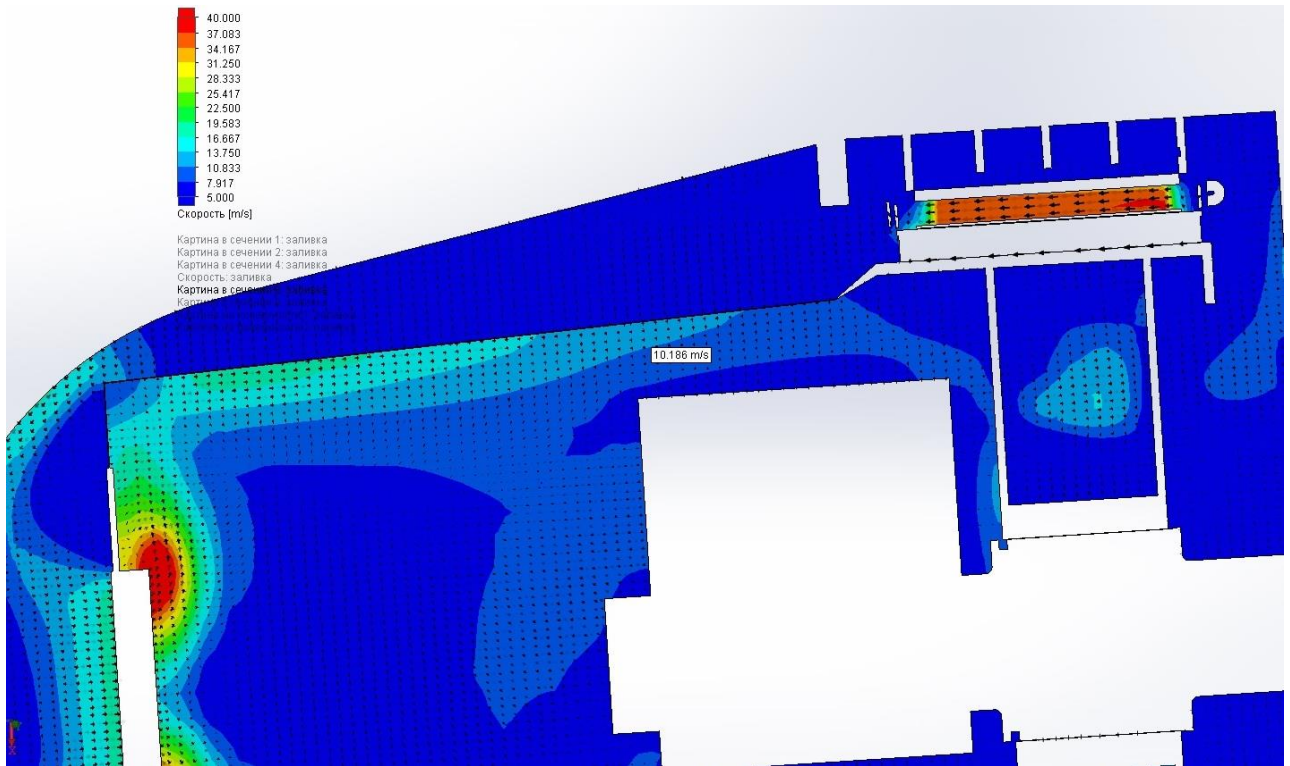


Рисунок 40 – Швидкість в перерізі підшипника

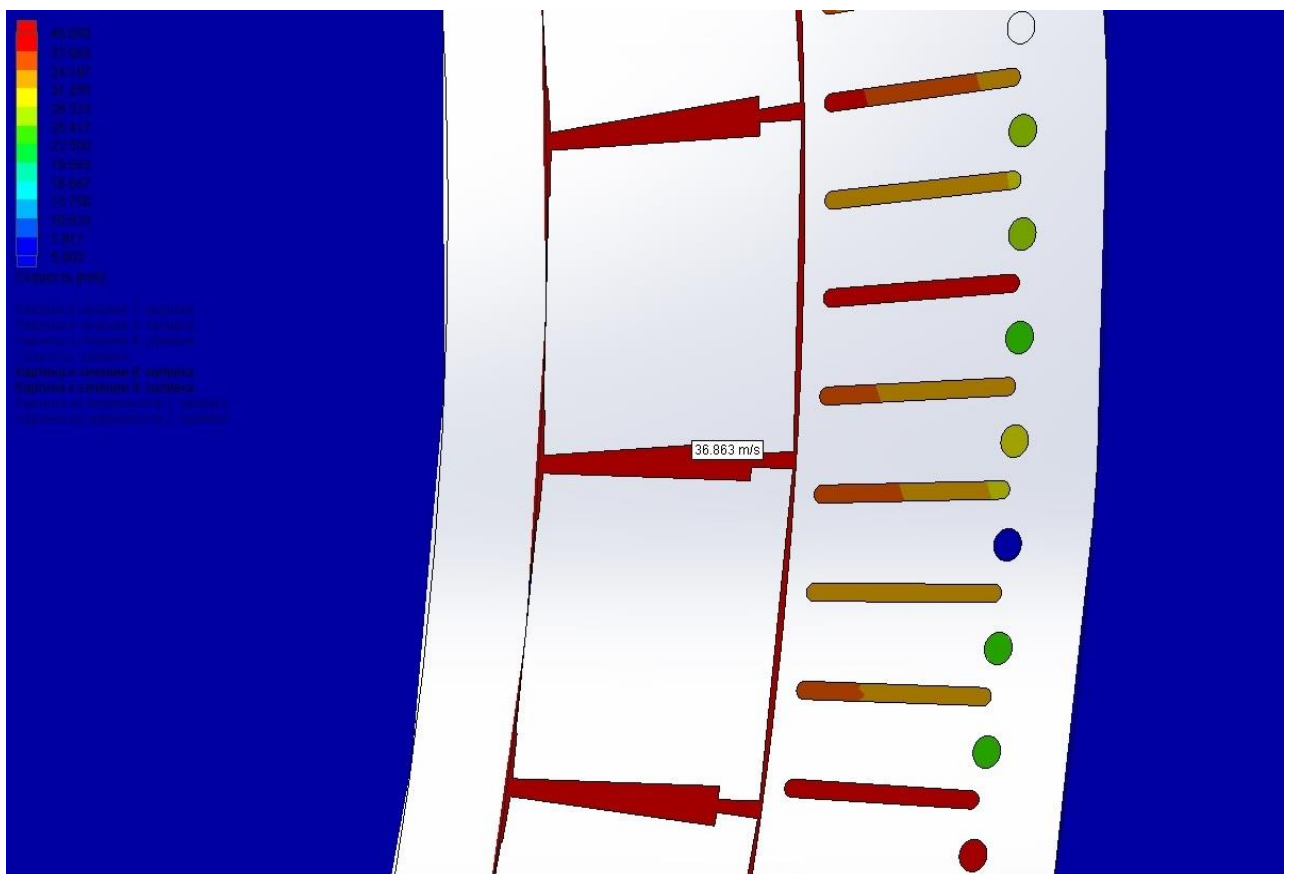


Рисунок 41 – Швидкість в перерізі полюсів

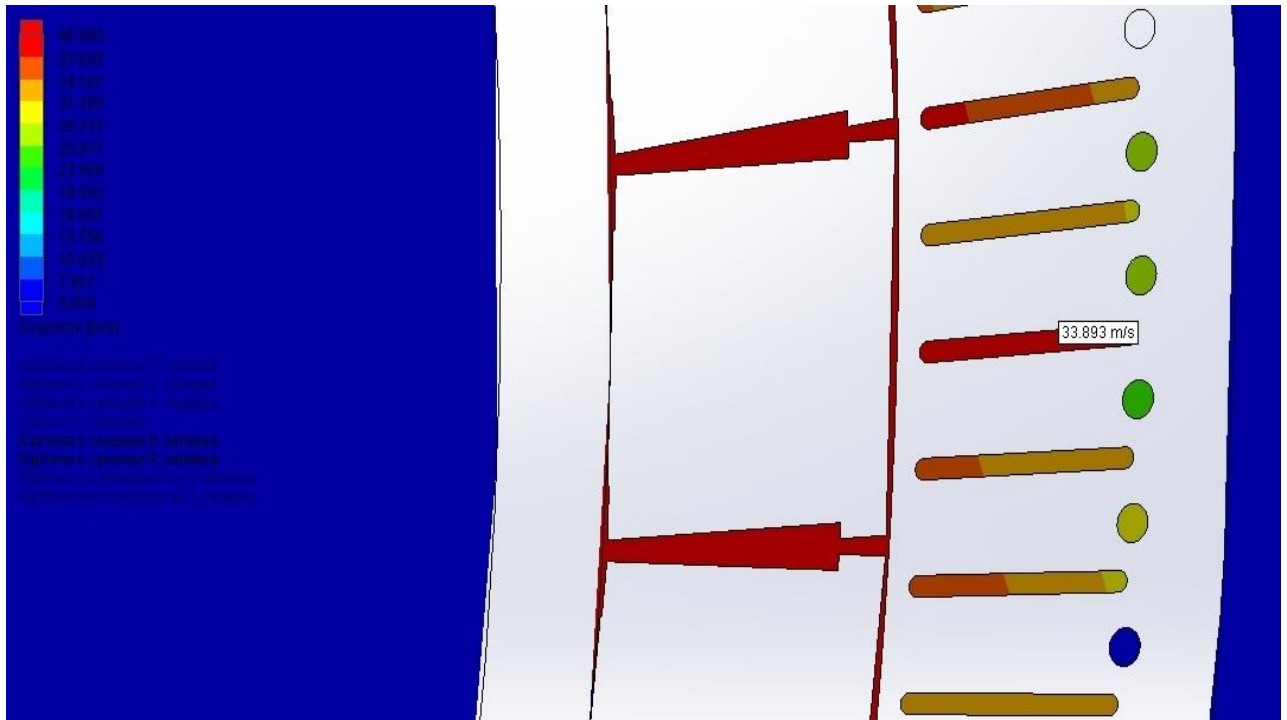


Рисунок 42 – Швидкість в перерізі заліза статора

### 3.2.1.2 Аналітичний розрахунок (Верифікація)

Розрахунок проведено згідно нормалі «Аеродинамічний розрахунок гідрогенераторів з осовою системою вентиляції» / 1 в редакції /.

Метод еквівалентних схем заміщення являє собою схему, в якій послідовно і паралельно вписані постійні гідравлічних опорів в характерних перетинах генератора, по ходу течії повітря в контурі гідрогенератора. Далі за принципом як для електричних схем ми можемо знайти сумарну гідравлічну постійну, втрати тиску та швидкості в каналах та інші параметри.

Для визначення аеродинамічного опору в повітропроводах генератора методом схем заміщення, слід викреслити ескіз повітропроводу машини (Рисунок 43), який в загальному випадку являє собою складну ланцюг послідовно і паралельно з'єднаних каналів.

Відповідно до розподілу повітряних струменів в машині, складають схему заміщення вентиляційної системи (Рисунок 44). Після знаходження аеродинамічних опорів окремих ділянок визначають загальне (еквівалентну) аеродинамічний опір усього повітропроводу.

Цей розрахунок виробляють за тією самою формою, що і розрахунок еквівалентного опору складної електричного ланцюга.





Таблиця 4 – Результати розрахунків

Переріз	Аналітичний розрахунок, м/сек	Тривимірний розрахунок, м/сек
Вікна щита підшипника	3,35	6,3
Вхід у вікна ротора	7,24	11,09
Розширення на виході з ротору	1,15	2,17
Звуження між ободом і фланцем капсули	4,74	2,844
Вхід в полюса і повітряний зазор	31,5	36,863
Вентиляційні отвори заліза статора	38,2	33,893
Відвідний канал	8,17	5,421

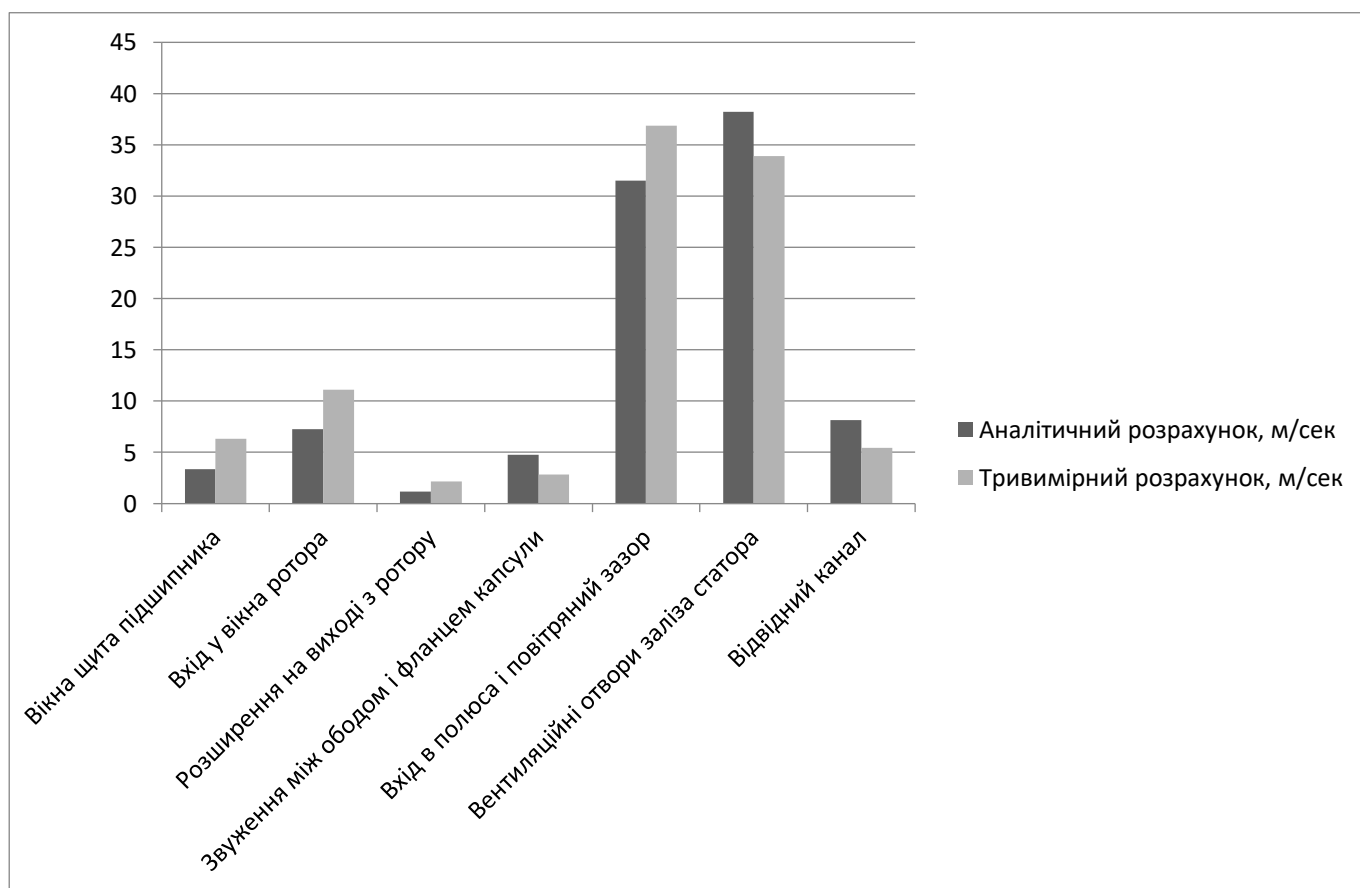


Рисунок 45 – Порівняння отриманих результатів



### 3.2.2 Розрахунок радіальної системи вентиляції

Завданням розрахунку є визначення швидкостей течії повітря в каналах гідрогенератора капсульного типу СГК 542 / 169-70 з радіальною системою вентиляції і температур активних частин.

В якості розрахункової геометрії була побудована тривимірна модель гідрогенератора СГК 542 / 169-70 в програмному комплексі SolidWorks з радіальною системою вентиляції.

При моделюванні були враховані геометричні особливості стрижнів обмотки статора і конструкції вентиляційних каналів статора, ротора. Середовище всередині гідрогенератора СГК 542 / 169-70 - повітря при нормальних атмосферних умовах.

Для забезпечення роботи системи охолодження гідрогенератора СГК 542 / 169-70 за умови, коли відключені два вентилятора MFLD 900, використовується тільки натиск, створений полюсами ротора. Під ободом ротора передбачені вентиляційні отвори.

На рисунку 1 представлена напірна характеристика ротора.

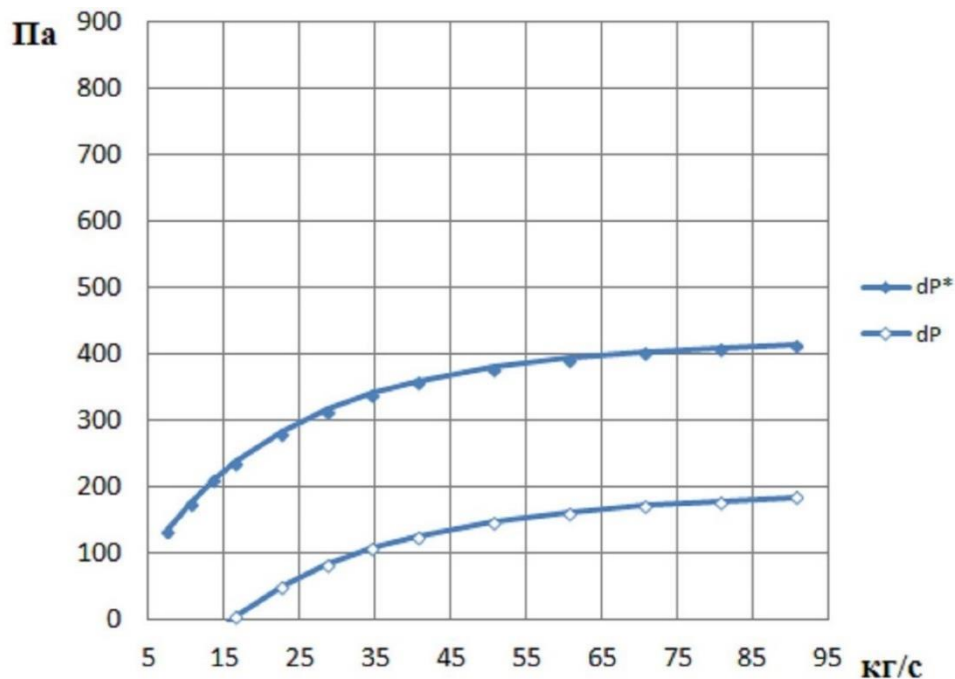


Рисунок 46 – Напірна характеристика ротору

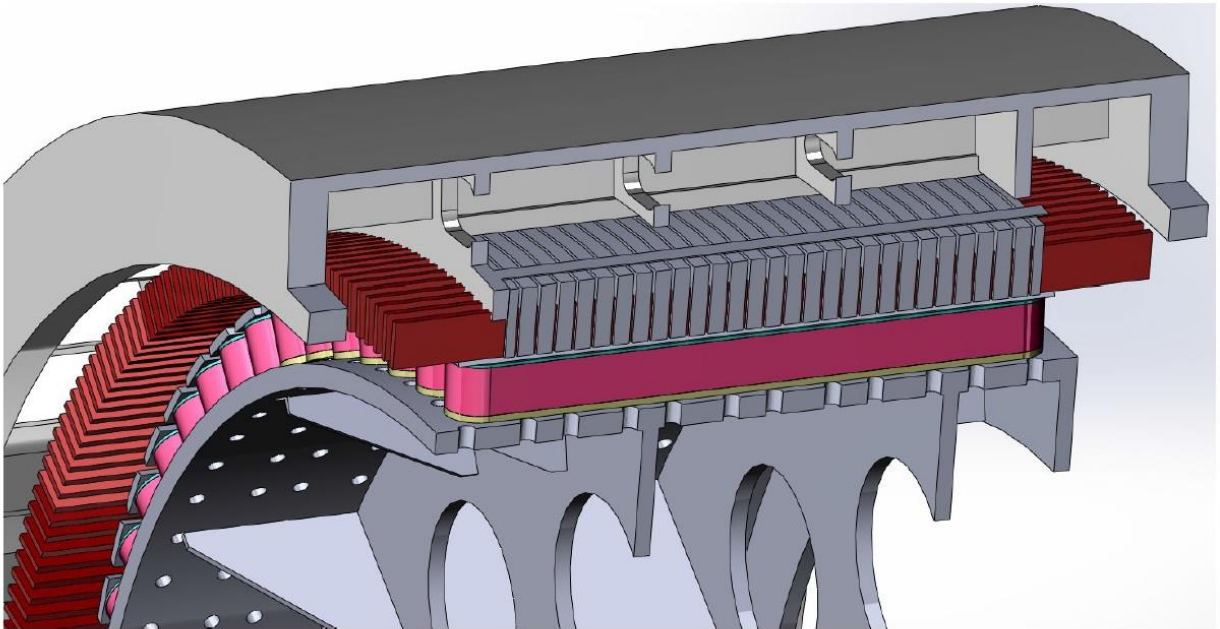


Рисунок 47 – Особливості конструкції ротору з радіальними каналами

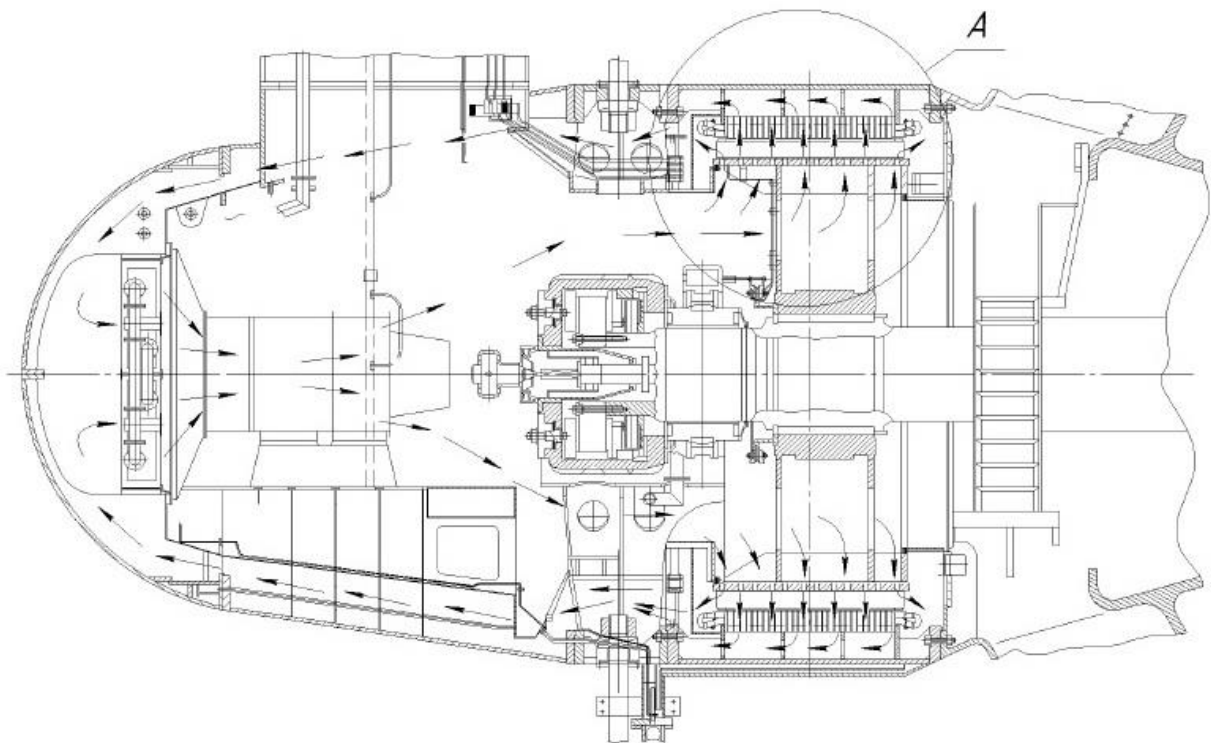


Рисунок 48 – Теоретична схема руху повітря при використанні радіальної системи вентиляції

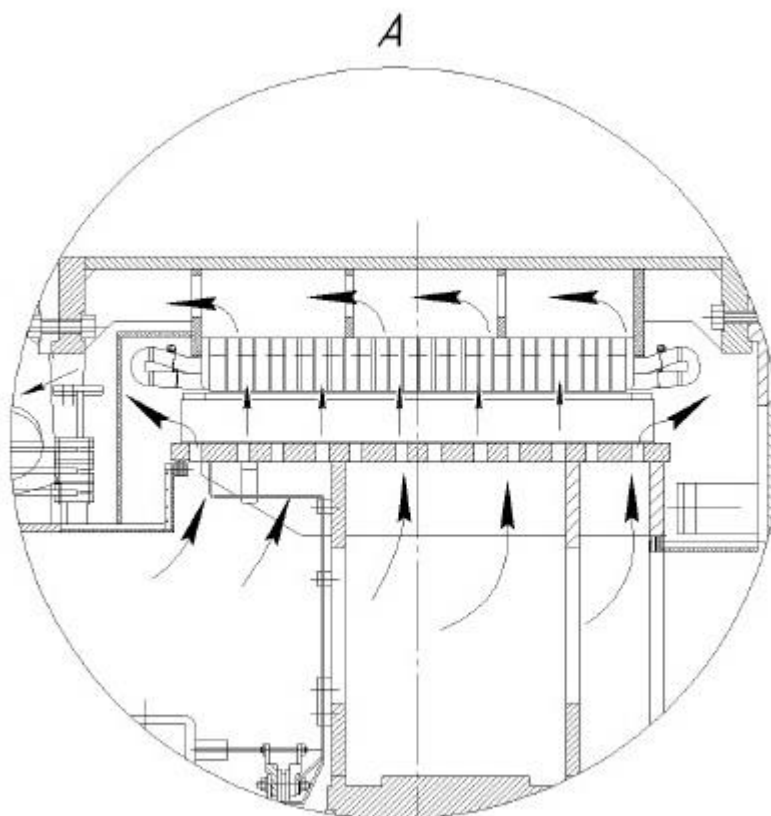


Рисунок 49 – Теоретична схема руху повітря при використанні радіальної системи вентиляції (Вид А)

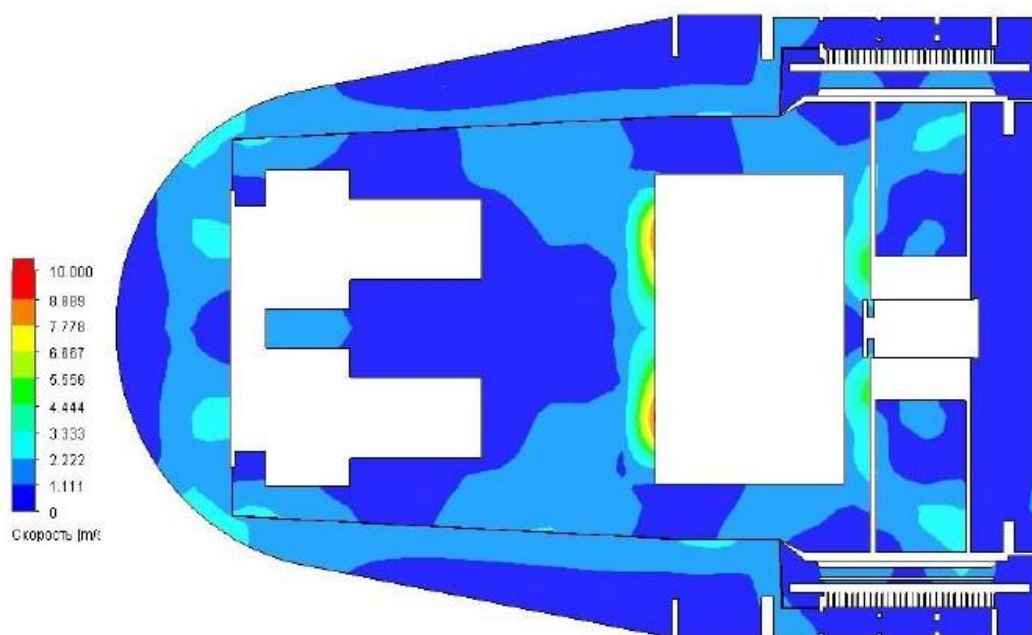


Рисунок 50 – Епюра швидкостей повітря при використанні радіальної системи вентиляції (розріз вздовж каналів статора) (Загальний вид).

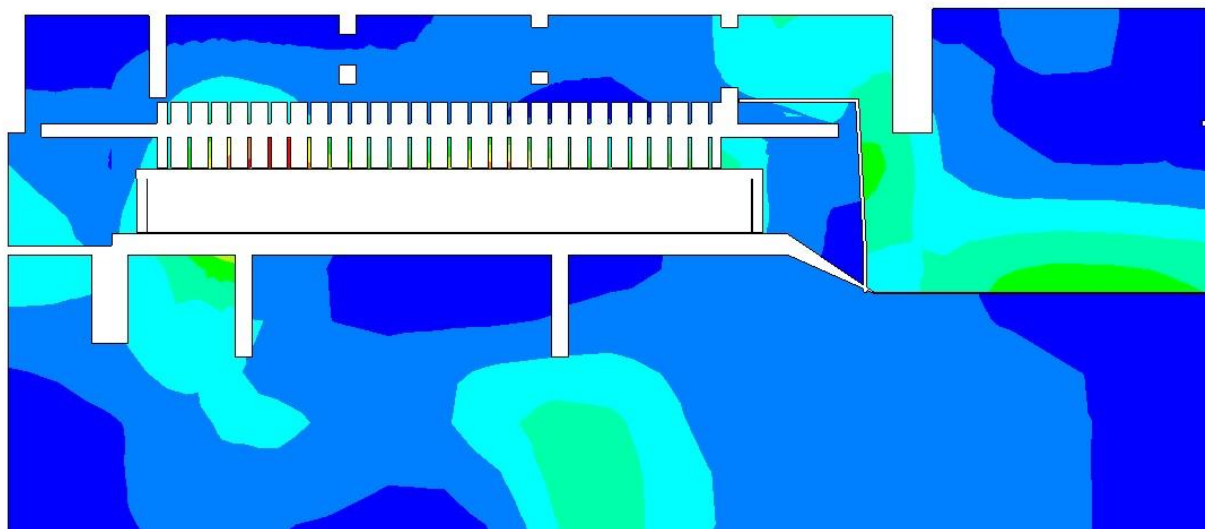


Рисунок 51 – Епюра швидкостей повітря при використанні радіальної системи вентиляції (розріз вздовж каналів статора).

#### Верифікація розрахунку

Для оцінки якості отриманих результатів отриманих за допомогою моделювання в середовищі SolidWorks Flow Simulation виконаний також перевірочний розрахунок методом схем заміщення.

На рисунку 52 і 53 подано визначення розрахункової витрати повітря отриманих шляхом тривимірного моделювання та методом схем заміщення відповідно.

Таблиця 5 – Швидкості повітря в каналах гідрогенератора

Найменування повітряного каналу	Витрата повітря	Швидкість повітря
Міжполюсний простір	7	3,1
Радіальні канали в зубцах статора	6,4	2,9
Радіальні канали в спинці статора	6,4	2,8
Зона лобових частей обмотки статора	0,6	1,1

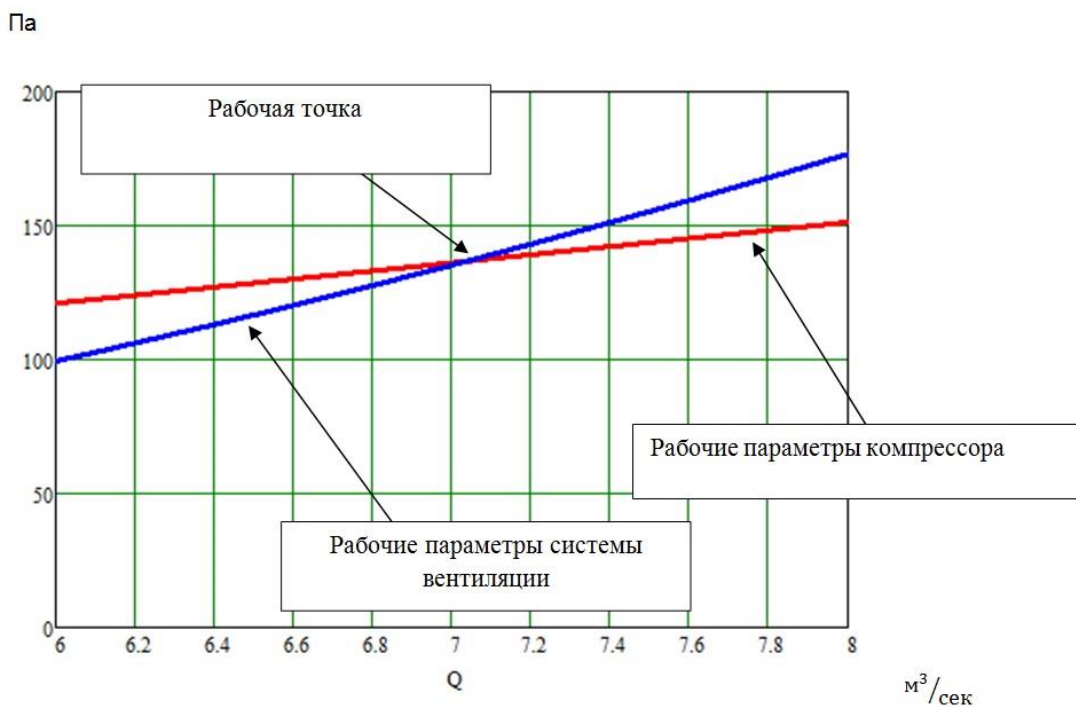


Рисунок 52 – Робочі параметри ротору згідно тривимірного розрахунку

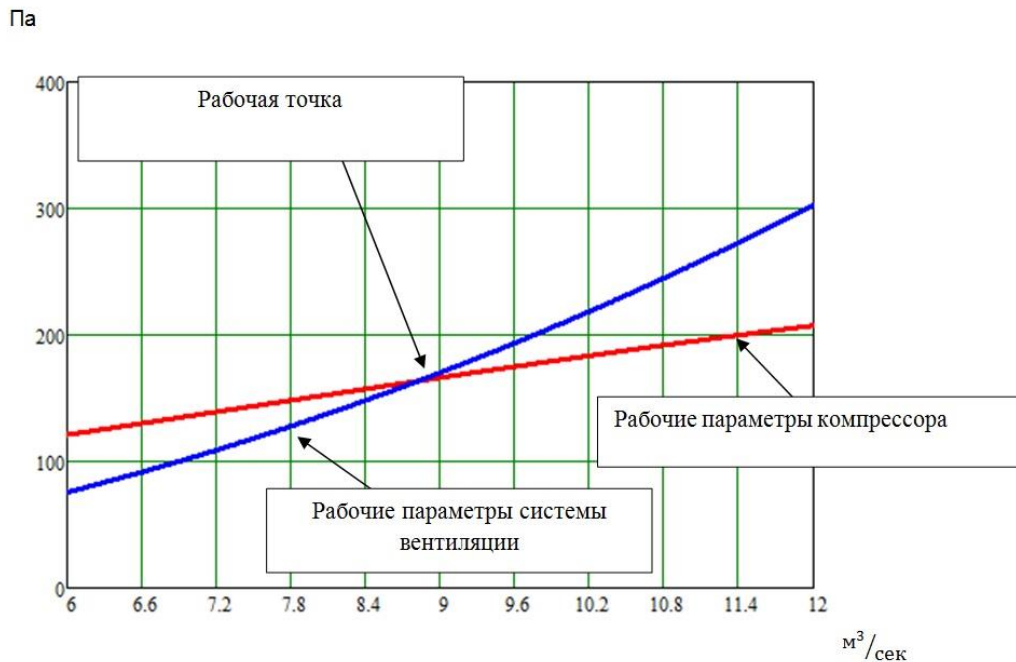


Рисунок 53 – Робочі параметри ротору згідно аналітичного розрахунку

Проведений вентиляційний розрахунок показав, що максимально можлива сумарна витрата повітря при застосуванні ротора як напірного елемента становить  $7 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

### 3.2.3 Розрахунок аксіальної системи вентиляції з додатковим вентилятором

Завданням розрахунку є визначення швидкостей течії повітря в каналах капсульного гідрогенератора і температур активних частин гідрогенератора СГКЗ 538 / 160-70 з двоконтурної аксіальної системою вентиляції за умови відключення двох вентиляторів MFLD900.

Для забезпечення роботи системи охолодження гідрогенератора СГКЗ 538 / 160-70 застосований подвійний нагнітач. Система охолодження розділена на два контури, охолодження ротора забезпечується осьовим вентилятором, охолодження статора- відцентровим вентилятором.

Розрахунок нагнітача виконаний по заводській методиці ОТХ.214.684.

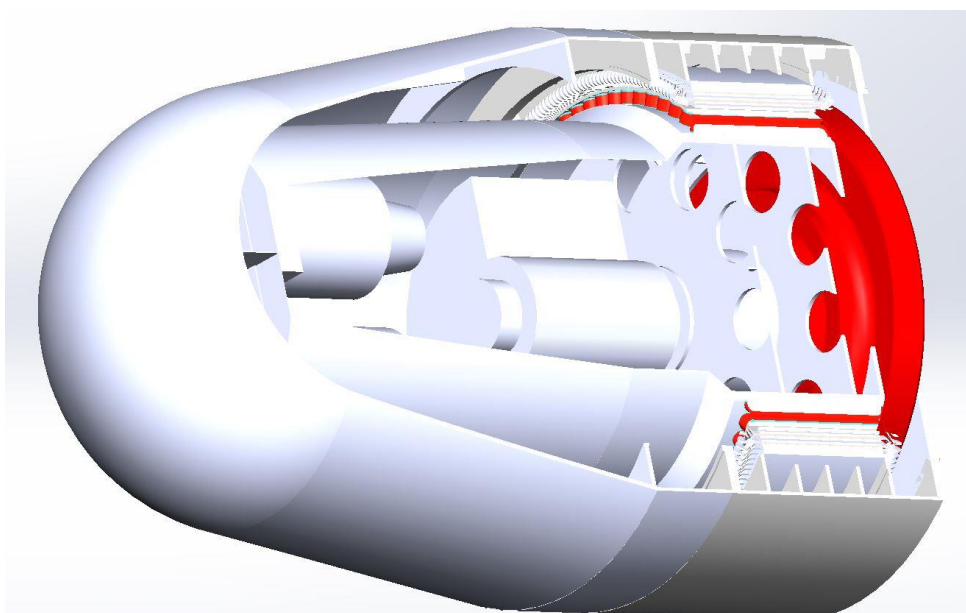


Рисунок 54 – Розрахункова модель



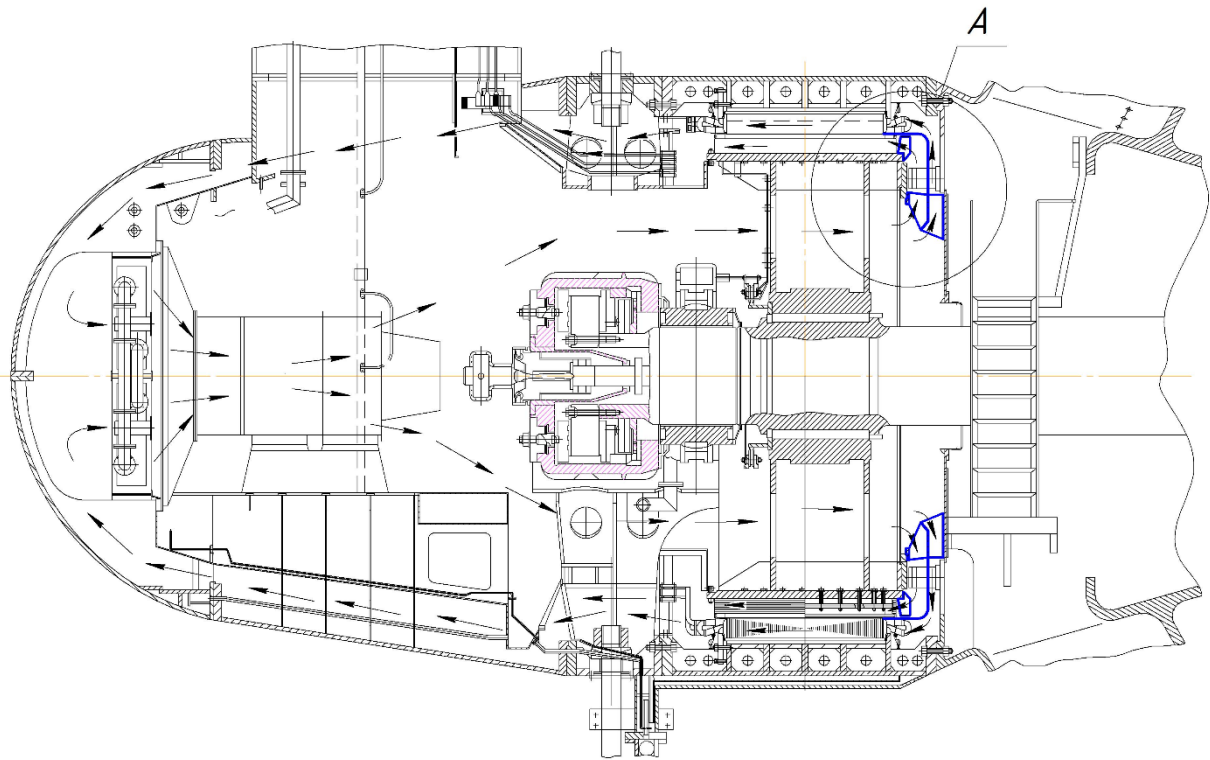


Рисунок 55 – Теоретична схема руху повітря при використанні допоміжного вентилятора

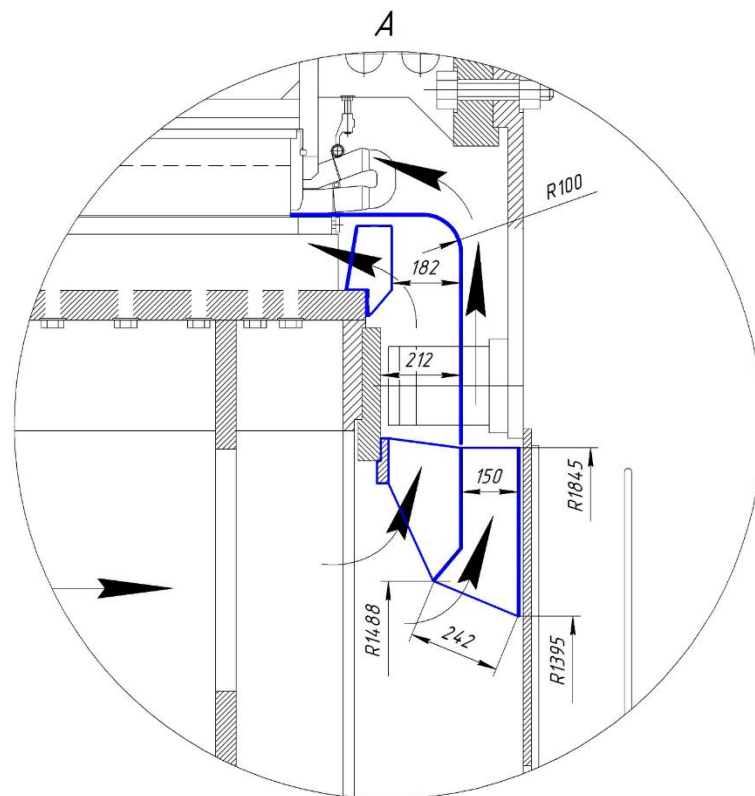


Рисунок 56 – Теоретична схема руху повітря при використанні допоміжного вентилятора (Вид А)

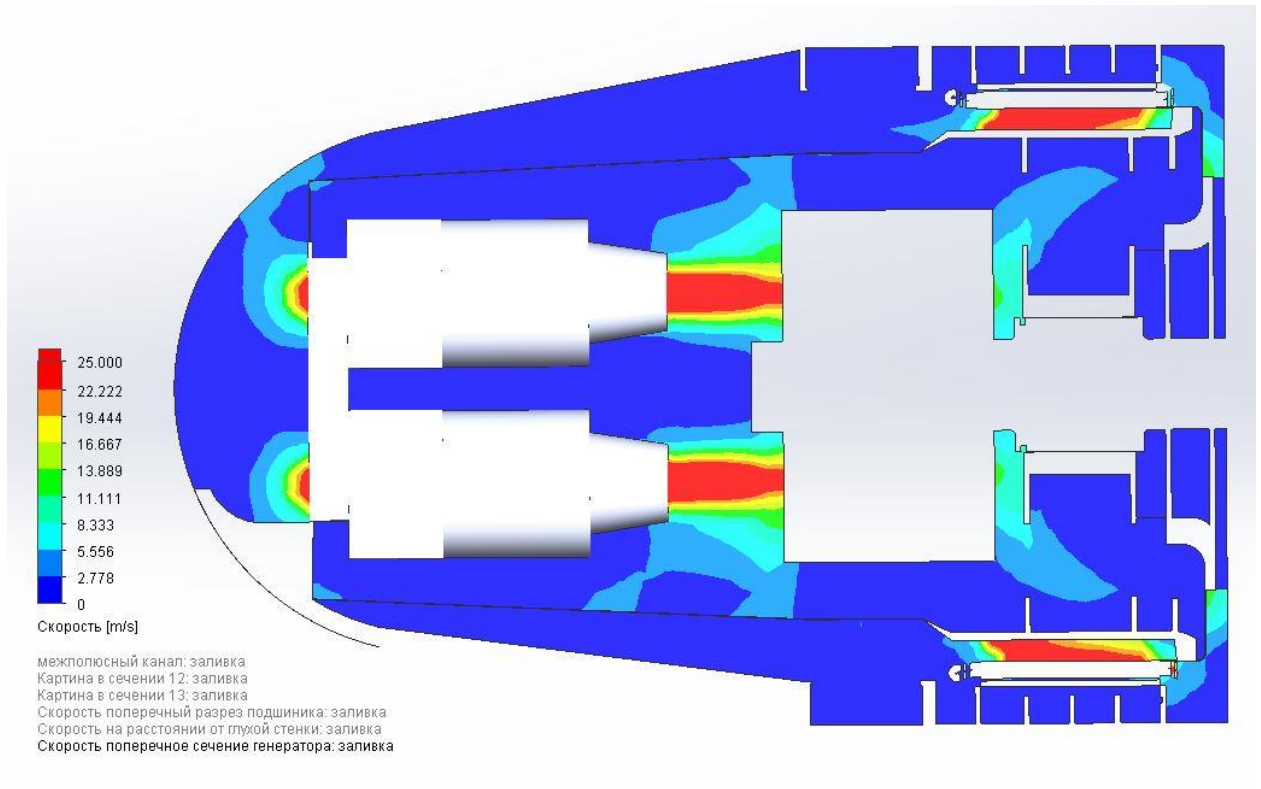


Рисунок 57 – Епюра швидкостей

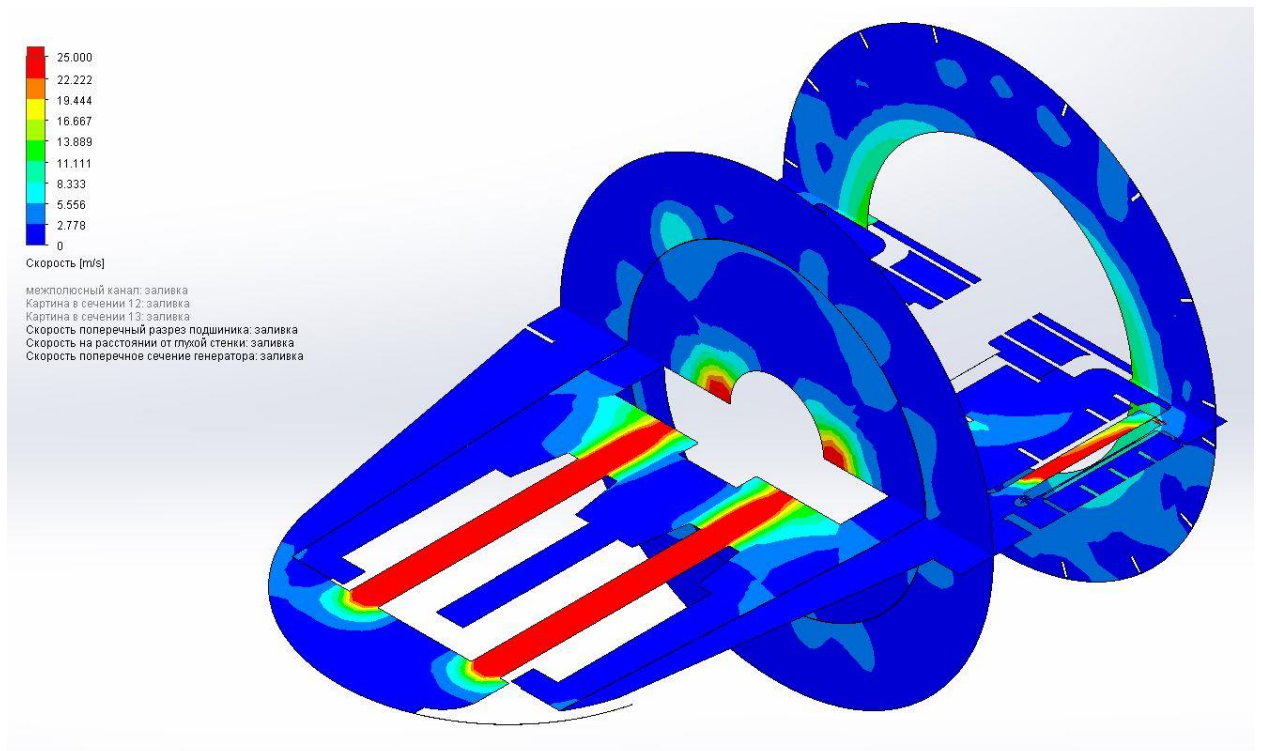


Рисунок 58 – Епюра швидкостей



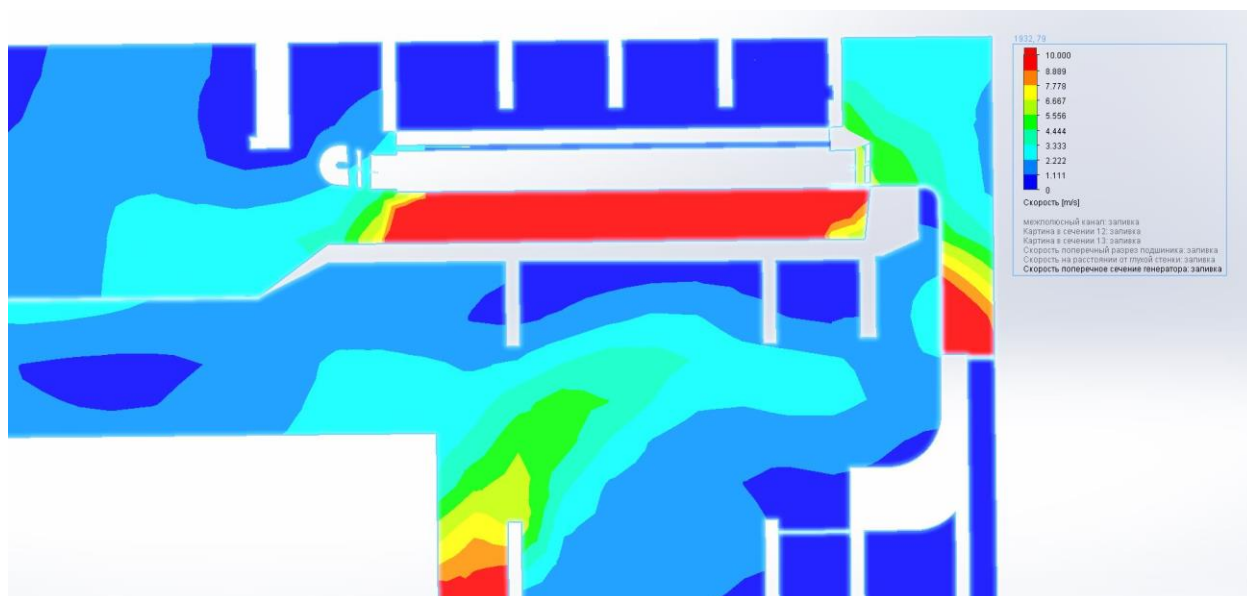


Рисунок 59 – Епюра швидкостей

Проведений розрахунок показав, що максимальна витрата повітря, створена подвійним вентилятором в аксіальній двухконтурній системі вентиляції г / г СГКЗ 538 / 160-70, становить 17 м/сек.

Режим роботи гідрогенератора з номінальним навантаженням і відключеними вентиляторами задовольняє вимогам замовника - про роботу протягом 30 хвилин з відключеними двома вентиляторами.

Розрахункові значення температур активних частин не перевищують гранично допустимих значень за ГОСТ 5616-89 для класу ізоляції F, при максимальній температурі охолоджуючої води на вході в повітроохолоджувачі 30 ° С.

### 3.3 Розрахунок на міцність додаткового вентилятора

Метою розрахунку є визначення напружень, діючих на зварні з'єднання елементів вентилятора.

Вихідні дані:

Угона частота обертання

$n=255$  об/мин;

Матеріал дисків та лопаток

Ст3сп ГОСТ14637-89

Умови розрахунку:

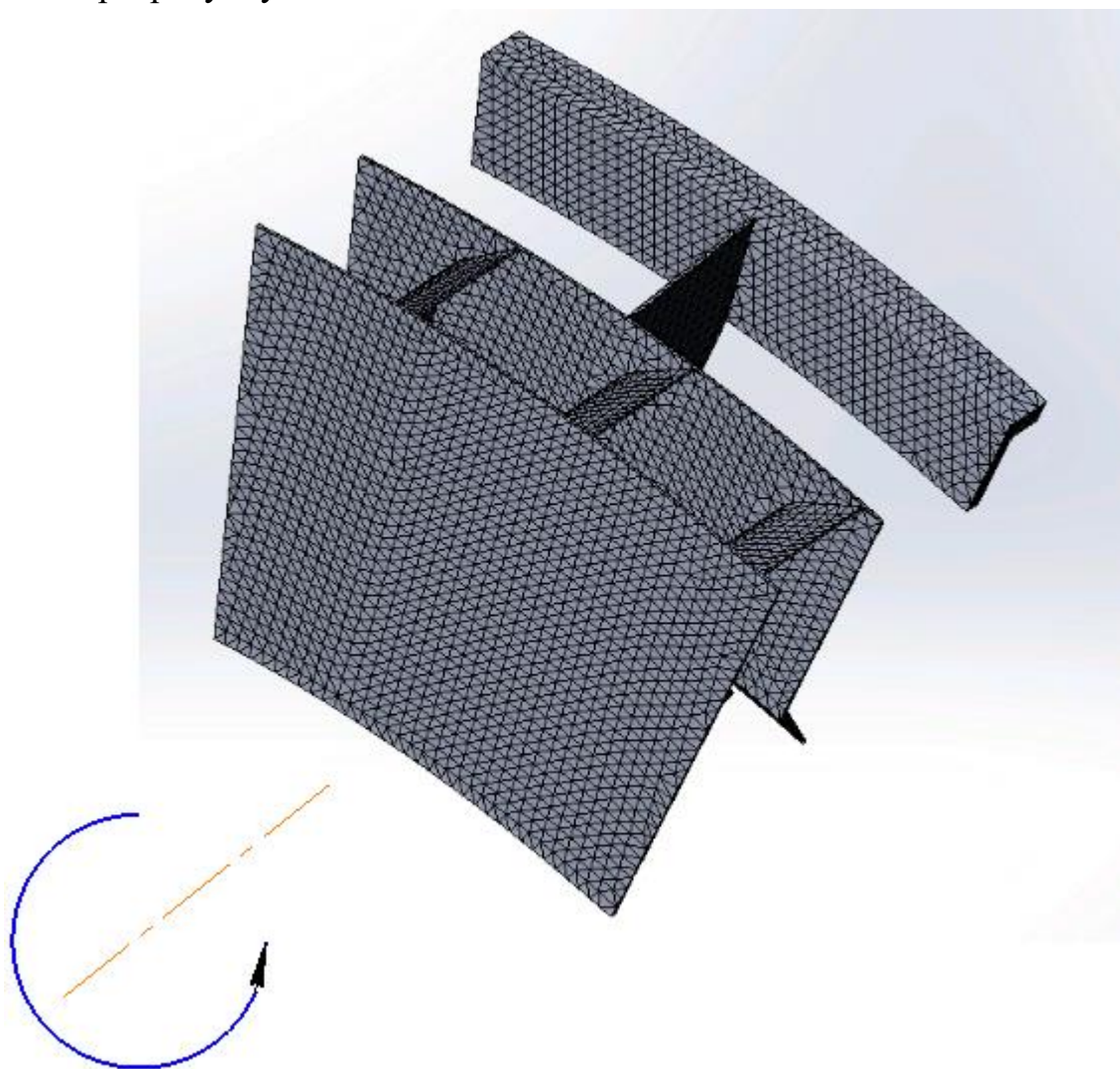


Рисунок 60 – Розрахункова сітка для статичного аналізу

Таблиця 6 – Параметри використаної сітки

Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Використане розбиття	Стандартна схема
Точки Якобіана	4 точки
Розмір елемента	14 мм
Допуск	0.7 мм
Якість сітки	Висока
Всього вузлів	56033
Всього елементів	28436
Співвідношення сторін	1378.6

## Статичне дослідження вентилятора

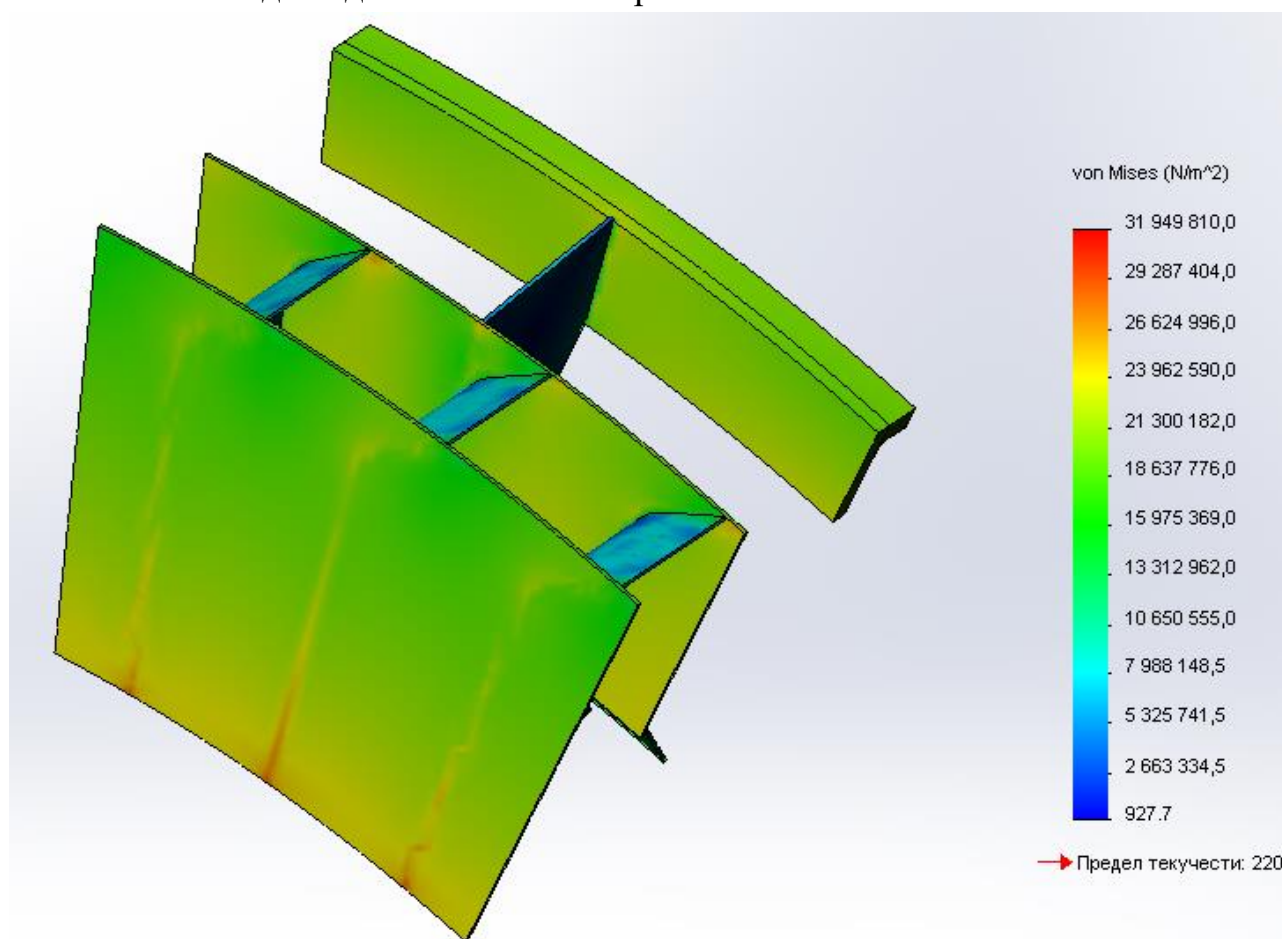


Рисунок 61 – Епюра еквівалентних напружень по Мізесу

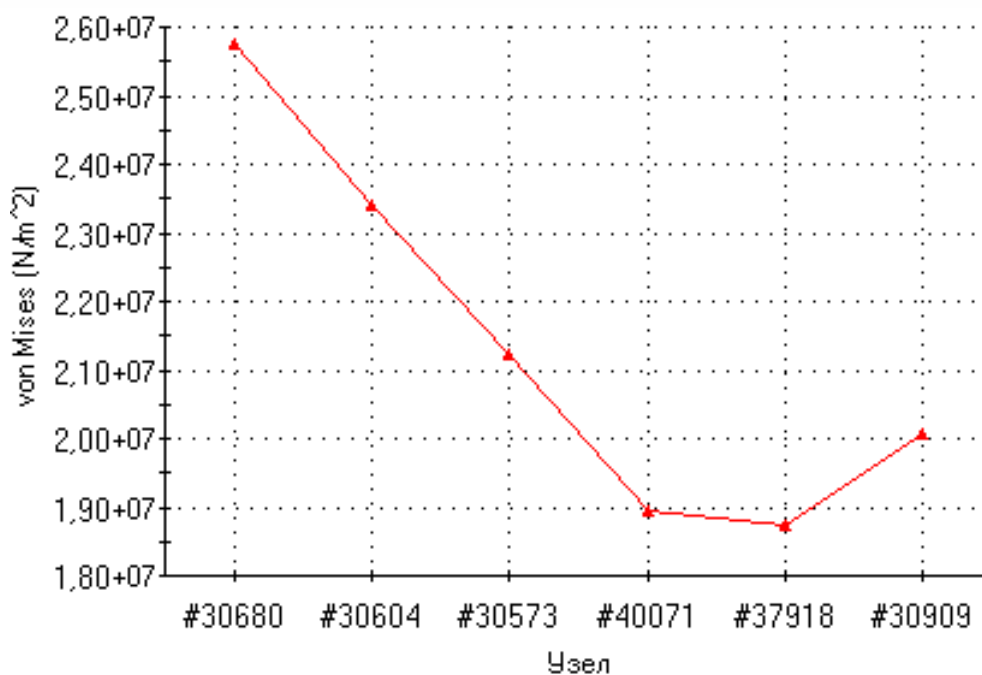
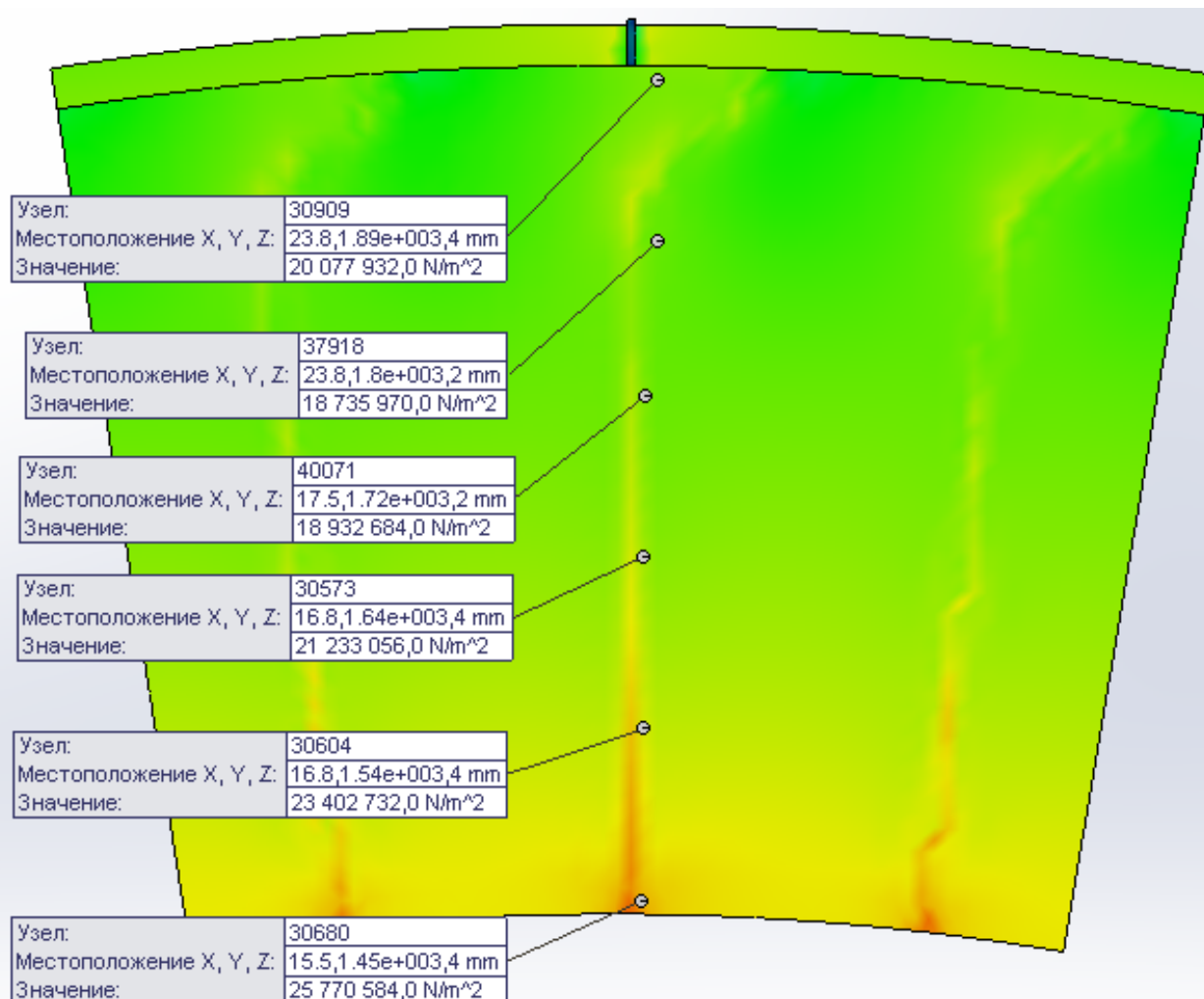


Рисунок 62 – Розподіл напружень по довжині диску

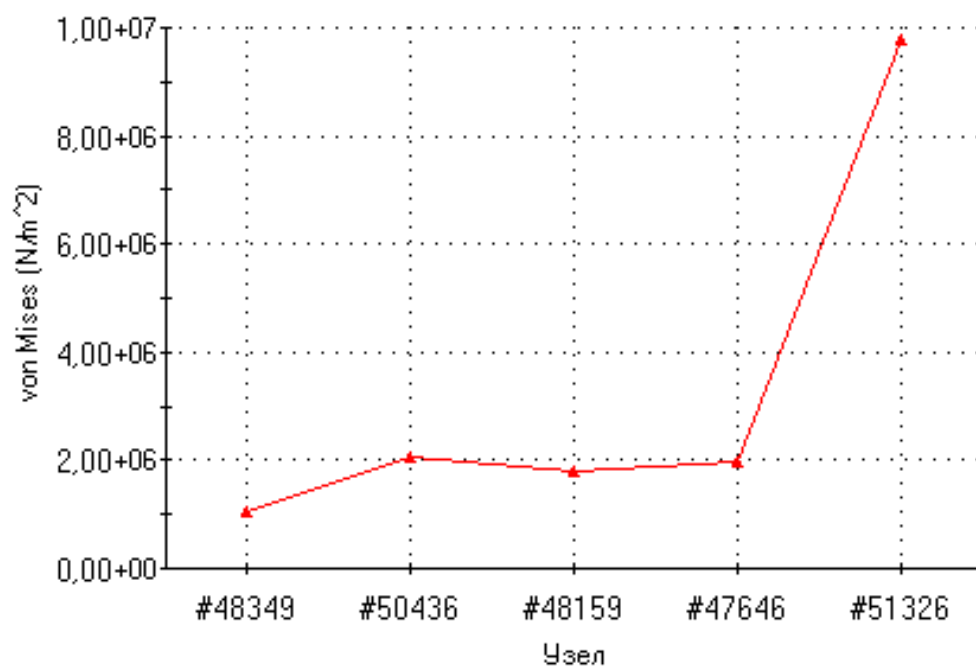
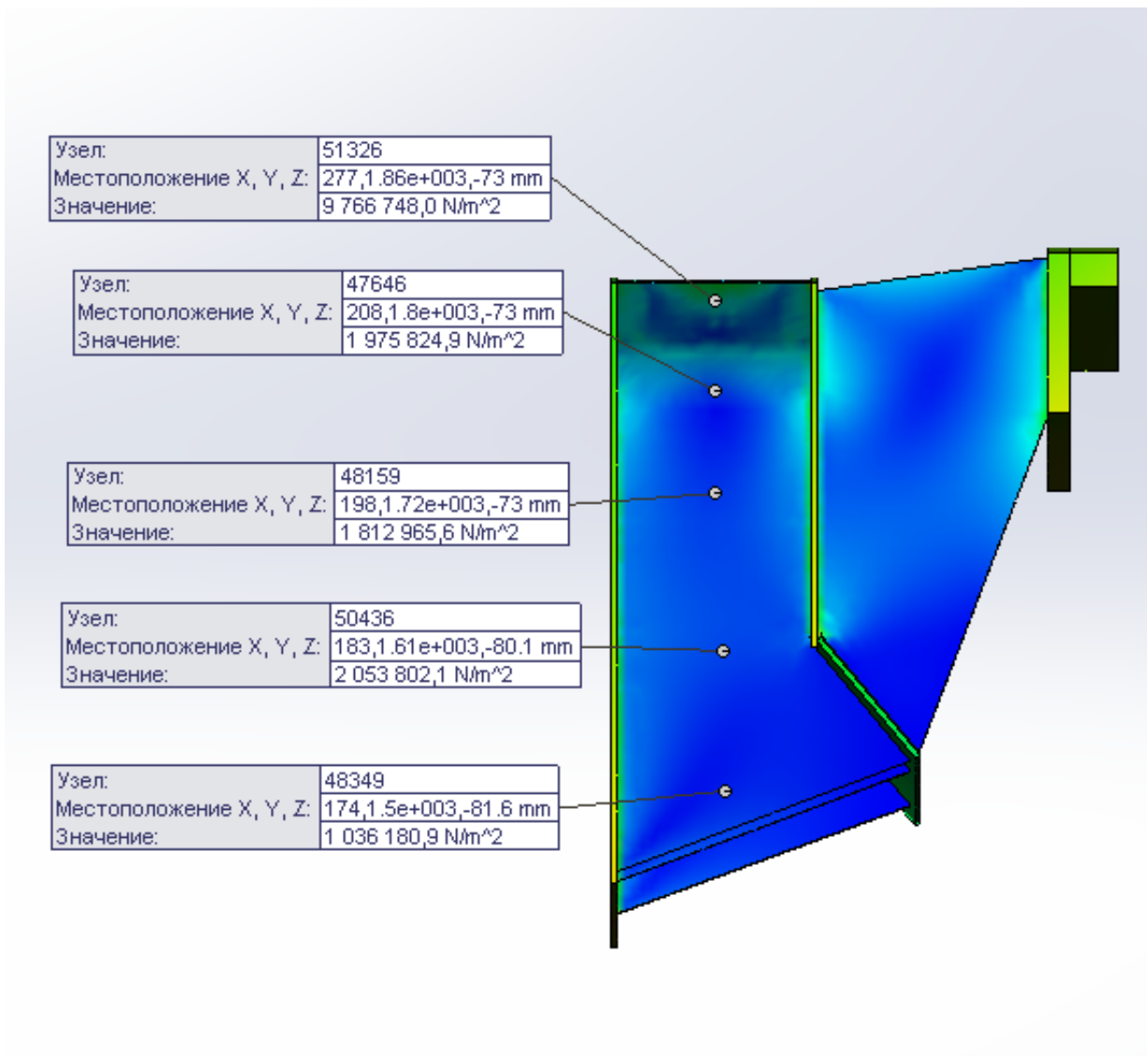


Рисунок 63 – Розподіл напружень по лопатці вентилятора

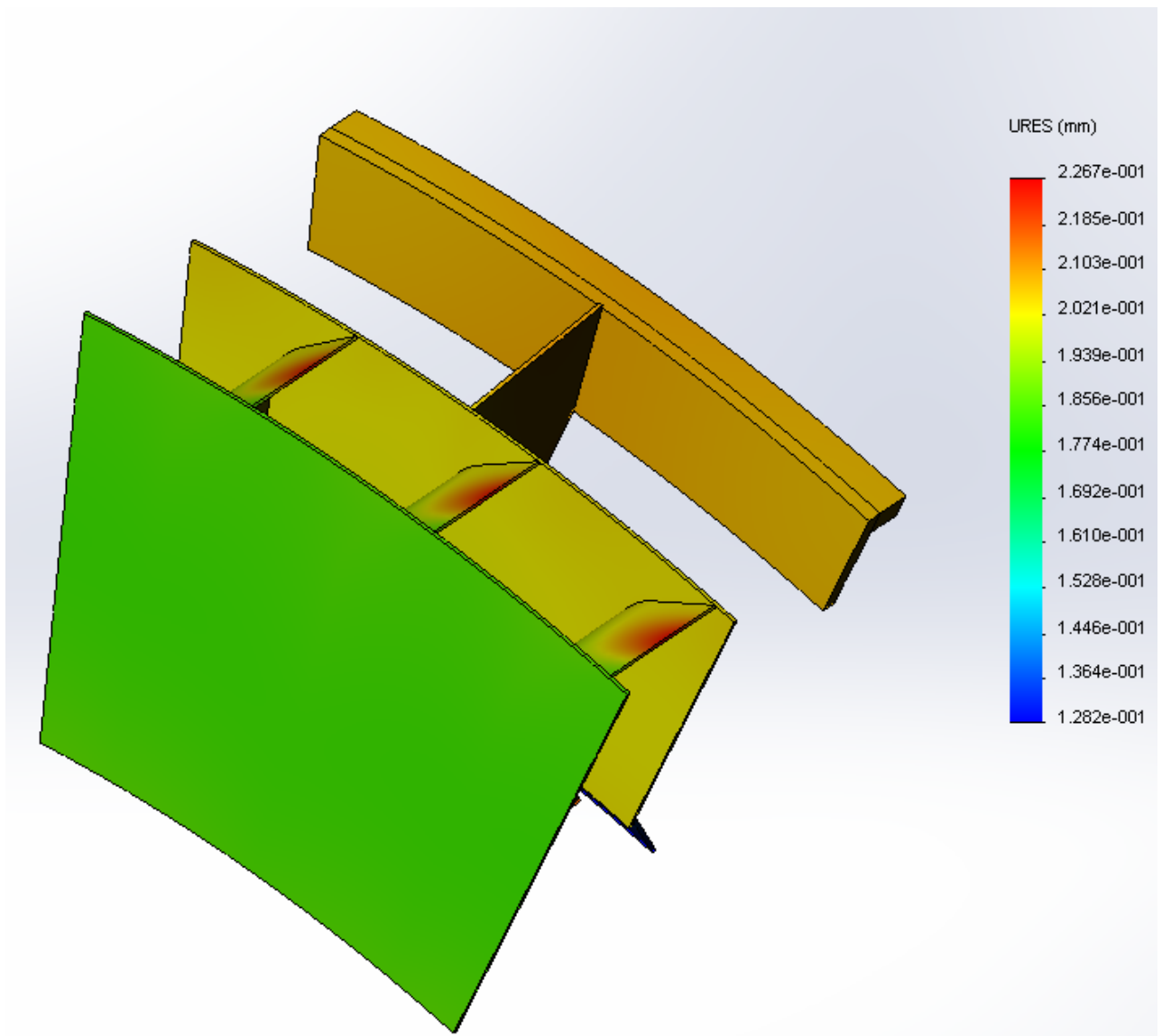


Рисунок 64 – Епюра переміщень

Визначимо коефіцієнт запасу міцності. Максимальні отримані напруження в вентиляторі складають  $\sigma = 32$  МПа. Межа плинності для Ст3сп ГОСТ14637-89 становить  $\sigma_{0.2} = 220$  МПа.

$$K = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma} = \frac{220}{32} = 6.85;$$

Заключення:

Напруження в вентиляторі допустимі. Запас міцності становить  $K = 6,9$  за межею текучості. Максимальні переміщення не перевищують 0,2 мм.



### Висновок з основної частини

На основі проведених розрахунків біло встановлено що для забезпечення напору і циркуляції охолоджуючого повітря при аксіальній схемі вентиляції, в разі аварійного відключення двох вентиляторів з електроприводом, на роторі встановлюється осьовий і відцентровий вентилятор, який забезпечує поділ потоків повітря для охолодження ротора і статора. Вентилятор складається з 70 елементів, які встановлюються на вході в міжполюсний простір. Відцентровий вентилятор встановлюється на роторі і складається з окремих секторів для можливості демонтажу при обслуговуванні генератора. Вентилятор спроектовано так, що установка вентилятора не перешкоджає переміщенню обслуговуючого персоналу із зони турбіни в зону напольгливої підшипника через ротор і назад.

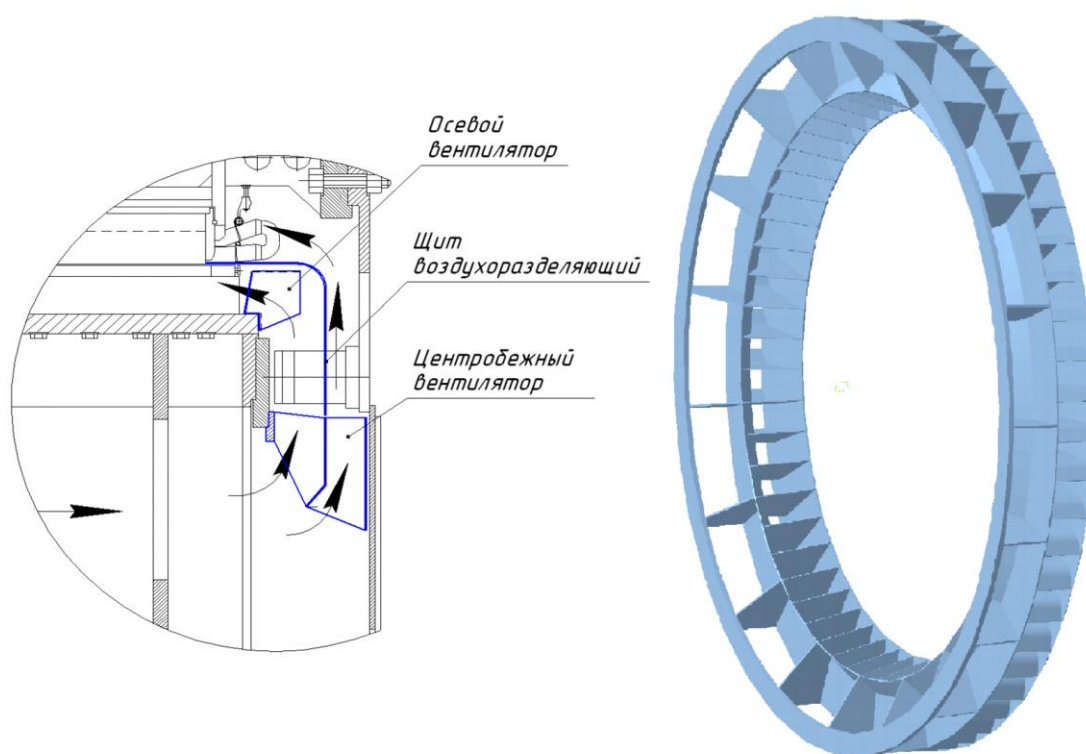


Рисунок 65 — Схема та модель додаткового вентилятора ротора

### Порядок і режими роботи системи охолодження

Завдяки цьому рішення вдалося виконати одну з вимог модернізації тому що тепер, гідрогенератор допускає роботу при трьох режимах для системи охолодження, описаних нижче.

При всіх режимах роботи система забезпечує подачу і злив охолоджуючої води в повітроохолоджувачі. Максимальне значення температури охолоджуючої води 30 °С.

Разом з пуском гідроагрегату, одночасно виконується пуск двох електричних

вентиляторів і відкриття повітряних заслінок.

Пуск вентиляторів виконується за сигналом від системи управління гідроагрегату на пристрій плавного пуску.

Відкриття і закриття повітряних заслінок виконується за сигналом від системи управління гідроагрегату на повітряні заслінки. Кабелі управління повітряними заслінками виведені на клемну шафу приладів контролю гідрогенератора.

Таблиця 7 - Технічні характеристики базового і модернізованого капсульного гідрогенератора Канівської ГЕС

Найменування параметра	Базовий	Модернізований
Повна потужність, кВ-А	19900	22450
Активна потужність, кВт	18500	22000
Лінійна напруга, В	3150	6300
Фазний струм, А	3650	2057
Коефіцієнт потужності (відстаючий)	0,93	0,98
Номінальний струм збудження, А	940	912
Напруга на кільцях ротора при номінальному навантаженні і гарячої машини (при температурі обмотки 130 °С), В	340	329
<b>Складові втрат гідрогенератора</b>		
Втрати в сталі сердечника статора, кВт	185	100
Втрати в міді обмотки збудження, кВт	288 (приведено к 95 °С)	272 (при 95 °С)
Втрати в міді обмотки статора, кВт	184 (приведено к 95 °С)	225 (при 95 °С)
Вентиляційні втрати, кВт	12	12
Додаткові втрати, кВт	175	64
Сумарні втрати гідрогенератора, що відводяться газоохолоджувачами, кВт	817	673 (-15%)
Клас ізоляції обмотки статора і ротора	В (130 °С)	Р (155 °С)



Режим №1 - Робота гідрогенератора з двома електричними вентиляторами.  
При цьому режимі повітряні заслінки двох вентиляторів відкриті.

Таблиця 8 - Уставки температур статора і ротора на сигналізацію і відключення на режимі 1.

Найменування параметра	Уставка на сигнал	Уставка на відключення
Температура обмотки статора	115 °С	120 °С
Температура сердечника статора	115 °С	120 °С
Температура обмотки ротора	125 °С	130 °С

Уставки температур на відключення відповідають ГОСТ 5616-89 для класу ізоляції В (130 °С (запас на клас ізоляції при використанні ізоляції за класом Р (155°С)).

Режим №2 - Аварійний. Робота гідрогенератора при аварійному відключенні одного електричного вентилятора, з номінальними параметрами, 60 хвилин або до досягнення температури статора і ротора наступних значень (в залежності, що настане раніше).

Таблиця 9 - Уставки температур статора і ротора на сигналізацію і відключення на режимі 2.

Найменування параметра	Значення
Температура обмотки статора	140 °С
Температура сердечника статора	140 °С
Температура обмотки ротора	145 °С

При цьому режимі повітряна заслінка працюючого вентилятора відкрита.  
Заслінка відключеного вентилятора закрита.

Режим №3 — Аварійний. Робота гідрогенератора при аварійному відключенні двох електричних вентиляторів, з номінальними параметрами, 30 хвилин або до досягнення температури статора і ротора наступних значень (в залежності, що настане раніше).

Таблиця 10 - Уставки температур статора і ротора на сигналізацію і відключення на режимі 3.

Найменування параметра	Значення
Температура обмотки статора	140 °С
Температура сердечника статора	140 °С
Температура обмотки ротора	145 °С

При цьому режимі гідрогенератор працює в режимі самовентиляції. Повітряні заслінки вентиляторів відкриті.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок ціни системи охолодження

#### 4.1.1 Розрахунок собівартості і ціни допоміжного вентилятора

В даному розділі зробимо розрахунок собівартості і ціни основних складових частин проектного допоміжного вентилятора, які підбираються в дипломній роботі.

Собівартість продукції - це виражені в грошовій формі витрати підприємства на її випуск і реалізацію. Собівартість є одним з найважливіших узагальнюючих показників діяльності підприємства, який відображає ефективність використання трудових, матеріальних і фінансових ресурсів.

В процесі виробництва допоміжного вентилятора споживається багато найменувань інструментів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів; застосовується праця різних категорій працюючих. Для планування, обліку і аналізу собівартості ці різноманітні витрати класифікуються в грошовій формі.

Залежно від виробничого призначення витрати поділяються за економічними елементами і статтями калькуляції. При класифікації витрат за економічними елементами в них включаються витрати однорідного призначення: матеріальні витрати, витрати на оплату праці, амортизація та ін. За статтями калькуляції за такою класифікацією виробляється калькуляція собівартості одиниці продукції і складається кошторис витрат на її виробництво.

При розрахунку собівартості продукції здійснюються розрахунки кошторису витрат на виробництво підприємства по калькуляційних статтях витрат виробу, які групуються в такий спосіб:

- 1) основні матеріали, покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів;
- 2) зменшення або збільшення витрат;
- 3) основна заробітна плата виробничих робітників;
- 4) додаткова заробітна плата виробничих робітників;
- 5) відрахування на соціальне страхування;
- 6) витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- 7) цехові витрати;
- 8) відшкодування зносу інструментів і пристосувань цехового призначення;
- 9) витрати на освоєння виробництва нових видів виробу;

- 10) загальнозаводські витрати;
- 11) відрахування до фонду зайнятості;
- 12) відрахування на медичне страхування;
- 13) позавиробничі витрати.

Розрахунок проводиться по перерахованим вище статтями калькуляції.

Вартість основних матеріалів, покупних виробів і напівфабрикатів, з яких виготовлений додатковий вентилятор - Таблиця 11.

Зменшення або збільшення витрат - відсутні.

Таблиця 11 – Розрахунок вартості матеріалів додаткового вентилятора

Вартість основних матеріалів додаткового вентилятора					
№	Найменування	Матеріал	Маса, кг	Ціна, грн/кг	Вартість, грн
1	Листовий метал	Ст3сп	912	40	36480
4	Кріплення (Болти / гайки / шайби)	Ст3сп	13	120	1560
Разом					38040

Таблиця 12 – Вихідні дані

Вихідні дані	
Найменування	Величина
Трудомісткість, годин	40
Середня ставка робітників, грн/год	36,3
Середній коефіцієнт кваліфікації робітників	1,5
Коефіцієнт доплат	0,25
Норматив соц. відрахувань	0,22
Коефіцієнт витрати на освоєння вир-ва	0,05
Коефіцієнт загальновир-чих витрат	1,15
Коефіцієнт адмін. витрат	0,5
Коефіцієнт витрат на збут	0,03
Коефіцієнт прибутку	0,18
ПДВ	0,2

Кошторис витрат на виробництво відображає всі витрати підприємства і складається в двох розділах: по експлуатаційним елементам і за калькуляційними статтями витрат. Кошторис витрат по експлуатаційних

елементів застосовується для взаємозв'язку бюджету підприємства з бюджетом вищих інстанцій.

Таблиця 13 – Кількість робочих

Кількість робочих	
Слюсар-складальник	4
Зварювальник	1
Кранівник	1

*Основна заробітна плата основних робітників:*

$$\text{ОЗП} = T \cdot e \cdot (1 + k/100),$$

де  $T$  - трудомісткість. Монтаж і збірка обладнання задіюються 6 робочими з розрахунку 40 нормо-годин на кожного.

$e$  - середня годинна ставка на відрядні або почасові роботи з виготовлення виробу, грн / нормо-год.

$$e = R \cdot K_T,$$

де  $R$  - вартість однієї нормо-години,  $R = 25$  грн;

$K_T$  - коефіцієнт, що залежить від кваліфікації робітника.  $K_T = 1,5$ ;

$k$  - коефіцієнт, що включає доплати за умови та інтенсивність праці, до = 20%.

$$\text{ОЗП} = (40 \cdot 6) \cdot (36,3 \cdot 1,5) \cdot (1 + 20/100) = 13068 \text{ грн.}$$

*Додаткова заробітна плата основних робітників:*

$$\text{ДЗП} = \text{ОЗП} \cdot (k/100)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує часові, денні, місячні доплати, приймаємо  $k = 25\%$ .

$$\text{ДЗП} = 13068 \cdot (25/100) = 3267 \text{ грн.}$$

*Відрахування на соціальні заходи:*

$$\text{ОСМ} = (\text{ОЗП} + \text{ДЗП}) \cdot \text{Н} / 100,$$

де Н - норматив обов'язкових відрахувань на соціальні заходи,  
Н = 22% (53 клас професійного ризику),

$$\text{ОСМ} = (13068 + 3267) \cdot 22 / 100 = 3593,7 \text{ грн.}$$

*Витрати на підготовку і освоєння виробництва нових видів виробу:*

Витрати на підготовку і освоєння випуску продукції, не призначені для серійного або масового виробництва, витрати, пов'язані з налагодкою обладнання:

$$\text{РОП} = (\text{ОМ} + \text{ОЗП}) \cdot 5 / 100,$$

Визначаються у відсотковому відношенні від суми статей 1 і 3 множачи на 5%.

$$\text{РОП} = (38040 + 13068) \cdot 5 / 100 = 2555,4 \text{ грн.}$$

*Загальновиробничі витрати:*

Сюди входять витрати на утримання будівель, споруд та інвентарю загальновиробничого призначення:

Приймаються в процентному відношенні від ОЗП - 115%

$$\text{ОР} = \text{ОЗП} \cdot 115 / 100$$

$$\text{ОР} = 13068 \cdot 115 / 100 = 15028,2 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість становить суму всіх статей і дорівнює:

$$\text{ПС} = \text{ОМ} + \text{ОЗП} + \text{ДЗП} + \text{ОСМ} + \text{РОП} + \text{ОР},$$

$$\text{ПС} = 38040 + 13068 + 3267 + 3593,7 + 2555,4 + 15028,2 = 75552,3 \text{ грн.}$$

*Адміністративні витрати:*

Сюди входять витрати на утримання будівель, споруд та інвентарю загальнозаводського призначення:

$$\text{АР} = \text{ОЗП} \cdot 50 / 100,$$

Приймаються в процентному відношенні від ОЗП - 50%

$$AP = 13068 \cdot 50/100 = 6534 \text{ грн.}$$

*Витрати на збут:*

Витрати на збут складають 3% від виробничої собівартості:

$$PC = PC \cdot 3/100$$

$$PC = 75552,3 \cdot 3/100 = 2266,56 \text{ грн.}$$

Сума всіх статей і буде повною собівартістю виробу. Результати розрахунку занесемо в таблицю 4. Статті калькуляції повної собівартості:

Повна собівартість виробу:

$$ПСИ = PC + AP + PC$$

$$ПСИ = 75552,3 + 6534 + 2266,56 = 84352,86 \text{ грн.}$$

Прибуток від повної собівартості (18%):

$$П = ПСИ \cdot 18/100;$$

$$П = 9975,8 \cdot 18/100 = 15183,51 \text{ грн.}$$

Оптова ціна допоміжного вентилятора:

$$ОЦТ = П + ПСИ$$

$$ОЦТ = 84352,86 + 15183,51 = 99536,38 \text{ грн.}$$

ПДВ беремо 20% від оптової ціни:

$$НДС = ОЦТ \cdot 20/100$$

$$НДС = 99536,38 \cdot 20/100 = 19907,27 \text{ грн.}$$

Ціна з урахуванням ПДВ:

$$Ц = НДС + ОЦТ$$

$$Ц = 99536,38 + 19907,27 = 119443,66 \text{ грн.}$$

Таблиця 14 – Таблиця результатів

Підсумковий результат		
1	Матеріали, покупні вироби	38040
2	Основна заробітна плата	13068
3	Додаткова заробітна плата	3267
4	Соціальні відрахування	3593,7
5	Витрати на освоєння виробництва	2555,4
6	Загальновиробничі витрати	15028,2
7	Виробнича собівартість	75552,3
8	Адміністративні витрати	6534
9	Витрати на збут	2266,56
10	Повна собівартість додаткового вентилятора	84352,86
11	Оптова ціна	99536,38
12	ПДВ	19907,27
13	Ціна додаткового вентилятора	<b>119443,66</b>



#### 4.1.2 Розрахунок собівартості і ціни теплообмінного апарату

В зв'язку зі змінами середньої годинної ставки розрахунок собівартості і ціни теплообмінного апарату проведено знову. Була вибрана актуальна середня тарифна ставка робітників для четвертого розряду 36,3 грн/год.

Розрахунок проводився з перерахованих в попередньому розділі статей калькуляції.

Вартість основних матеріалів, покупних виробів і напівфабрикатів, з яких виготовлений теплообмінний апарат - Таблиця 16.

Зменшення або збільшення витрат - відсутні.

Таблиця 15 – Кількість робочих

Кількість робітників, чол	
Слюсар-складальник	4
Зварювальник	2
Кранівник	1

Таблиця 16 – Розрахунок вартості матеріалів газоохолоджувача

Вартість основних матеріалів газоохолоджувача						
№	Найменування	Матеріал	Кількість	Маса одиниці, кг	Ціна, грн/кг	Вартість, грн
1	Трубка	Алюміній	216 шт/секція	0,343	180	26671,68
2	Дріт	Мідь М1	-	1,219	290,5	152979,624
3	Трубна дошка	СтЗсп	2 шт/секція	59,9	25	5990
4	Кришки	СтЗсп	2 шт/секція	82	25	8200
5	Колектор	СтЗсп	2 шт	30,3	32	1939,2
6	Рама	СтЗсп	2 шт/секція	59,2	25	5920
7	Кріплення	СтЗсп	до 200 шт	0,065	120	1560
Разом						203260,504

Таблиця 17 – Вихідні дані

Вихідні дані	
Найменування	Величина
Трудомісткість, годин	40
Середня ставка робітників, грн/год	36,3
Середній коефіцієнт кваліфікації робітників	1,5
Коефіцієнт доплат	0,25
Норматив соц. відрахувань	0,22
Коефіцієнт витрати на освоєння вир-ва	0,05
Коефіцієнт загальноновир-чих витрат	1,15
Коефіцієнт адмін. витрат	0,5
Коефіцієнт витрат на збут	0,03
Коефіцієнт прибутку	0,18
ПДВ	0,2

*Основна заробітна плата основних робітників:*

$$\text{ОЗП} = T \cdot e \cdot (1 + k/100),$$

де  $T$  - трудомісткість. Монтаж і збірка обладнання задіюються 7 робочими з розрахунку 40 нормо-годин на кожного.

$e$  - середня годинна ставка на відрядні або почасові роботи з виготовлення виробу, грн / нормо-год.

$$e = R \cdot K_T,$$

де  $R$  - вартість однієї нормо-години,  $R = 36,3$  грн;

$K_T$  - коефіцієнт, що залежить від кваліфікації робітника.  $K_T = 1,5$ ;

$k$  - коефіцієнт, що включає доплати за умови та інтенсивність праці, до = 20%.

$$\text{ОЗП} = (40 \cdot 7) \cdot (36,3 \cdot 1,5) \cdot (1 + 20/100) = 15246 \text{ грн.}$$

*Додаткова заробітна плата основних робітників:*

$$\text{ДЗП} = \text{ОЗП} \cdot (k/100)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує часові, денні, місячні доплати, приймаємо  $k = 25\%$ .

$$\text{ДЗП} = 15246 \cdot (25/100) = 3811,5 \text{ грн.}$$

*Відрахування на соціальні заходи:*

$$\text{ОСМ} = (\text{ОЗП} + \text{ДЗП}) \cdot \text{Н} / 100,$$

де Н - норматив обов'язкових відрахувань на соціальні заходи,  
Н = 22% (53 клас професійного ризику),

$$\text{ОСМ} = (15246 + 3811,5) \cdot 22/100 = 4192,65 \text{ грн.}$$

*Витрати на підготовку і освоєння виробництва нових видів виробу:*

Витрати на підготовку і освоєння випуску продукції, не призначені для серійного або масового виробництва, витрати, пов'язані з наладкою обладнання:

$$\text{РОП} = (\text{ОМ} + \text{ОЗП}) \cdot 5/100,$$

Визначаються у відсотковому відношенні від суми статей 1 і 3 множачи на 5%.

$$\text{РОП} = (203260,5 + 15246) \cdot 5/100 = 407,87 \text{ грн.}$$

*Загальновиробничі витрати:*

Сюди входять витрати на утримання будівель, споруд та інвентарю загальновиробничого призначення:

Приймаються в процентному відношенні від ОЗП - 115%

$$\text{ОР} = \text{ОЗП} \cdot 115/100$$

$$\text{ОР} = 15246 \cdot 115/100 = 17532,9 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість становить суму всіх статей і дорівнює:

$$\begin{aligned} \text{ПС} &= \text{ОМ} + \text{ОЗП} + \text{ДЗП} + \text{ОСМ} + \text{РОП} + \text{ОР}, \\ \text{ПС} &= 203260,5 + 15246 + 3811,5 + 4192,65 + 10925,32 + 17532,9 = 254968,8 \\ &\text{грн.} \end{aligned}$$

*Адміністративні витрати:*

Сюди входять витрати на утримання будівель, споруд та інвентарю загальнозаводського призначення:

$$AP = O3P \cdot 50/100,$$

Приймаються в процентному відношенні від ОЗП - 50%

$$AP = 15246 \cdot 50/100 = 7623 \text{ грн.}$$

*Витрати на збут:*

Витрати на збут складають 3% від виробничої собівартості:

$$PC = PC \cdot 3/100$$

$$PC = 254968,8 \cdot 3/100 = 7649,06 \text{ грн.}$$

Сума всіх статей і буде повною собівартістю виробу. Результати розрахунку занесемо в таблицю 4. Статті калькуляції повної собівартості:

Повна собівартість виробу:

$$ПСИ = PC + AP + PC$$

$$ПСИ = 254968,8 + 7623 + 7649,06 = 270240,9 \text{ грн.}$$

Прибуток від повної собівартості (18%):

$$П = ПСИ \cdot 18/100;$$

$$П = 270240,9 \cdot 18/100 = 48643,37 \text{ грн.}$$

Оптова ціна допоміжного вентилятора:

$$ОЦТ = П + ПСИ$$

$$ОЦТ = 270240,9 + 48643,37 = 318884,31 \text{ грн.}$$

ПДВ беремо 20% від оптової ціни:

$$НДС = ОЦТ \cdot 20/100$$

$$НДС = 318884,31 \cdot 20/100 = 63776,86 \text{ грн.}$$

Ціна з урахуванням ПДВ:

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= \text{НДС} + \text{ОЦТ} \\ \text{Ц} &= 318884,31 + 63776,86 = 382661,17 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Таблиця 18 - Таблиця результатів.

Підсумковий результат		
1	Матеріали, покупні вироби	203260,5
2	Основна заробітна плата	15246
3	Додаткова заробітна плата	3811,5
4	Соціальні відрахування	4192,65
5	Витрати на освоєння виробництва	10925,32
6	Загальновиробничі витрати	17532,9
7	Виробнича собівартість	254968,87
8	Адміністративні витрати	7623
9	Витрати на збут	7649,06
10	Повна собівартість охолоджувача	270240,94
11	Оптова ціна	318884,31
12	ПДВ	63776,86
13	Ціна охолоджувача	<b>382661,17</b>

#### 4.2 Висновок з економічної частини

В ході розрахунку була розрахована собівартість виготовлення і збірки газоохолоджувача та додаткового вентилятора. Для проведення подальшого економічного аналізу вдалось дізнатися на заводі ДП «ЗАВОД «ЕЛКТРОВАЖМАШ» приблизну ціну всього гідрогенератора (1 900 000 євро при курсі 31.85 грн/євро дорівнює 60 515 000 грн) та точну ціну основних вентиляторів фірми Howden (Франція) (44700 євро/шт при курсі 31.85 грн/євро 1 423 695 грн). Результати розрахунків та отримані данні представлені в таблиці 19.

Таблиця 19 – Порівняння ціни основних комплектуючих системи охолодження

Найменування	Ціна, грн
Додатковий вентилятор	119444
Газоохолоджувач	382661
Основний вентилятор 1	1 423 695
Основний вентилятор 2	1 423 695
Повна ціна гідрогенератору за виключенням турбінної частини	60 515 000



Рисунок 66 – Порівняння ціни основних комплектуючих системи охолодження

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ТКНВ-6001-SPMC-K-2016-01-16\_RU, «КАНЕВСКАЯ ГИДРОЭЛЕКТРО-СТАНЦИЯ, СПЕЦИФИКАЦИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ И КООРДИНАЦИИ ПРОЕКТА (СУКП) РЕКОНСТРУКЦИИ 2 БЛОКОВ», стр. 6-17.
2. ТКНВ-6101-DTS Generators K-2016-01-05\_RU, «КАНЕВСКАЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, Детальные технические спецификации (ДТС), ГЕНЕРАТОРЫ», с. 6.
3. «Расчет газоохладителей (трубки с проволочным оребрением)», ОТХ.208.512, ГП «ЭЛЕКТРОТЯЖМАШ», 1971 г.
4. «Вентиляционный расчет гидрогенератора типа SGK 538/160-70 /Каневская ГЭС/», ОТХ.215.516, Кирьянова, 1969 г.
5. Проектирование электрических машин/И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков и др.— М., 1980.
6. Н.Б. Варгафтик, Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М., Наука,1977-720с.
7. В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел Теплопередача ,М., Энергия,1969-440 с.
8. И.Е.Идельчик . Справочник по гидравлическим сопротивлениям, М., Машиностроение,1992-672 с.
9. Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, „Теплообменные аппараты холодильных установок’’,М., «Машиностроение», 1986-303с.
- 10.Справочник технолога машиностроителя под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова 1 т. М. «Машиностроение» 1985г. 655с.
- 11.Справочник технолога машиностроителя под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова 2 т. М. «Машиностроение» 1985г. 495с.
- 12.Расчет на прочность деталей машин, И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич.
- 13.Дудко А.В., Стрекаловская А.Д. Патентный поиск как инструмент повышения умений студентов эффективно заниматься научной работой [Текст] / А.В. Дудко, А.Д. Стрекаловская // Оренбургский государственный университет; г. Оренбург; 2015 г. - 5 с.
- 14.ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Чинний з 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 37 с.
- 15.Павленко В.Н., Набатов А.С., Сысоев Ю.А., Тараненко И. М. Требования и порядок оформления учебных и научно-исследовательских документов [Текст] : учебное пособие / В.Н. Павленко, А.С. Набатов, Ю.А. Сысоев, И.М. Тараненко.-Х : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. ав. ин-т», 2013. – 76 с.
- 16.А.с. 240084 СССР, Горизонтальный капсульный гидрогенератор / Г.Б. Пинский, П. М. Ипатов, Н. П. Иванов, А. С. Еремеев, К. В. Белянин, А. Н. Лурье и А. Б. Шапиро; опубл. 05.11.1962. – 3 с.

17. Пат. 1552298 СССР, Капсульный гидрогенератор / Хубуа Г. В.; опубл. 1974. - 3 с.
18. Пат. 393668 США, Cooling arrangement for electric generators of underwater power plants / Wolfgang Liebe, Berlin, Germany; published Feb. 3, 1976. - 4 с.
19. Пат. 4308464 США, Bulb type tubular turbine-generator / Kazuo Yamamoto, Kawasaki; published Dec. 29, 1981. - 7 с.
20. А.с. 1152295 СССР, Полюс погружной электрической машины с косвенным жидкостным охлаждением / И.А. Кади, В.И. Иогансен, В.П. Чернявский, Ф.С. Солодовник, Л.Н. Калачев, В.В. Коган; опубл. 1983 г. - 6 с.
21. Пат. 4445046 США, High power immersed turbo-generator set having a gear box and external cooling / Allegre Jean, Olivier Michel; published 1984. - 6 с.
22. Пат. 5333680 США, Cooling system for the chamber of a generator transmission unit / Franz Sinhuber; Aug. 2, published 1994. - 5 с.
23. Пат. 5796191 США, Bulb-type generator / Schwanda Josef; published 1998. - 10 с.
24. Пат. 6028380 США, Arrangement in a bulb generator / Bjorn Gevelt, Hokksund; published Feb. 22, 2000. - 15 с.
25. Пат. 1318299 Европейское патентное ведомство, Bulb turbine-generator unit / Duflon, Pierre 38120 St-Egrève, Fonkenell, Jacques 38140 Izeaux; published 11.06.2003. - 9 с.
26. Пат. 2285321 Российская Федерация, Система воздушного охлаждения горизонтального капсульного гидрогенератора / Кучинская З. М., Фомичев В. С., Владимирский С.А., Голубенцев Ю.С., Пинский Г.Б., Тарасова Т. В., Виноградов Е.Н., Чернявец В.В.; опубл. 22.11.2004. - 2 с.
27. Пат. 2011260458 США, Tubular turbine generator unit; Holstein Benjamin, Perner Norman, Borrmann Hans; published 2011. - 5 с.
28. Пат. 2012025641 США, Method and device for cooling an electric machine / Walter Harb, Johannes Erhard, Ernst Farnleitner; published Feb.2, 2012. - 9 с.
29. Пат. 203368236 Китай, Bulb type water turbine cooling and ventilating structure employing glass fiber reinforced plastic wind shield; published 2013. - 12 с.
30. Пат. 204003043 Китай, Energy-saving type cooling water system of bulb tubular generator set; published 2014. - 6 с.
31. Пат. 203387357 Китай, Centralized open ventilation and cooling system of bulb through-flow type hydraulic turbine generator; published 2014. - 5 с.
32. Пат. 2309512 Российская Федерация, Способ охлаждения электрической машины / Кади И.А., Шаров В.И., Карташова Т.Н.; опубл. 2016. - 9 с.