

УДК 004.89:004.4, 004.89:004.3, 621.039, 621.662/.666, 658.58
УКПП
№ держреєстрації 0121U112684
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет (СумДУ)
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2; тел. (0542) 33 41 08

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи,
д-р фіз.-мат. наук, проф.

_____ А. М. Черноус
« ____ » _____ 202_ р.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗВІТ
про виконання завдань Перспективного плану розвитку
наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету
(проміжний)

- 1. Розроблення перспективних конструкцій насосного обладнання для потреб атомних енергетичних блоків України з підвищеною вібронадійністю та енергетичною ефективністю.**
- 2. Створення випробувального стенду кіберзахищеної бортової системи безпілотного авіаційного комплексу для розпізнавання наземних природних, інфраструктурних об'єктів і транспортних засобів.**

Керівник НДР
д-р тех. наук, проф.

І. В. Павленко

2021

Рукопис закінчено 22 грудня 2021 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від 23 грудня 2021 р. №7

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, Старш. наук. співроб., д-р тех. наук	_____	І. В. Павленко (вступ, закл., підрозділи 4.6–4.7)
Відповідальні виконавці: Старш. наук. співроб., д-р тех. наук	_____	М. І. Сотник (вступ, закл. підрозділ 6.1)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, д-р тех. наук	_____	А. С. Довбиш (вступ, закл. розділ 7)
Виконавці:		
Старш. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	О. В. Ратушний (підрозділи 1.1–1.3)
Старш. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	В. Ю. Кондусь (підрозділи 4.1–4.3)
Старш. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	Д. О. Жигилій (підрозділи 4.4, 4.5)
Старш. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	О. В. Івченко (розділ 3)
Старш. наук. співроб., д-р тех. наук	_____	В. І. Симоновський (підрозділ 4.6)
Мол. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	В. О. Панченко (підрозділ 2.1)
Мол. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	С. П. Кулініч (підрозділ 2.2)
Мол. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	Е. В. Колісніченко (підрозділ 2.2)
Мол. наук. співроб., канд. тех. наук	_____	О. С. Ігнат'єв (підрозділ 2.2)

Мол. наук. співроб., д-р. тех. наук	_____	О. П. Гапонова (підрозділ 3.2)
Мол. наук. співроб., д-р. тех. наук	_____	А. С. Москаленко (розділ 7)
Мол. наук. співроб., д-р. тех. наук	_____	Х. В. Берладір (підрозділи 2.1, 3.2)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	С. М. Гудков (підрозділ 3.2)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	А. В. Загорулько (підрозділи 4.5–4.6)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, д-р. тех. наук	_____	В. О. Іванов (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	М. С. Скиданенко (підрозділ 3.2)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	Є. М. Савченко (підрозділ 4.5)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	О. Г. Гусак (підрозділ 4.2)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	С. О. Лугова (підрозділ 4.3)

Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	А. О. Нешта (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	Колесник В. О. (підрозділ 3.1)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	Ю. В. Симоновський (розділ 7)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	М. М. Дем'яненко (розділ 3)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	А. Є. Вербовий (розділ 4)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	А. О. Сохань (підрозділ 1.2)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	Д. І. Сухоставець (підрозділ 1.1)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	О. Є. Старинський (розділ 5)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	Я. І. Сапожніков (підрозділ 4.5)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	О. О. Позовний (підрозділ 4.6)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	Т. С. Родимченко (підрозділ 5.1)

Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	В. М. Рибальченко (підрозділи 5.1–5.3)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	В. В. Бойченко (підрозділи 5.1–5.3)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	О. М. Жаль (підрозділи 5.1–5.3)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	А. П. Яковенко (підрозділи 5.1–5.3)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру, канд. тех. наук	_____	С. В. Марченко (підрозділи 2.2, 3.1)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	В. А. Хоменко (підрозділ 4.7)
Виконавець за договором цивільно-правового характеру	_____	М. Є. Беседін (підрозділ 4.7)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 305 с., 130 рис., 56 табл., 35 джерела, 12 додатків.

АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, БЕЗПЛОТНИЙ АВІАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС, БОРТОВА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ, ВИПРОБУВАЛЬНО-НАЛАГОДЖУВАЛЬНИЙ СТЕНД, ЕНЕРГО-ЕФЕКТИВНІСТЬ, ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНЕ МАШИННЕ НАВЧАННЯ, НАСОС, РОБОЧЕ КОЛЕСО, УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ.

Об'єкт дослідження:

- 1) процес відцентрового робочого насоса та насосне обладнання;
- 2) процес машинного навчання автономної бортової системи розпізнавання наземних природних та інфраструктурних об'єктів.

Мета роботи:

1. Підвищення напірності ступенів насосних агрегатів та забезпечення вібраційної надійності функціональних елементів комплексної гідродинамічної системи на основі удосконалення конструкцій насосного обладнання атомних електростанцій (АЕС) шляхом розроблення технічних проєктів насосів водозабезпечення та допоміжних систем.

2. Удосконалення систем автономної навігації шляхом створення бортової системи, здатної розпізнавати системні і зовнішні трафіки, виявляти кібератаки та несанкціоновані вторгнення.

Предмет дослідження:

1. Гідродинаміка перекачуваного середовища у насосах систем АЕС; вплив режимних та конструктивних параметрів проточної частини на напірні та енергетичні характеристики насосів АЕС.

2. Категорійні функціональні моделі та методи інформаційно-екстремального машинного навчання автономної бортової системи

безпілотного літального апарату для розпізнавання наземних природних та інфраструктурних об'єктів.

Методи дослідження. На емпіричному рівні наукових досліджень були застосовані методи проведення фізичних експериментів (експериментальної гідромеханіки, прямого спостереження тощо з подальшим програмним обробленням із застосуванням програмного продукту MatLab) та чисельного моделювання (скінченноелементний аналіз і методи обчислювальної гідродинаміки в програмному комплексі ANSYS з подальшим обробленням у системі комп'ютерної алгебри MathCAD), а також методів розпізнавання образів, теорії прийняття рішень і засобів штучного інтелекту.

Математичні моделі на теоретичному рівні досліджувалися на основі методів розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь та їх систем (послідовних наближень, розділення змінних Фур'є, комплексних амплітуд, гармонічної лінеаризації, перетворення Лапласа, нескінченних степеневих рядів, Рунге – Кутти та Булірша – Штера).

Аналіз одержаних закономірностей здійснювався із застосуванням методів математичного аналізу.

Оцінювання параметрів математичних моделей за результатами чисельних та експериментальних досліджень виконувався за допомогою квазілінійного регресійного аналізу із застосуванням методів Монте-Карло, найменших квадратів, простих ітерацій та штучних нейронних мереж.

Теоретичні розробки були перевірені засобами імітаційного моделювання, моделі яких базуються на реально існуючих конструкціях насосного обладнання та порівнянням отриманих результатів моделювання напірних характеристик, показників вібраційного стану та надійності запроектованого насосного устаткування з паспортними даними насосного обладнання, що експлуатується на АЕС.

Машинне навчання здійснювалося за так званим інформаційно-екстремальним методом, розробленим в проблемній науково-дослідній лабораторії інтелектуальних систем. Основна перевага цього методу у

порівнянні з нейроподібними структурами полягає в тому, що він розроблений в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів природнього інтелекту при формуванні та прийнятті класифікаційних рішень..

Головна ідея проекту полягає у розробленні конструкторської та супровідної документації на насоси і насосні агрегати, які мають підвищені показники щодо надійності та енергоефективності (відносно насосних агрегатів, які наразі експлуатуються) для систем реакторів ВВЕР-1000 українських атомних електричних станцій (АЕС) для заміни й імпотозаміщення застарілого насосного обладнання виробництва РФ, яке фактично відпрацювало свій повний термін експлуатації. Також за результатами моделювання на випробувально-налагоджувальному стенді у вигляді лабораторного макету наземного пункту керування безпілотним авіаційним комплексом розроблено, відлагоджено за оптико-електронною системою спостереження та верифіковано алгоритмічне і програмне забезпечення машинного навчання бортової системи для розпізнавання наземних об'єктів.

ЗМІСТ

ВСТУП	12
1 ПРИЗНАЧЕННЯ І ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБІВ, ЩО РОЗРОБЛЯЮТЬСЯ	14
1.1 Коротка характеристика області та умов застосування виробів.....	14
1.2 Загальна характеристика об'єкта, для застосування у якому призначено виріб	23
1.3 Основні дані, які повинні забезпечувати стабільність показників якості виробу в умовах експлуатації	32
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА	40
2.1 Основні технічні характеристики виробів.....	40
2.2 Відомості про відповідність або відхилення від вимог, установлених технічним завданням і попередніми стадіями розробки	47
3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	57
3.1 Опис та обґрунтування обраної конструкції, схем та інших технічних рішень, прийнятих і перевірених на стадії розробки технічного проекту	57
3.2 Дані порівняння основних технічних характеристик виробів з характеристиками аналогів	64
4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ РОБОТОЗДАТНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ	71
4.1 Розроблення 3D моделі елементів проточної частини насоса	71
4.2 Математичне моделювання гідродинамічних процесів у 3D моделі елементів проточної частини насоса	80
4.3 Виконання параметричних розрахунків проточної частини насоса.....	88
4.4 Розрахунок торцевих ущільнень	91
4.5 Розрахунок витоків та динамічних коефіцієнтів жорсткості та демпфірування в шпаринних ущільненнях відцентрових насосів.....	131

4.6 Виконання розрахунків на міцність і вібростійкість деталей та елементів насоса і насосного агрегата	144
4.7 Математична модель вимушених коливань ротора відцентрових насосів з урахуванням зовнішнього і внутрішнього тертя	157
5 ОПИС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВИРОБУ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ.....	161
5.1 Опис специфічних прийомів і способів роботи з виробом в режимах і умовах, передбачених технічним завданням	161
5.2 Опис порядку та способів упакування, транспортування, монтажу, зберігання виробу та введення його в дію на місці експлуатації	165
5.3 Оцінка експлуатаційних даних виробу	167
6. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА НЕОБХІДНІ РОЗРАХУНКИ, ОРІЄНТОВНИЙ РОЗРАХУНОК ЦІНИ ВИРОБУ	179
6.1 Економічні показники та необхідні розрахунки, орієнтовний розрахунок ціни виробу	179
7. ІНФОРМАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНОЇ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НАЗЕМНИХ ПРИРОДНИХ ТА ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ	188
7.1 Сучасний стан і тенденції застосування автономних безпілотних літальних апаратів	188
7.2 Аналіз методів машинного навчання	196
7.3 Формалізована постановка задачі інформаційного синтезу автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів	199
7.4 Основні положення інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних	201
7.5 Оцінка функціональної ефективності інформаційно-екстремального машинного навчання	206
7.6 Формування вхідного математичного опису автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів.....	212

7.7 Інформаційно-екстремальне машинне навчання бортової системи розпізнавання наземних об'єктів з оптимізацією базового класу розпізнавання.....	216
7.8 Базовий алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання	218
7.9 Функціонування автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів в режимі екзамену	224
7.10 Інформаційно-екстремальне машинне навчання бортової системи розпізнавання наземних об'єктів з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання	228
7.11 Структура, функції та засоби створення випробувально-налагоджувального стенду для машинного навчання автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів	236
7.12 Приклад інформаційно-екстремального машинного навчання автономної і бортової системи розпізнавання наземних об'єктів	250
ВИСНОВКИ	256
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	259
ДОДАТКИ.....	263

ВСТУП

Проблема, на вирішення якої спрямована робота полягає в тому, що на діючих АЕС України з реакторами ВВЕР-1000 (згідно з існуючою проектною документацією блоків) експлуатуються насоси ТХ 800/70/8-К-2Е систем розхолодження басейну витримки та промонтажу, Х 8/60-К-2Г системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП, Х 45/90-К-2Г подачі на очистку аварійного розчину бору. Виробництво зазначених насосних агрегатів та запасних частин до них наразі в Україні відсутнє, потреби українських АЕС у запасних частинах та насосах задовольняються шляхом закупівлі їх за кордоном, а саме у монопольних виробників, що знаходяться на території РФ. Це негативно впливає на цінові показники такої продукції, більше того, через політичні причини, в певний момент може негативно вплинути на енергетичну безпеку держави та призводить до підвищення вартості виробництва електроенергії українськими АЕС.

Тобто, постачання зазначеної продукції для забезпечення безаварійної експлуатації ядерних установок українських АЕС є позицією критичного імпорту, що впливає на енергетичну безпеку України в цілому.

З урахуванням вищезазначеного, а також того, що вказані насоси потребують поступової заміни на діючих АЕС України та постачання на блоки АЕС України, що будуються (такі як 3 та 4 блоки Хмельницької АЕС) доцільним є забезпечення освоєння власного виробництва модернізованих насосних агрегатів з підвищеними показниками щодо енергоефективності і надійності аналогічних існуючим насосам на профільних підприємствах України з метою імпортозаміщення.

Виробництво Україною власних насосів вирішить питання їхнього імпортозаміщення а також забезпечить у подальшому можливість поступової заміни застарілих насосів, що експлуатуються на українських АЕС російського виробництва новими сучасними насосами з підвищеними показниками щодо надійності та енергоефективності.

Організація виробництва насосного обладнання зазначеного типорозміру на вітчизняних промислових потужностях повинна стати поштовхом до подальшого розвитку промислового та паливно-енергетичного комплексу України, підвищити енергонезалежність держави, підвищити зайнятість населення. Цінові показники освоєної на українських підприємствах продукції за розробленою конструкторською документацією дозволять суттєво знизити обсяги щорічних закупівель такого насосного обладнання та запасних частин до нього.

У рамках реалізації науково-дослідної роботи розроблені технічні проекти насосних агрегатів АЦНА 600-35, АЦНА 600-35-1, АЦНА 8-60 та АЦНА 45-90, призначені для добудови блоків №№ 3,4 Хмельницької АЕС та для заміни на діючих блоках АЕС України з реакторами ВВЕР-1000 в рамках імпортозаміщення у відповідності з вимогами керуючої організації ДП «НАЕК Енергоатом».

Насосний агрегат АЦНА 600-35 призначений на заміну агрегата ТХ 800/70/8-К-2Е системи розхолодження басейну витримки, АЦНА 600-35-1 – на заміну агрегата ТХ 800/70/8-К-2Е системи промонтажу, Х 8/60 – К – 2Г системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП, Х 45/90 – К – 2Г подачі на очистку аварійного розчину бору.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ І ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБІВ, ЩО РОЗРОБЛЯЮТЬСЯ

1.1 Коротка характеристика області та умов застосування виробів

1.1.1 Насос системи розхолодження басейну витримки

Схема руху атомного палива по активній зоні у прийнятому наразі паливному циклі є традиційною. Вона здійснюється за три перегрузки палива в активній зоні. Свіжі ТВЗ збагачені 4,4% по урану 235 встановлюються на периферії активної зони і частково вигорівші - переставляються ближче до центру. Відпрацьоване за три роки паливо видаляється з центру активної зони. Така схема руху палива (периферія - центр) дозволяє забезпечувати рівномірне енерговиділення у паливі і максимальний запас до кризи теплообміну води на оболочках ТВЕЛ.

Вивантажені з ядерного реактора ТВЗ, що відпрацювали три роки містять всередині твелів велику кількість радіоактивних речовин ("осколків" розподілу урану). Їх розміщують у воді басейну витримки, де зменшується їхня радіоактивність і потужність залишкових енерговиділень.

Практика експлуатації вітчизняних та зарубіжних АЕС з водо-водяними реакторами, а також відомі проектні рішення з питань перевантаження ВВЕР дають підстави стверджувати, що найбільш оптимальним для цього типу реакторів є так званий "мокрый" спосіб перевантаження. "Мокре" перевантаження передбачає транспортування відпрацьованих касет від реактора до місця витримки під шаром води. Виходячи з цього генеральним проєктувальником РУ ВВЕР-1000 (ОКБ "Гідропрес") був прийнятий "мокрый" спосіб перевантаження.

Організація зберігання відпрацьованих ТВЗ в приреакторних басейнах витримки з подальшим відправленням їх на завод по регенерації або в окремі довготривалі сховища - заключний етап всієї технологічної схеми експлуатації ядерного палива на АЕС.

Передбачається тривала витримка відпрацьованого палива в басейнах при АЕС для забезпечення спаду залишкового тепловиділення, через активність продуктів поділу, при якій транспортування його до місця призначення стане можливою і економічно доцільною.

Після вивантаження з реактора і до відправлення на регенерацію відпрацьоване паливо має зберігатися в басейні витримки не менше трьох років для спаду залишкових енерговиділень до необхідного значення.

Для відводу залишкового тепла реакторний цех експлуатує систему охолодження басейну витримки (БВ). Устаткування системи охолодження басейну витримки отмаркіровано латинськими буквами TG.

Система охолодження БВ призначена для відводу тепла від знаходяться в касетних відсіках відпрацьованих або тимчасово вивантажених з реактора ТВЗ. Тепло відводиться технічною водою VF, що циркулює в трубному просторі теплообмінників розхолодження БВ. До складу системи входять: насоси розхолодження, теплообмінники розхолодження, трубопроводи, арматура, прилади КВП.

Вода в кожному відсіку басейну витримки циркулює через систему охолодження БВ, яка забезпечує допустиму температуру води басейну витримки не більше 70°C (при аварійній вивантаженні зони), визначену виходячи з умови неприпустимість закипання охолоджуючої води і розплавлення палива від залишкових енерговиділень.

Для подачі води до відсіків БВ передбачена установка 3-х насосів і 3-х теплообмінників. Кожен насос може подати воду в будь-який відсік БВ, для чого на всмоктуванні і напорі насосів передбачена перемичка.

При компонуванні насоси з відповідним теплообмінником були розташовані в окремих приміщеннях, не пов'язаних один з одним, що дозволяє забезпечувати незалежність каналів охолодження, електропостачання, контролю тощо.

У разі відмови працюючого насоса розхолодження БВ здійснюється від резервного насоса, що включається оператором БЩУ. Насоси охолодження

БВ запитані від секцій 2 категорії надійного запитування, які в разі знеструмлення отримують енергопостачання від дизель-генератора.

На напірних і всмоктувальних магістралях системи встановлені по дві локалізуючі пневмоарматури. З метою недопущення переповнення басейну в кожному з його відсіків встановлено по 2 переливу, один з яких відповідає рівню води при тривалому зберіганні палива, другий - рівню води при перевантаженні.

Всі трубопроводи, що входять і виходять з паливних відсіків БВ заведені зверху басейну таким чином, щоб їхні розриви не приводили до зниження рівня нижче позначки, необхідної для режиму зберігання палива. Крім того, напірні трубопроводи від насосів, що проходять під шаром води до самого дна відсіків, обладнані пристроєм пасивного зриву сифона, який може виникнути при розриві зазначених трубопроводів. Ці пристрої являють собою гідрозатвор з отвором у верхній точці, що з'єднує гідрозатвор з атмосферою захисній оболонці.

Основним критерієм виконання системою розхолодження БВ своїх функцій є підтримка температури в басейні витримки не більше 50°C при плановій перевантаженні і тривалому зберіганні палива та не більше 70°C при вивантаженні всієї активної зони.

Система охолодження БВ є системою, важливою для безпеки, в частині напірних трубопроводів в гермозоні вона відноситься до захисних систем безпеки. У частині інших трубопроводів система є системою нормальної експлуатації.

Устаткування системи зберігання відпрацьованих ТВЗ і конструкції БВ розраховані на навантаження при сейсмічній дії не менше 7 балів за шкалою MSK-64, на ударну хвилю від розриву головного циркуляційного трубопроводу, ваги ТВЗ, стелажів і води БВ.

На даний час для створення циркуляції в системі охолодження БВ застосовуються насоси типу ТХ800/70/8-К-2 Е, які виготовляються ПО "Уралгідромаш" (м Сисерть Свердловської області, РФ).

1.1.2 Насос промконтуру

Для охолодження обладнання та зниження температури робочих середовищ систем реакторного відділення (РВ), як правило, використовується технічна вода групи «А» (VF) і «В» (VB). Однак в разі охолодження споживачів з радіоактивним середовищем при високих параметрах з використанням систем техводи при пошкодженні теплообмінних пристроїв можливе її забруднення внаслідок надходження радіоактивних речовин. У цьому випадку використання технічної води небажано, оскільки може відбуватися забруднення навколишнього середовища.

Тому в РВ є промконтур - система, спроектована для відводу тепла від споживачів, які працюють з радіоактивними теплоносіями високих параметрів:

- головних циркуляційних насосів;
- охолоджувача організованих протікань;
- доохолоджувача продувки 1-го контуру;
- охолоджувача барботера;
- охолоджувачів відбору проб з реактора та інших систем.

Вода промконтура, охолоджуючи споживачів, циркулює по замкнутому контуру за допомогою насосів промконтура і охолоджується в теплообмінниках промконтура технічною водою. Таким чином, промконтур - замкнута система, яка не виходить за межі будівлі реакторного відділення і служить сполучною ланкою між радіоактивними споживачами і техводою групи «А» 1, 2 систем безпеки. Промконтур запобігає потраплянню радіоактивних ізотопів в технічну воду у разі порушення герметичності устаткування, безпосередньо пов'язаного з 1-м контуром.

У основу проекту системи промконтура покладені вимоги до неї з боку реакторної установки, згідно з якими критерієм виконання покладених на систему функцій є забезпечення відводу тепла від устаткування. Система промконтура – система нормальної експлуатації, важлива для безпеки.

Устаткування та арматура частини системи, розташованої в герметичній оболонці, розраховані на аварійні параметри, що виникають при аваріях пов'язаних з розушільненням трубопроводів 1-го контуру.

Система відноситься до 2-ї категорії сейсмостійкості. Устаткування системи промконтур маркується латинськими літерами TF.

Система промконтур функціонує у всіх режимах нормальної експлуатації, включаючи пуск і зупинення енергоблока, в режимах знеструмлення енергоблоку. В аварійних режимах, пов'язаних з підвищенням тиску під оболонкою більше $0,3 \text{ кгс / см}^2$ або зниженням запасу до закипання теплоносія 1-го контуру менше $10 \text{ }^\circ \text{C}$, робота системи не вважається необхідною. У даній ситуації закривається вся пневмовідсічна арматура на подачі промконтур до споживачів гермооб'єму і система перестає виконувати свої функції.

Система промконтур складається з трьох насосів промконтур, двох теплообмінників, дихального бака, трубопроводів, арматури і споживачів охолоджувальної води.

Тепло, відведений теплоносієм промконтур від споживачів РВ, передається технічній воді групи «А» VF в теплообмінниках промконтур. З метою організації технічного обслуговування і чищення теплообмінників TF їх в системі встановлено два; для нормальної роботи одного досить для організації теплотойому.

Для безперебійного охолодження споживачів в системі передбачено три насоса, один з яких знаходиться в роботі при експлуатації системи, а решта – в резерві. Один з резервних насосів промконтур може бути виведений в ремонт.

Загальна витрата по споживачах становить $610 \text{ м}^3 / \text{год}$. Безпосереднього контакту з системами реакторної установки, які є споживачами промконтур, система не має, так як вона і призначена для виключення контакту охолоджувальної і охолоджуючої середовищ. Відведення тепла від

споживачів відбувається в теплообмінниках поверхневого типу, де контакт середовищ відсутній.

В якості теплоносія в системі промконтура використовується хімічно очищена вода (дистилят). Система промконтура має зв'язок з системою дистиляту РВ, так як вона заповнюється і підживлюється від системи дистиляту через відповідний трубопровід.

Проектом передбачений автоматичний контроль радіоактивності води промконтура. Для компенсації температурних змін і підтримки необхідного обсягу води в замкнутій системі промконтура встановлений дихальний бак об'ємом 1 м³.

Трубопроводи і обладнання системи промконтура виготовлені виходячи з вимог до якості робочої середовища, забезпечення працездатності системи в умовах нормальної експлуатації і порушень нормальних умов експлуатації з корозійностійкої сталі.

Для виконання технологічних переключень система забезпечена сифонною запірною арматурою, спеціально виконаною для АЕС. На напірних і зливних трубопроводах промконтура споживачів гермозони устанавлена пневмопривідна арматура, по дві в обстройці і одна в гермозоні на кожному трубопроводі, яка служить для локалізації гермооб'єму при аваріях, пов'язаних з розущільненням 1-го контуру. Час закриття арматури не повинен перевищувати 10 с.

Арматура та обладнання системи промконтура запитані електропостачанням від системи надійного живлення. При знеструмленні секцій надійного живлення вони живляться від аварійних дизель-генераторів.

Наразі у системі промконтуру застосовуються насоси типу ТХ800/70/8-К-2 Е, які виготовляються ПО "Уралгідромаш" (м Сисерть Свердловської області, РФ).

У системах розхолодження басейну витримки та промконтуру наразі застосовуються насосні агрегати ТХ 800/70/8-К-2Е з маркуванням ТГ11-13D01 та ТФ31-33D01 відповідно.

1.1.3 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

Цей насос, що має маркування 2UE30D01 призначений для створення тиску в підсистемі 2UE30 подачі дистиляту в барботажний бак, для його гідровипробувань і в продуванні колектора для продувки датчиків КВП.

До складу підсистеми 2UE30 входять:

- насос 2UE30D01;
- арматура;
- трубопроводи, дросельні шайби;
- КВП.

Робота системи полягає в подачі дистиляту з напірних трубопроводів насосів системи дистиляту TN21,22,23D01 в:

- барботажний бак у режимі гідровипробувань;
- продувальні колектори.

Насоси TN21,22,23D01 здійснюють подачу дистиляту і використовуються для створення тиску на всмоктуванні насоса 2UE30D01, тобто є «першим ступенем» підйому тиску в підсистемі 2UE30 (з 0 до $5 \div 7$ кгс / см^2). «Другим ступенем» є насос 2UE30D01 (підйом з $5 \div 7$ до $11 \div 13$ кгс / см^2).

Робоче середовище на всмоктування насоса 2UE30D01 подається з напірного колектора насосів TN21,22,23D01, або з трубопроводу рециркуляції цих насосів. Потім дистилят подається насосом 2UE30D01 в напірний колектор, з якого виробляється його подача на споживачів. Всмоктування з трубопроводу рециркуляції насосів TN21,22,23D01 здійснюється при неможливості подачі дистиляту в напірний колектор насосів TN (при проведенні на ньому ремонтних робіт).

Подача дистиляту в продувні колектори датчиків КВП низького тиску (до 8 кгс / см^2) проводиться безпосередньо з напірного колектора насосів TN21,22,23D01.

Для отримання необхідного тиску в напірному колекторі насоса 2UE30D01 використовується лінія рециркуляції, що здійснює перепуск частини робочого середовища з напірного колектора в бак.

Для захисту барботажного бака від перевищення тиску вище допустимого, при проведенні гідравлічних випробувань, на напірному колекторі насоса 2UE30D01 встановлений запобіжний клапан. При його спрацьовуванні скидання середовища відбувається в трап системи спецканалізації реакторного відділення.

На даний час у підсистемі 2UE30 застосовуються насоси типу X 8/60/ K-2Г, які виготовлялися ТОВ «Целінгідромаш» (м Нур-Султан, Казахстан).

1.1.4 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Для отримання прийнятної тривалості роботи реактора (так званої кампанії реактора) в нього необхідно завантажити надкритичну кількість ядерного палива. Створений у реакторі запас реактивності необхідно компенсувати.

У сучасних реакторах типу ВВЕР, що експлуатуються українським АЕС, створений запас реактивності компенсується механічними органами регулювання та рідким поглиначем – борною кислотою, розчиненою у воді 1-го контуру. Така форма управління реактивністю називається рідинним регулюванням. Борне регулювання використовується на всіх потужних енергетичних реакторах з водою під тиском. Сутність борного регулювання полягає в тому, що надмірна реактивність при пуску реактора після навантаження компенсується введенням в теплоносій 1-го контуру рідкого поглинача нейтронів – борної кислоти. У ході роботи реакторної установки (РУ) на потужності проводиться поступове плавне зменшення концентрації борної кислоти в теплоносії 1-го контуру шляхом водообміну компенсації вигорання ядерного палива. Є багато причин для використання розчинених у теплоносії поглиначів. При цьому зменшується кількість поглинаючих

стрижнів разом із приводами та електрообладнанням схеми управління, що призводить до економії витрат. Борна кислота рівномірно розподіляється в теплоносії 1-го контуру, і тому при зміні її концентрації не порушується розподіл енерговиділення в активній зоні. високий переріз поглинання теплових нейтронів. Природний бір має нижчу поглинаючу здатність через розведення бору-10 бором-11. Борна кислота має цілу низку важливих переваг у порівнянні з іншими розчинними у воді поглиначами нейтронів – «нейтронними отрутами»: борна кислота добре розчиняється у воді, її розчинність зростає з підвищенням температури; вона мало реагує з матеріалами контуру, причому її інертність зростає з підвищенням температури; вона не відкладається і не дає з'єднань, здатних відкладатися на внутрішніх поверхнях конструкційних елементів реакторної установки. Різні операції, пов'язані зі зміною концентрації борної кислоти в теплоносія 1-го контуру, умовно називають борним регулюванням. Для збільшення концентрації розчину борної кислоти (РБК) в 1-му контурі концентрований розчин борної кислоти подається в 1-й контур підживлювальними насосами. Щоб зменшити концентрацію, можна використовувати систему продування-підживлення (злив теплоносія 1-го контуру з поточним вмістом бору та заміну його чистим дистилятом) або поглинання борної кислоти аніонітними фільтрами. Відповідно для здійснення борного регулювання у складі обладнання реакторного відділення повинні бути баки для зберігання розчину борної кислоти та насоси для його подачі до споживачів. Для виконання зазначених вище завдань є системи боровмісної води та борного концентрату. Обладнання систем боровмісної води та борного концентрату маркується латинськими літерами ТВ. Системи боровмісної води та борного концентрату забезпечує певну гнучкість і автономність у роботі з застосуванням у технологічних процесах розчином борної кислоти, а також створюють оперативний резервний обсяг РБК, що використовується при регулюванні потужності та зупинення РУ.

Система борного концентрату призначена для створення запасу та зберігання борного концентрату в баках; подачі його в перший контур насосами при борному регулюванні в режимі нормальної експлуатації та аварійних режимах енергоблоку, а також для подачі борного концентрату для очищення насосом.

Система боровмісної води ТВ30, у якій експлуатується насос подачі на очистку аварійного розчину бору призначена для:

- створення запасу та зберігання боровмісної води в баках;
- заповнення першого контуру;
- підживлення басейну витримки та баків;
- прийому води при дренаванні першого контуру, баків;
- ведення водообміну.

Наразі у системі подачі на очистку аварійного розчину бору застосовуються насоси типу X 45/90/К-2Г, які виготовляються АТ "Катайський насосний завод" (м Катайськ Курганської області, РФ). Насос має маркуванням ТВ30D04.

1.2 Загальна характеристика об'єкта, для застосування у якому призначено виріб

1.2.1 Насоси системи розхолодження басейну витримки

Агрегати АЦНА 600-35 (ідентифікатор TG11D01, TG12D01, TG13D01) є елементом системи охолодження басейну витримки і перевантаження палива (TG) та призначені для здійснення примусової циркуляції з метою відводу тепла в касетних відсіках (TG21B01, TG21B02, TG21B03) від відпрацьованих або тимчасово вивантажених з реактора ТВЗ (тепловиділяючих збірок).

Агрегати АЦНА 600-35 (ідентифікатор TG11D01, TG12D01, TG13D01) встановлюються у приміщенні технологічного устаткування А-123/1,2,3 зони суворого режиму реакторного відділення, на відмітці 0,000 м.

Класифікація агрегатів залежно від ступеня впливу на безпеку, класифікаційне позначення, група обладнання та категорія сейсмостійкості вказані в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Класифікація агрегатів

Найменування насосного агрегату	АЦНА 600-35
Ідентифікатор	TG11D01 TG12D01 TG13D01
Клас безпеки згідно НП 306.2.141-2008	2
Класифікаційне позначення згідно НП 306.2.141-2008	2Н
Група обладнання згідно НП 306.2.227-2020	В
Категорія сейсмостійкості згідно НП 306.2.208-2016	I

Складальні одиниці і деталі, що відносяться до корпусу насоса, повинні відповідати вимогам НП 306.2.227-2020, СОУ НАЕК 158:2020, СОУ НАЕК 159:2020, СОУ НАЕК 160:2020 і ПНАЭ Г-7-002-86.

Арматура, що відноситься до корпусу насоса і входить в комплект поставки агрегату, повинна відповідати вимогам ОТТ-87

Агрегат АЦНА 600-35 повинен виконувати свої функції щодо забезпечення безпеки АЕС під час і після проходження землетрусу інтенсивністю до максимального розрахункового землетрусу (МРЗ) включно.

Обґрунтування сейсмостійкості агрегатів при сейсмічних впливах має проводитися розробником розрахунковим шляхом відповідно до ПНАЕ Г-7-002-86.

Розрахунки на сейсмостійкість повинні виконуватися з умови одночасного сейсмічного впливу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (горизонтальних – X, Y і вертикальному – Z).

Допускається розрахунки на сейсмостійкість агрегату виконувати за умовами сейсмічного впливу окремо за трьома напрямками (компонентами).

Вихідними даними для розрахунків повинні бути впливи рівня МРЗ, повторюваністю один раз в 10000 років.

При укладанні договорів на поставку агрегатів або насосів постачальнику обладнання повинні надаватися дані для можливості виконання розрахунків на сейсмічні впливи для заданих майданчиків блоків АЕС.

Критерії міцності при сейсмічних впливах відповідно до ПН АЕ Г-7-002-86.

Група умов експлуатації агрегатів – Е1.2 (приміщення технологічного устаткування), група умов розміщення агрегату – Р3.1 (на будівельних конструкціях) згідно СОУ НАЕК 100:2016.

Режим роботи агрегатів – постійний.

Агрегат АЦНА 600-35 повинен бути виготовлений для експлуатації в кліматичному виконанні УХЛ4, категорії розміщення 4 (при нижньому значенні температури навколишнього повітря плюс 5°С і верхньому плюс 40°С), в атмосфері типу II по ГОСТ 15150-69 та іншими зовнішніми впливовими факторами навколишнього середовища відповідно з вимогами 3.9.

Категорія приміщення по вибухонебезпечності та пожежною небезпекою, в якій встановлюються агрегати – «Д» відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Агрегати не призначені для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах відповідно до «Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)».

Кваліфікація агрегатів, включаючи двигуни, що входять до їхнього складу, повинна бути виконана у відповідності до вимог НП 306.2.141-2008.

Умовне позначення агрегатів АЦНА 600-35:

де: А – відмітний індекс агрегату;

насос ЦНА 600-35;

де: ЦН – відцентровий насос;

А – для АЕС;

600 – номінальна подача базового насоса, м³/год;

35 – напір базового насоса при номінальній подачі, м.

1.2.2 Насос системи промконтур

Агрегати АЦНА 600-35-1 (ідентифікатор TF31D01, TF32D01, TF33D01) є елементом системи води промконтур (TF) та призначені для здійснення примусової циркуляції з метою охолодження теплообмінників ГЦН, барботажного бака, доохолоджувача продувки I контуру, охолоджувача організованих витоків, охолоджувачів системи відбору проб.

Агрегати АЦНА 600-35-1 (ідентифікатор TF31D01, TF32D01, TF33D01) встановлюються у приміщенні технологічного устаткування зони суворого режиму реакторного відділення, на відмітці +6,600 м.

Класифікація агрегатів залежно від ступеня впливу на безпеку, класифікаційне позначення, група обладнання та категорія сейсмостійкості вказані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Класифікація агрегатів

Найменування насосного агрегату	АЦНА 600-35-1
Ідентифікатор	TF31D01 TF32D01 TF33D01
Клас безпеки згідно НП 306.2.141-2008	3
Класифікаційне позначення згідно НП 306.2.141-2008	3Н
Група обладнання згідно НП 306.2.227-2020	С
Категорія сейсмостійкості згідно НП 306.2.208-2016	II

Складальні одиниці і деталі, що відносяться до корпусу насоса, повинні відповідати вимогам НП 306.2.227-2020, СОУ НАЕК 158:2020, СОУ НАЕК 159:2020, СОУ НАЕК 160:2020 і ПНАЭ Г-7-002-86.

Арматура, що відноситься до корпусу насоса і входить в комплект поставки агрегату, повинна відповідати вимогам ОТТ-87 Агрегат АЦНА 600-

35-1 повинен зберігати працездатність після проходження землетрусу інтенсивністю до проектного землетрусу (ПЗ) включно.

Обґрунтування сейсмостійкості агрегатів при сейсмічних впливах має проводитися розробником розрахунковим шляхом відповідно до ПНАЕ Г-7-002-86.

Розрахунки на сейсмостійкість повинні виконуватися з умови одночасного сейсмічного впливу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (горизонтальних – X, Y і вертикальному – Z).

Допускається розрахунки на сейсмостійкість агрегату виконувати за умовами сейсмічного впливу окремо за трьома напрямками (компонентами).

Вихідними даними для розрахунків повинні бути впливи рівня ПЗ, повторюваністю один раз в 100 років.

При укладанні договорів на поставку агрегатів або насосів постачальнику обладнання повинні надаватися дані для можливості виконання розрахунків на сейсмічні впливи для заданих майданчиків блоків АЕС.

Критерії міцності при сейсмічних впливах відповідно до ПН АЕ Г-7-002-86.

Група умов експлуатації агрегатів – Е1.2 (приміщення технологічного устаткування), група умов розміщення агрегату – Р3.1 (на будівельних конструкціях) згідно СОУ НАЕК 100:2016.

Режим роботи агрегатів – постійний.

Агрегат АЦНА 600-35-1 повинен бути виготовлений для експлуатації в кліматичному виконанні УХЛ, категорії розміщення 4 (при нижньому значенні температури навколишнього повітря плюс 15 °С і верхньому плюс 60 °С), в атмосфері типу II по ГОСТ 15150-69 та іншими зовнішніми впливовими факторами навколишнього середовища відповідно з вимогами 3.9.

Категорія приміщення по вибухонебезпечності та пожежною небезпекою, в якій встановлюються агрегати – «Д» відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Агрегати не призначені для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах відповідно до «Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)».

Кваліфікація агрегатів, включаючи двигуни, що входять до їхнього складу, повинна бути виконана у відповідності до вимог НП 306.2.141-2008.

Умовне позначення агрегатів АЦНА 600-35-1:

де: А – відмітний індекс агрегату;

насос ЦНА 600-35-1

де: ЦН – відцентровий насос;

А – для АЕС;

600 – номінальна подача базового насоса, м³/год;

35 – напір базового насоса при номінальній подачі, м; 1 – порядковий номер модифікації.

1.2.3 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

Агрегати АЦНА 8-60 (ідентифікатор UE30D01) призначені для гідровипробувань барботера та продувки датчиків КВП.

Агрегати встановлюються у приміщенні реакторного відділення, на відмітці +6,600 м.

Агрегат, включаючи електродвигун (далі – двигун), що входить до його складу, повинні відноситися до обладнання класу безпеки 3 (класифікаційне позначення – 3Н) згідно НП 306.2.141-2008. Група обладнання – С згідно НП 306.2.227-2020.

Складальні одиниці і деталі, що відносяться до корпусу насоса, повинні відповідати вимогам НП 306.2.227-2020, СОУ НАЕК 158:2020, СОУ НАЕК 159:2020,

СОУ НАЕК 160:2020 і ПНАЭ Г-7-002-86.

Арматура, що відноситься до корпусу насоса і входить в комплект поставки агрегату, повинна відповідати вимогам ОТТ-87

Агрегат повинен відноситися до категорія сейсмостійкості II згідно НП 306.2.208-2016 та повинен зберігати працездатність після проходження землетрусу інтенсивністю до проектного землетрусу (ПЗ) включно.

Обґрунтування сейсмостійкості агрегатів при сейсмічних впливах має проводитися розробником розрахунковим шляхом відповідно до ПНАЕ Г-7-002-86.

Розрахунки на сейсмостійкість повинні виконуватися з умови одночасного сейсмічного впливу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (горизонтальних – X, Y і вертикальному – Z).

Допускається розрахунки на сейсмостійкість агрегату виконувати за умовами сейсмічного впливу окремо за трьома напрямками (компонентами).

Вихідними даними для розрахунків повинні бути впливи рівня ПЗ, повторюваністю один раз в 100 років.

При укладанні договорів на поставку агрегатів або насосів постачальнику обладнання повинні надаватися дані для можливості виконання розрахунків на сейсмічні впливи для заданих майданчиків блоків АЕС.

Критерії міцності при сейсмічних впливах відповідно до ПН АЕ Г-7-002-86.

Група умов експлуатації агрегатів – Е1.2 (приміщення технологічного устаткування), група умов розміщення агрегату – Р3.1 (на будівельних конструкціях) згідно СОУ НАЕК 100:2016.

Режим роботи агрегатів – періодичний.

Агрегат АЦНА 8-60 повинен бути виготовлений для експлуатації в кліматичному виконанні УХЛ4, категорії розміщення 4 (при нижньому значенні температури навколишнього повітря плюс 5 °С і верхньому плюс 40 °С), в атмосфері типу II за ГОСТ 15150-69.

Категорія приміщення по вибухонебезпечності та пожежною небезпекою, в якій встановлюються агрегати – «Д» відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Агрегати не призначені для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах відповідно до «Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)».

Кваліфікація агрегатів, включаючи двигуни, що входять до їхнього складу, повинна бути виконана у відповідності до вимог НП 306.2.141-2008.

Умовне позначення агрегатів АЦНА 8-60:

де: А – відмітний індекс агрегату;

насос ЦНА 8-60

де: ЦН – відцентровий насос;

А – для АЕС;

8 – номінальна подача базового насоса, м³/год;

60 – напір базового насоса при номінальній подачі, м.

1.2.4 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Агрегати АЦНА 45-90 (ідентифікатор ТВ30D04) є елементом системи боровмісної води (ТВ30) та призначені для відкачки води баку аварійного запасу бору на очищення.

Агрегати встановлюються у приміщенні у приміщенні А123/3 зони суворого режиму реакторного відділення, на відмітці -4,200 м.

Агрегат, включаючи електродвигун (далі – двигун), що входить до його складу, повинні відноситися до обладнання класу безпеки 3 (класифікаційне позначення – 3Н) згідно НП 306.2.141-2008. Група обладнання – С згідно НП 306.2.227-2020.

Складальні одиниці і деталі, що відносяться до корпусу насоса, повинні відповідати вимогам НП 306.2.227-2020, СОУ НАЕК 158:2020, СОУ НАЕК 159:2020, СОУ НАЕК 160:2020 і ПНАЭ Г-7-002-86.

Арматура, що відноситься до корпусу насоса і входить в комплект поставки агрегату, повинна відповідати вимогам ОТТ-87

Агрегат повинен відноситися до категорія сейсмостійкості II згідно НП 306.2.208-2016 та повинен зберігати працездатність після проходження землетрусу інтенсивністю до проектного землетрусу (ПЗ) включно.

Обґрунтування сейсмостійкості агрегатів при сейсмічних впливах має проводитися розробником розрахунковим шляхом відповідно до ПНАЕ Г-7-002-86.

Розрахунки на сейсмостійкість повинні виконуватися з умови одночасного сейсмічного впливу в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (горизонтальних – X, Y і вертикальному – Z).

Допускається розрахунки на сейсмостійкість агрегату виконувати за умовами сейсмічного впливу окремо за трьома напрямками (компонентами).

Вихідними даними для розрахунків повинні бути впливи рівня ПЗ, повторюваністю один раз в 100 років.

При укладанні договорів на поставку агрегатів або насосів постачальнику обладнання повинні надаватися дані для можливості виконання розрахунків на сейсмічні впливи для заданих майданчиків блоків АЕС.

Критерії міцності при сейсмічних впливах відповідно до ПН АЕ Г-7-002-86.

Група умов експлуатації агрегатів – Е1.2 (приміщення технологічного устаткування), група умов розміщення агрегату – Р3.1 (на будівельних конструкціях) згідно СОУ НАЕК 100:2016.

Режим роботи агрегатів – періодичний.

Агрегат АЦНА 45-90 повинен бути виготовлений для експлуатації в кліматичному виконанні УХЛ4, категорії розміщення 4 (при нижньому значенні температури навколишнього повітря плюс 5 °С і верхньому плюс 40°С), в атмосфері типу II за ГОСТ 15150-69.

Категорія приміщення по вибухонебезпечності та пожежною небезпекою, в якій встановлюються агрегати – «Д» відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Агрегати не призначені для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах відповідно до «Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)».

Кваліфікація агрегатів, включаючи двигуни, що входять до їх складу, повинна бути виконана у відповідності до вимог НП 306.2.141-2008.

Умовне позначення агрегатів АЦНА 45-90:

де: А – відмітний індекс агрегату;

насос ЦНА 45-90

де: ЦН – відцентровий насос;

А – для АЕС;

45 – номінальна подача базового насоса, м³/год;

90 – напір базового насоса при номінальній подачі, м.

1.3 Основні дані, які повинні забезпечувати стабільність показників якості виробу в умовах експлуатації

1.3.1 Насос системи розхолодження басейну витримки

Насоси повинні відповідати вимогам технічного завдання і комплектам конструкторської документації, наведеної в таблиці 1.3, а також вимогам договору (контракту) на постачання.

Діагностичні показники розчину борної кислоти, яка перекачується насосом ЦНА 600-35 наведені в таблиці 1.4. Показники призначення агрегатів системи розхолодження басейну витримки перевантаження палива за середовищем, яке перекачується та тиску на вході в насос ЦНА 600-35 повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.5.

Таблиця 1.3 – Найменування та позначення основного конструкторського документа

Найменування	Ідентифікатор	Позначення основного конструкторського документа
Насосний агрегат АЦНА 600-35	TG11D01 TG12D01	НЕЦ.150111-01.01.000.00
Насос ЦНА 600-35	TG13D01	НЕЦ.150111-01.01.100.00

Таблиця 1.4 – Діагностичні показники середовища

Показник середовища	Значення показника
Водневий показник, рН, не менше	4,2
Масова концентрація хлорид-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,1
Масова концентрація фторид-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,1
Масова концентрація сульфат-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,2
Масова концентрація заліза, мг/дм ³ , не більше	0,1
Масова концентрація загального органічного вуглецю, мг/дм ³ , не більше	0,5
Прозорість, %, не менше	95

Показники призначення агрегатів за споживаним середовищем повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.6.

Таблиця 1.5 – Показники середовища

Середовище	Найменування показника	Величина показника
Розчин борної кислоти концентрацією від 16 до 20 г/л	Робоча температура на вході в насос, °С – режим нормальної експлуатації – режим порушення нормальної експлуатації	20 – 70 20 – 70
	Температура розрахункова, °С	80 ¹⁾
	Щільність, кг/м ³ , не більше	1005
	Максимальна активність, Бк/м ³	3,5·10 ⁸
	Кінематична в'язкість, м ² /с, не більше	3·10 ⁻⁶
	Максимальний розмір твердих частинок, мм	0,2
	Максимальна об'ємна концентрація твердих частинок, %	0,05
	Тиск на вході в насос, МПа (кгс/см ²), не більше	0,785 (8,0) ²⁾
¹⁾ Розрахункова температура використовується для вибору механічних властивостей матеріалів при розрахунку на міцність деталей корпусу насоса. ²⁾ Вказані максимальні значення, які можуть бути в системах ТГ блоків АЕС України (ВП «ХАЕС» ДП «НАЕК» Енергоатом»).		

Таблиця 1.6 – Показники призначення агрегатів за середовищем

Призначення і найменування середовища	Показник	Значення показника
Для змащення підшипників насоса – мастило турбінне ТП 22 ГОСТ 9972-74 ¹⁾	Об'єм на одну заправку, м ³ (л)	0.004 (4)
Для змащення підшипників двигуна – мастило пластичне ²⁾		
¹⁾ Тип мастила підшипників насоса може уточнюватися при розробці робочої документації. ²⁾ Тип мастила і маса на одну заправку визначаються технічною документацією на двигун.		

1.3.2 Насос системи промконтур

Насоси повинні відповідати вимогам технічного завдання і комплектам конструкторської документації, наведеної в таблиці 1.7, а також вимогам договору (контракту) на постачання. Показники призначення агрегатів системи за середовищем, яке перекачується та тиску на вході в насос ЦНА 600-35-1 повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.8.

Таблиця 1.7 – Найменування та позначення основного конструкторського документа

Найменування	Ідентифікатор	Позначення основного конструкторського документа
Насосний агрегат АЦНА 600-35-1	TF31D01 TF32D01	НЕЦ.150111-01.01.000.00-01
Насос ЦНА 600-35-1	TF33D01	НЕЦ.150111-01.01.100.00-01

Таблиця 1.8 – Показники середовища

Середовище	Найменування показника	Величина показника
Вода промконтур: – дистилат (система TN), – хімічно знесолена вода (система UA)	Робоча температура на вході в насос, °С – режим нормальної експлуатації – верхня регламентна межа – верхня аварійна межа	20 – 45 60 70
	Температура розрахункова, °С	80 ¹⁾
	Щільність, кг/м ³ , не більше	1000
	Сумарна активність, Ки/дм ³ : – режим нормальної експлуатації, не більше – верхня регламентна межа – верхня аварійна межа	5·10 ⁻⁸ 5·10 ⁻⁸ – 5·10 ⁻⁷ більше 5·10 ⁻⁷
	Максимальний розмір твердих частинок, мм	0,2
	Максимальна об'ємна концентрація твердих частинок, %	0,05
	Тиск на вході в насос, МПа (кгс/см ²), не більше	0,294 (3,0)
¹⁾ Розрахункова температура використовується для вибору механічних властивостей матеріалів при розрахунку на міцність деталей корпусу насоса.		

Показники призначення агрегатів за споживаним середовищем повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.9.

Діагностичні показники якості середовищ, які використовуються для заповнення баків системи промконтур – дистилату (система TN) і хімічно знесоленої води (система UA), наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.9 – Показники призначення агрегатів за середовищем

Призначення і найменування середовища	Показник	Значення показника
Для змащення підшипників насоса – мастило турбінне ТП 22 ГОСТ 9972-74 ¹⁾	Об'єм на одну заправку, м ³ (л)	0.004 (4)
Для змащення підшипників двигуна – мастило пластичне ²⁾		
¹⁾ Тип мастила підшипників насоса може уточнюватися при розробці робочої документації.		
²⁾ Тип мастила і маса на одну заправку визначаються технічною документацією на двигун.		

Таблиця 1.10 – Діагностичні показники середовища

Показник середовища	Значення показника
Дистилят (система TN)	
Водневий показник, рН	5,6 – 10,0
Масова концентрація хлорид-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,05
Масова концентрація сульфат-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,2
Масова концентрація борної кислоти, г/дм ³ , не більше	0,03
Масова концентрація силікатної кислоти, мг/дм ³ , не більше	0,2
Масова концентрація загального органічного вуглецю, мг/дм ³ , не більше	0,5
Прозорість, %, не менше	95
Хімічно знесолена вода (система UA)	
Водневий показник, рН	5,6 – 7,5
Масова концентрація хлорид-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,05
Масова концентрація сульфат-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,2
Масова концентрація іонів натрію, мг/дм ³ , не більше	0,05
Масова концентрація силікатної кислоти, мг/дм ³ , не більше	0,02
Масова концентрація загального органічного вуглецю, мг/дм ³ , не більше	0,3
Питома електрична провідність, мкСм/см, не більше	1,2

1.3.3 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

Насоси повинні відповідати вимогам технічного завдання і комплектам конструкторської документації, наведеної в таблиці 1.11, а також вимогам договору (контракту) на постачання.

Показники призначення агрегатів гідровипробувань барботера та продувки датчиків КВП за середовищем, яке перекачується та тиску на вході в насос ЦНА 8-60 повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.12.

Таблиця 1.11 – Найменування та позначення основного конструкторського документа

Найменування	Ідентифікатор	Позначення основного конструкторського документа
Насосний агрегат АЦНА 8-60	UE30D01	НЕЦ.150111-01.02.000.00
Насос ЦНА 8-60		НЕЦ.150111-01.02.100.00

Таблиця 1.12 – Показники середовища, яке перекачується насосом

Середовище	Найменування показника	Величина показника
Дистилят ("чистий" конденсат)	Робоча температура на вході в насос, °С	25 – 45
	Температура розрахункова, °С	50 ¹⁾
	Щільність, кг/м ³ , не більше	1000
	Максимальна активність, Кі/л	10 ⁻⁸ – 10 ⁻¹¹
	Розмір твердих частинок, мм	відсутні
	Максимальна об'ємна концентрація твердих частинок, %	0,05
	Тиск на вході в насос, МПа (кгс/см ²), не більше	0,294 (3,0)
¹⁾ Розрахункова температура використовується для вибору механічних властивостей матеріалів при розрахунку на міцність деталей корпусу насоса.		

Діагностичні показники дистиляту («чистого» конденсату) наведені в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Діагностичні показники середовища

Показник середовища	Значення показника
Загальний солевміст, мг/кг, не більше	0,5
Загальна жорсткість, мкг·екв/кг, не більше	3,0
Лужність, мкг·екв/кг, не більше	10
Вміст хлоридів, мг/кг, не більше	0,5
Концентрація кисню, мг/дм ³ , не менше	0,02

Показники призначення агрегатів по споживаним середовищам повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Показники призначення агрегатів за середовищем

Призначення і найменування середовища	Показник	Значення показника
Для змащення підшипників насоса – мастило турбінне ТП 22 ГОСТ 9972-74 ¹⁾	Об'єм на одну заправку, м ³ (л)	0.002 (2)
Для змащення підшипників двигуна – мастило пластичне ²⁾		
¹⁾ Тип мастила підшипників насоса може уточнюватися при розробці робочої документації. ²⁾ Тип мастила і маса на одну заправку визначаються технічною документацією на двигун.		

1.3.4 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Насоси повинні відповідати вимогам технічного завдання і комплектам конструкторської документації, наведеної в таблиці 1.15, а також вимогам договору (контракту) на постачання.

Таблиця 1.15 – Найменування та позначення основного конструкторського документа

Найменування	Ідентифікатор	Позначення основного конструкторського документа
Насосний агрегат АЦНА 45-90	ТВ30D04	НЕЦ.150111-01.03.000.00
Насос ЦНА 45-90		НЕЦ.150111-01.03.100.00

Показники призначення агрегатів відкачки води баку аварійного запасу бору на очищення по середовищу, яке перекачується та тиску на вході в насос ЦНА 45-90 повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.16.

Діагностичні показники розчину борної кислоти наведені в таблиці 1.17.

Показники призначення агрегатів по споживаним середовищам повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.18.

Таблиця 1.16 – Показники середовища

Середовище	Найменування показника	Величина показника
Розчин борної кислоти концентрацією від 16 до 20 г/л	Робоча температура на вході в насос, °С	20 – 90
	Температура розрахункова, °С	90 ¹⁾
	Щільність, кг/м ³ , не більше	1005
	Максимальна активність, Бк/м ³	3,5·10 ⁸
	Кінематична в'язкість, м ² /с, не більше	3·10 ⁻⁶
	Максимальний розмір твердих частинок, мм	0,2
	Максимальна об'ємна концентрація твердих частинок, %	0,05
	Тиск на вході в насос, МПа (кгс/см ²), не більше	0,29 (3,0)
¹⁾ Розрахункова температура використовується для вибору механічних властивостей матеріалів при розрахунку на міцність деталей корпусу насоса.		

Таблиця 1.17 – Діагностичні показники середовища

Показник середовища	Значення показника
Водневий показник, рН, не менше	4,2
Масова концентрація хлорид-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,15
Масова концентрація фторид-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,1
Масова концентрація сульфат-іонів, мг/дм ³ , не більше	0,2
Масова концентрація заліза, мг/дм ³ , не більше	0,1
Масова концентрація загального органічного вуглецю, мг/дм ³ , не більше	0,5
Прозорість, %, не менше	95

Таблиця 1.18 – Показники призначення агрегатів за середовищем

Призначення і найменування середовища	Показник	Значення показника
Для змащення підшипників насоса – мастило турбінне ТП 22 ГОСТ 9972-74 ¹⁾	Об'єм на одну заправку, м ³ (л)	0.002 (2)
Для змащення підшипників двигуна – мастило пластичне ²⁾		
¹⁾ Тип мастила підшипників насоса може уточнюватися при розробці робочої документації. ²⁾ Тип мастила і маса на одну заправку визначаються технічною документацією на двигун.		

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

2.1 Основні технічні характеристики виробів

2.1.1 Насос системи розхолодження басейну витримки

Показники призначення насосів ЦНА 600-35 (агрегатів АЦНА 600-35) за параметрами в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники призначення

Найменування показника	Значення показника
Подача, (м ³ /год)	600
Напір, м	35
Частота обертання, с ⁻¹ (об/хв)	1485
Потужність, кВт	
– насоса	71,9 ¹⁾
– агрегату	75,6 ¹⁾
Максимальна потужність, кВт	
– насоса	86,3 ¹⁾
– агрегату	90,7 ¹⁾
Максимальний тиск на виході з насоса, МПа (кгс/см ²)	1,17 (11,97) ¹⁾
<p>¹⁾ Значення наведено при щільності $\rho = 1005 \text{ кг/м}^3$.</p> <p>Примітки:</p> <p>1 Допустимі виробничі відхилення по напору від плюс 5% до мінус 3% від номінального значення.</p> <p>2 Зниження напору насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%.</p> <p>3 Максимальні потужності визначені при максимальній подачі робочого інтервалу характеристик з урахуванням допустимих виробничих відхилень по напору (плюс 5%) і ККД насоса (мінус 3%).</p> <p>4 Показники потужності, максимальної потужності насоса та агрегату, максимального тиску на виході не є здавальними при випробуваннях.</p> <p>5 Розрахунковий тиск на міцність корпусу насоса – 1,4 МПа (14,3 кгс/см²).</p> <p>6 Тиск гідравлічних випробувань корпусу насоса – 1,83 МПа (18,7 кгс/см²).</p>	

Показники технічної та енергетичної ефективності насосів (агрегатів) в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники ефективності

Найменування показника	Значення показника
Коефіцієнт корисної дії ККД, % – насоса – агрегату	80 76
Допустимий кавітаційний запас, м	6
Зовнішні витоки через торцеве ущільнення, м ³ /с (л/ч), небільше	0,83·10 ⁻⁸ (0,03)
Примітки:	
1 Допустимі виробничі відхилення по ККД. насоса: верхнє – не обмежується, нижнє – мінус 3%.	
2. Зниження ККД насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%.	

Конструктивні показники насосів (агрегатів) повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Конструктивні показники

Найменування показника	Величина показника
Маса, кг – насоса – агрегату	1100 ¹⁾ 2400 ¹⁾
Габарити (довжина × ширина × висота), мм	Згідно з додатком А
¹⁾ Уточняється при випробуванні першого насоса (агрегату).	
Примітки:	
1. Допуск на масу: верхнє відхилення плюс 5 %, нижнє – не обмежується.	
2. Допуск на габаритні розміри насоса ± 20 мм, агрегату – від мінус 25 до плюс 50 мм.	

2.1.2 Насос системи промконтур

Показники призначення насосів ЦНА 600-35-1 (агрегатів АЦНА 600-35-1) за параметрами в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.4.

Показники технічної та енергетичної ефективності насосів (агрегатів) в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним у таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Показники призначення

Найменування показника	Значення показника
Подача, (м ³ /год)	600
Напір, м	35
Частота обертання, с ⁻¹ (об/хв)	1485
Потужність, кВт – насоса – агрегату	71,5 ¹⁾ 75,2 ¹⁾
Максимальна потужність, кВт – насоса – агрегату	85,8 ¹⁾ 90,2 ¹⁾
Максимальний тиск на виході з насоса, МПа (кгс/см ²)	0,7 (7,14) ¹⁾
<p>¹⁾ Значення наведено при щільності $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.</p> <p>Примітки:</p> <ol style="list-style-type: none"> Допустимі виробничі відхилення по напору від плюс 5% до мінус 3% від номінального значення. Зниження напору насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%. Максимальні потужності визначені при максимальній подачі робочого інтервалу характеристик з урахуванням допустимих виробничих відхилень по напору (плюс 5%) і ККД насоса (мінус 3%). Показники потужності, максимальної потужності насоса та агрегату, максимального тиску на виході не є здавальними при випробуваннях. Розрахунковий тиск на міцність корпусу насоса – 1,4 МПа (14,3 кгс/см²). Тиск гідравлічних випробувань корпусу насоса – 1,83 МПа (18,7 кгс/см²). 	

Таблиця 2.5 – Показники ефективності

Найменування показника	Значення показника
Коефіцієнт корисної дії ККД, % – насоса – агрегату	80 76
Допустимий кавітаційний запас, м	6
Зовнішні витоки через торцеве ущільнення, м ³ /с (л/ч), не більше	$0,83 \cdot 10^{-8}$ (0,03)
<p>Примітки:</p> <ol style="list-style-type: none"> Допустимі виробничі відхилення по ККД. насоса: верхнє – не обмежується, нижнє – мінус 3%. Зниження ККД насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%. 	

Конструктивні показники насосів (агрегатів) повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Конструктивні показники

Найменування показника	Величина показника
Маса, кг	
– насоса	1100 ¹⁾
– агрегату	2400 ¹⁾
Габарити (довжина × ширина × висота), мм	Згідно з додатком А
¹⁾ Уточняється при випробуванні першого насоса (агрегату). Примітки: 1. Допуск на масу: верхнє відхилення плюс 5 %, нижнє – не обмежується. 2. Допуск на габаритні розміри насоса ± 20 мм, агрегату – від мінус 25 до плюс 50 мм.	

2.1.3 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

Показники призначення насосів ЦНА 8-60 (агрегатів АЦНА 8-60) за параметрами в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.7.

Показники технічної та енергетичної ефективності насосів (агрегатів) в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним у таблиці 2.8.

Конструктивні показники насосів (агрегатів) повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.9.

Таблиця 2.7 – Показники призначення

Найменування показника	Значення показника
Подача, (м ³ /год)	8
Напір, м	60
Частота обертання, с ⁻¹ (об/хв)	2915
Потужність, кВт	
– насоса	5,0 ¹⁾
– агрегату	5,7 ¹⁾
Максимальна потужність, кВт	
– насоса	6,5 ¹⁾
– агрегату	7,3 ¹⁾
Максимальний тиск на виході з насоса, МПа (кгс/см ²)	0,95 (9,72) ²⁾
<p>¹⁾ Значення наведено при щільності $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.</p> <p>Примітки:</p> <p>1. Допустимі виробничі відхилення по напору від плюс 5% до мінус 3% від номінального значення.</p> <p>2. Зниження напору насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%.</p> <p>3. Максимальні потужності визначені при максимальній подачі робочого інтервалу характеристик з урахуванням допустимих виробничих відхилень по напору (плюс 5%) і ККД насоса (мінус 3%).</p> <p>4. Показники потужності, максимальної потужності насоса та агрегату, максимального тиску на виході не є здавальними при випробуваннях.</p> <p>5. Розрахунковий тиск на міцність корпусу насоса – 1,0 МПа (10,2 кгс/см²).</p> <p>6. Тиск гідравлічних випробувань корпусу насоса – 1,5 МПа (15,3 кгс/см²).</p>	

Таблиця 2.8 – Показники ефективності

Найменування показника	Значення показника
Коефіцієнт корисної дії ККД, %	
– насоса	26
– агрегату	23
Допустимий кавітаційний запас, м	3,0
Зовнішні витоки через торцеве ущільнення, м ³ /с (л/ч), не більше	0,83·10 ⁻⁸ (0,03)
<p>Примітки:</p> <p>1 Допустимі виробничі відхилення по ККД, насоса: верхнє – не обмежується, нижнє – мінус 3%.</p> <p>2. Зниження ККД насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%.</p>	

Таблиця 2.9 – Конструктивні показники

Найменування показника	Величина показника
Маса, кг	
– насоса	75 ¹⁾
– агрегату	2350 ¹⁾
Габарити (довжина × ширина × висота), мм	Згідно з додатком А
¹⁾ Уточняється при випробуванні першого насоса (агрегату). Примітки: 1. Допуск на масу: верхнє відхилення плюс 5 %, нижнє – не обмежується. 2. Допуск на габаритні розміри насоса ± 20 мм, агрегату – ± 30 мм.	

2.1.4 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Показники призначення насосів ЦНА 45-90 (агрегатів АЦНА 45-90) за параметрами в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Показники призначення

Найменування показника	Значення показника
Подача, (м ³ /год)	45
Напір, м	98
Частота обертання, с ⁻¹ (об/хв)	2940
Потужність, кВт	
– насоса	24,3 ¹⁾
– агрегату	26,1 ¹⁾
Максимальна потужність, кВт	
– насоса	29,5 ¹⁾
– агрегату	31,7 ¹⁾
Максимальний тиск на виході з насоса, МПа (кгс/см ²)	1,63 (16,65)
¹⁾ Значення наведено при щільності $\rho = 1005 \text{ кг/м}^3$. Примітки: 1 Допустимі виробничі відхилення по напору від плюс 5% до мінус 3% від номінального значення. 2 Зниження напору насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%. 3 Максимальні потужності визначені при максимальній подачі робочого інтервалу характеристик з урахуванням допустимих виробничих відхилень по напору (плюс 5%) і ККД насоса (мінус 3%). 4 Показники потужності, максимальної потужності насоса та агрегату, максимального тиску на виході не є здавальними при випробуваннях. 5 Розрахунковий тиск на міцність корпусу насоса – 1,8 МПа (18,4 кгс/см ²). 6 Тиск гідравлічних випробувань корпусу насоса – 2,6 МПа (26,5 кгс/см ²).	

Показники технічної та енергетичної ефективності насосів (агрегатів) в номінальному режимі роботи повинні відповідати зазначеним у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Показники ефективності

Найменування показника	Значення показника
Коефіцієнт корисної дії ККД, %	
– насоса	49
– агрегату	25,6
Допустимий кавітаційний запас, м	4,0
Зовнішні витоки через торцеве ущільнення, м ³ /с (л/ч), небільше	$0,83 \cdot 10^{-8}$ (0,03)
Примітки:	
1 Допустимі виробничі відхилення по ККД. насоса: верхнє – не обмежується, нижнє – мінус 3%.	
2. Зниження ККД насоса після вироблення середнього ресурсу до капітального ремонту – не більше 2%.	

Конструктивні показники насосів (агрегатів) повинні відповідати зазначеним в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Конструктивні показники

Найменування показника	Величина показника
Маса, кг	
– насоса	120 ¹⁾
– агрегату	500 ¹⁾
Габарити (довжина × ширина × висота), мм	Згідно з додатком А
¹⁾ Уточняється при випробуванні першого насоса (агрегату).	
Примітки:	
1. Допуск на масу: верхнє відхилення плюс 5 %, нижнє – не обмежується.	
2. Допуск на габаритні розміри насоса ± 20 мм, агрегату – ± 50 мм.	

2.2 Відомості про відповідність або відхилення від вимог, установлених технічним завданням і попередніми стадіями розробки

2.2.1 Насос системи розхолодження басейну витримки

Надійність насоса і двигуна в умовах і режимах експлуатації, повинна характеризуватися величинами показників надійності, зазначеними в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Показники надійності насоса

Найменування показника	Величина показника
Строк служби насоса, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби корпусних деталей, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби виймальних частин та комплектуючих виробів, років, не менше	10 ¹⁾
Середнє напрацювання на відмову, год, не менше	15 000
Середній ресурс до капітального ремонту, год, не менше	45 000
Експлуатаційний ресурс між капітальними ремонтами (міжремонтний інтервал), років, не менше	4
Функціонування без обслуговування і ремонту, годин, не менше	10 000
<p>¹⁾ За умови виконання вимог по заміні частин з меншими строками служби, викладеними в експлуатаційній документації.</p> <p>Примітка – Величини показників надійності забезпечуються за умови проведення споживачем технічного обслуговування і ремонту згідно з вимогами експлуатаційної документації, що поставляється разом з насосом.</p>	

Критеріями відмови при нормальних умовах експлуатації агрегату є:

– для насоса:

- а) температура підшипників понад 90 °С;
- б) вібрація на кронштейні в зоні розташування підшипникових опор в робочому інтервалі подач понад 11,2 мм/с;
- в) витіки через торцеве ущільнення понад $0,83 \cdot 10^{-8}$ м³/с (0,03 л/г);
- г) невиконання основної функції;
- д) заклинювання рухомих частин;
- е) руйнування і/або втрата щільності матеріалу деталей, що знаходяться під тиском середовища, яке перекачується;

ж) порушення герметичності фланцевих з'єднань, яке неможливо усунути додатковою підтяжкою кріпильних з'єднань;

– для двигуна:

а) вібрація підшипникових опор при роботі насоса в робочому інтервалі подач більш 7,1 мм/с;

б) температура підшипників понад 95 °С;

в) вихід з ладу обмотки статора і (або) підшипників; г) відмова на запуск;

д) заклинювання рухомих частин.

Величина витоків через торцеве ущільнення контролюється візуально, а вібрація та температура підшипникових опор двигуна контролюється за допомогою переносних засобів вимірювання.

Критерієм граничного стану для виведення насоса в капітальний ремонт є вироблення ресурсу рівного 0,9 від величини середнього ресурсу до капітального ремонту.

Критеріями граничного стану, при якому подальша експлуатація насоса неможлива і недоцільна, є:

– втрата герметичності корпусом і / або кришкою напірної по відношенню до зовнішньої середовищі, яка не може бути усунена при капітальному ремонті насоса;

– вироблення корпусними деталями насоса терміну служби, рівного призначеного терміну служби (більше 30 років).

Показники надійності комплектуючих виробів повинні відповідати технічній документації підприємств-виробників, при цьому їх середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше, ніж для насоса.

Напірні, енергетичні і кавітаційні характеристики насосів наведені в додатку Б.

Насоси повинні забезпечувати тривалу експлуатацію в робочому інтервалі подач від 0,028 до 0,2 м³/с (від 100 до 720 м³/ч).

Напірна характеристика повинна бути стабільною, при збільшенні подачі напір насоса повинен постійно знижуватися.

Вібраційна технічна характеристика – середнє квадратичне значення віброшвидкості, виміряне на кронштейні насоса на номінальному режимі – не більше 4,5 мм/с, а в робочому інтервалі подач – не більше 7,1 мм/с.

Шумова технічна характеристика насоса – еквівалентний рівень звукового тиску середній рівень звуку на відстані 1 м від контуру агрегату при роботі на номінальному режимі повинен бути не більше 90 дБА.

Шумова і вібраційна технічні характеристики двигуна – у відповідності до технічної документації на його поставку.

2.2.2 Насос системи промконтуру

Надійність насоса і двигуна в умовах і режимах експлуатації, повинна характеризуватися величинами показників надійності, зазначеними в таблиці 2.14.

Критеріями відмови при нормальних умовах експлуатації агрегату є:

– для насоса:

- а) температура підшипників понад 90 °С;
- б) вібрація на кронштейні в зоні розташування підшипникових опор в робочому інтервалі подач понад 11,2 мм/с;
- в) витіки через торцеве ущільнення понад $0,83 \cdot 10^{-8}$ м³/с (0,03 л/ч); г) невиконання основної функції;
- д) заклинювання рухомих частин;
- е) руйнування і/або втрата щільності матеріалу деталей, що знаходяться під тиском середовища, яке перекачується;
- ж) порушення герметичності фланцевих з'єднань, яке неможливо усунути додатковою підтяжкою кріпильних з'єднань;

Таблиця 2.14 – Показники надійності насоса

Найменування показника	Величина показника
Строк служби насоса, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби корпусних деталей, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби виймальних частин та комплектуючих виробів, років, не менше	10 ¹⁾
Середнє напрацювання на відмову, год, не менше	15 000
Середній ресурс до капітального ремонту, год, не менше	45 000
Експлуатаційний ресурс між капітальними ремонтами (міжремонтний інтервал), років, не менше	4
Функціонування без обслуговування і ремонту, годин, не менше	10 000
¹⁾ За умови виконання вимог по заміні частин з меншими строками служби, викладеними в експлуатаційній документації. Примітка – Величини показників надійності забезпечуються за умови проведення споживачем технічного обслуговування і ремонту згідно з вимогами експлуатаційної документації, що поставляється разом з насосом.	

– для двигуна:

- а) вібрація підшипникових опор при роботі насоса в робочому інтервалі подач більш 7,1 мм/с;
- б) температура підшипників понад 95 °С;
- в) вихід з ладу обмотки статора і (або) підшипників; г) відмова на запуск;
- д) заклинювання рухомих частин.

Величина витоків через торцеве ущільнення контролюється візуально, а вібрація та температура підшипникових опор двигуна контролюється за допомогою переносних засобів вимірювання.

Критерієм граничного стану для виведення насоса в капітальний ремонт є вироблення ресурсу рівного 0,9 від величини середнього ресурсу до капітального ремонту.

Критеріями граничного стану, при якому подальша експлуатація насоса неможлива і недоцільна, є:

- втрата герметичності корпусом і/або кришкою напірної по відношенню до зовнішньої середовищі, яка не може бути усунена при капітальному ремонті насоса;
- вироблення корпусними деталями насоса терміну служби, рівного призначеного терміну служби (більше 30 років).

Показники надійності комплектуючих виробів повинні відповідати технічній документації підприємств-виробників, при цьому їх середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше, ніж для насоса.

Напірні, енергетичні і кавітаційні характеристики насосів наведені в додатку Б.

Насоси повинні забезпечувати тривалу експлуатацію в робочому інтервалі подач від 0,108 до 0,2 м³/с (від 390 до 720 м³/ч).

Напірна характеристика повинна бути стабільною, при збільшенні подачі напір насоса повинен постійно знижуватися.

Вібраційна технічна характеристика – середнє квадратичне значення віброшвидкості, виміряне на кронштейні насоса на номінальному режимі – не більше 4,5 мм/с, а в робочому інтервалі подач – не більше 7,1 мм/с.

Шумова технічна характеристика насоса – еквівалентний рівень звукового тиску середній рівень звуку на відстані 1 м від контуру агрегату при роботі на номінальному режимі повинен бути не більше 90 дБА.

Шумова і вібраційна технічні характеристики двигуна – в відповідності до технічної документації на його поставку.

2.2.3 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

Надійність насоса і двигуна в умовах і режимах експлуатації, повинна характеризуватися величинами показників надійності, зазначеними в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Показники надійності насоса

Найменування показника	Величина показника
Строк служби насоса, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби корпусних деталей, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби виймальних частин та комплектуючих виробів, років, не менше	10 ¹⁾
Середнє напрацювання на відмову, год, не менше	15 000
Середній ресурс до капітального ремонту, год, не менше	45 000
Експлуатаційний ресурс між капітальними ремонтами (міжремонтний інтервал), років, не менше	4
Функціонування без обслуговування і ремонту, годин, не менше	10 000
¹⁾ За умови виконання вимог по заміні частин з меншими строками служби, викладеними в експлуатаційній документації. Примітка – Величини показників надійності забезпечуються за умови проведення споживачем технічного обслуговування і ремонту згідно з вимогами експлуатаційної документації, що поставляється разом з насосом.	

Критеріями відмови при нормальних умовах експлуатації агрегату є:

– для насоса:

- а) температура підшипників понад 90 °С;
- б) вібрація на кронштейні в зоні розташування підшипникових опор в робочому інтервалі подач понад 11,2 мм/с;
- в) витоки через торцеве ущільнення понад $0,83 \cdot 10^{-8}$ м³/с (0,03 л/ч);
- г) невиконання основної функції;
- д) заклинювання рухомих частин;
- е) руйнування і/або втрата щільності матеріалу деталей, що знаходяться під тиском середовища, яке перекачується;
- ж) порушення герметичності фланцевих з'єднань, яке неможливо усунути додатковою підтяжкою кріпильних з'єднань;

– для двигуна:

- а) вібрація підшипникових опор при роботі насоса в робочому інтервалі подач більш 7,1 мм/с;
- б) температура підшипників понад 95 °С;
- в) вихід з ладу обмотки статора і (або) підшипників;
- г) відмова на запуск;
- д) заклинювання рухомих частин.

Величина витоків через торцеве ущільнення контролюється візуально, а вібрація та температура підшипникових опор двигуна контролюється за допомогою переносних засобів вимірювання.

Критерієм граничного стану для виведення насоса в капітальний ремонт є вироблення ресурсу рівного 0,9 від величини середнього ресурсу до капітального ремонту.

Критеріями граничного стану, при якому подальша експлуатація насоса неможлива і недоцільна, є:

- втрата герметичності корпусом і / або кришкою напірної по відношенню до зовнішньої середовищі, яка не може бути усунена при капітальному ремонті насоса;

- вироблення корпусними деталями насоса терміну служби, рівного призначеного терміну служби (більше 30 років).

Показники надійності комплектуючих виробів повинні відповідати технічній документації підприємств-виробників, при цьому їх середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше, ніж для насоса.

Напірні, енергетичні і кавітаційні характеристики насосів наведені в додатку Б.

Насоси повинні забезпечувати тривалу експлуатацію в робочому інтервалі подач від 0,0014 до 0,0028 м³/с (від 5 до 10 м³/ч).

Напірна характеристика повинна бути стабільною, при збільшенні подачі напір насоса повинен постійно знижуватися.

Вібраційна технічна характеристика – середнє квадратичне значення віброшвидкості, виміряне на кронштейні насоса на номінальному режимі – не більше 4,5 мм/с, а в робочому інтервалі подач – не більше 7,1 мм/с.

Шумова технічна характеристика насоса – еквівалентний рівень звукового тиску середній рівень звуку на відстані 1 м від контуру агрегату при роботі на номінальному режимі повинен бути не більше 90 дБА.

Шумова і вібраційна технічні характеристики двигуна – в відповідності до технічної документації на його поставку.

2.2.4 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Надійність насоса і двигуна в умовах і режимах експлуатації, повинна характеризуватися величинами показників надійності, зазначеними в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Показники надійності насоса

Найменування показника	Величина показника
Строк служби насоса, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби корпусних деталей, років, не менше	30 ¹⁾
Призначений строк служби виймальних частин та комплектуючих виробів, років, не менше	10 ¹⁾
Середнє напрацювання на відмову, год, не менше	15 000
Середній ресурс до капітального ремонту, год, не менше	45 000
Експлуатаційний ресурс між капітальними ремонтами (міжремонтний інтервал), років, не менше	4
Функціонування без обслуговування і ремонту, годин, не менше	10 000
<p>¹⁾ За умови виконання вимог по заміні частин з меншими строками служби, викладеними в експлуатаційній документації.</p> <p>Примітка – Величини показників надійності забезпечуються за умови проведення споживачем технічного обслуговування і ремонту згідно з вимогами експлуатаційної документації, що поставляється разом з насосом.</p>	

Критеріями відмови при нормальних умовах експлуатації агрегату є:

– для насоса:

- а) температура підшипників понад 90 °С;
- б) вібрація на кронштейні в зоні розташування підшипникових опор в робочому інтервалі подач понад 11,2 мм/с;
- в) витоки через торцеве ущільнення понад $0,83 \cdot 10^{-8}$ м³/с (0,03 л/ч);
- г) невиконання основної функції;
- д) заклинювання рухомих частин;
- е) руйнування і/або втрата щільності матеріалу деталей, що знаходяться під тиском середовища, яке перекачується;
- ж) порушення герметичності фланцевих з'єднань, яке неможливо усунути додатковою підтяжкою кріпильних з'єднань;

– для двигуна:

- а) вібрація підшипникових опор при роботі насоса в робочому інтервалі подач більш 7,1 мм/с;
- б) температура підшипників понад 95 °С;
- в) вихід з ладу обмотки статора і (або) підшипників;
- г) відмова на запуск;
- д) заклинювання рухомих частин.

Величина витоків через торцеве ущільнення контролюється візуально, а вібрація та температура підшипникових опор двигуна контролюється за допомогою переносних засобів вимірювання.

Критерієм граничного стану для виведення насоса в капітальний ремонт є вироблення ресурсу рівного 0,9 від величини середнього ресурсу до капітального ремонту.

Критеріями граничного стану, при якому подальша експлуатація насоса неможлива і недоцільна, є:

- втрата герметичності корпусом і / або кришкою напірної по відношенню до зовнішньої середовищі, яка не може бути усунена при капітальному ремонті насоса;
- вироблення корпусними деталями насоса терміну служби, рівного призначеного терміну служби (більше 30 років).

Показники надійності комплектуючих виробів повинні відповідати технічній документації підприємств-виробників, при цьому їх середнє напрацювання на відмову повинно бути не менше, ніж для насоса.

Напірні, енергетичні і кавітаційні характеристики насосів наведені в додатку Б.

Насоси повинні забезпечувати тривалу експлуатацію в робочому інтервалі подач від 0,0056 до 0,0153 м³/с (від 20 до 55 м³/ч).

Напірна характеристика повинна бути стабільною, при збільшенні подачі напір насоса повинен постійно знижуватися.

Вібраційна технічна характеристика – середнє квадратичне значення віброшвидкості, виміряне на кронштейні насоса на номінальному режимі – не більше 4,5 мм/с, а в робочому інтервалі подач – не більше 7,1 мм/с.

Шумова технічна характеристика насоса – еквівалентний рівень звукового тиску середній рівень звуку на відстані 1 м від контуру агрегату при роботі на номінальному режимі повинен бути не більше 90 дБА.

Шумова і вібраційна технічні характеристики двигуна – в відповідності до технічної документації на його поставку.

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1 Опис та обґрунтування обраної конструкції, схем та інших технічних рішень, прийнятих і перевірених на стадії розробки технічного проєкту

Усі насосні агрегати повинні складатися з насоса і двигуна, закріплених на загальній фундаментній рамі і з'єднаних між собою муфтою, закритою огорожею. Габаритне креслення агрегатів наведено в додатку А.

Кріплення агрегатів до фундаменту і трубопроводів до насоса повинно бути жорстким.

Конструкція агрегатів повинна забезпечувати їх працездатність в нормальних умовах експлуатації, порушення нормальних умов експлуатації та сейсмічних впливах.

Насос в складі агрегату повинен бути відцентровим, горизонтальним, консольним, одноступінчастим з осьовим підведенням рідини, з зварювально-кованим корпусом. Ротор має спиратися на підшипники кочення з рідинної змазкою. Кінцеве ущільнення насоса повинно бути торцевого типу.

Вхідний патрубок повинен бути розташований горизонтально уздовж осі обертання валу насоса, напірний патрубок повинен бути направлений вертикально вгору. На напірному трубопроводі насоса повинен бути встановлений зворотний клапан, призначений для запобігання перетіканню рідини, що перекачується, з напірного трубопроводу у вхідний трубопровід при стоянці насоса. Зворотний клапан в комплект поставки не входить.

Напрямок обертання ротора насоса повинен бути за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку приводу.

Конструкція агрегату повинна допускати короткочасне (не більше 2 хвилин) обертання ротора в зворотному напрямку, при цьому повинна бути виключена можливість гідравлічного удару.

Насос і електродвигун повинні встановлюватися на загальну фундаментну раму.

Крутний момент від двигуна до насоса повинен передаватися пружною втулочно-пальцевою муфтою.

Корпус насоса повинен допускати 13 гідровипробувань і 25 зтяжок кріпильних деталей за весь термін служби.

Конструкція насоса повинна забезпечувати можливість технічного огляду корпусу насоса на місці експлуатації відповідно СОУ НАЕК 158:2020. Значення тисків гідравлічних випробувань повинні бути вказані в паспорті корпусу насоса.

Для ущільнення роз'ємних фланцевих з'єднань насоса повинні застосовуватися прокладки з терморозширеного графіту або з інших матеріалів.

Конструкція агрегатів повинна допускати дезактивацію внутрішніх і зовнішніх поверхонь насосів, двигунів – тільки зовнішніх, дезактивуючими розчинами, при цьому двигун повинен допускати дезактивацію зовнішніх поверхонь гарячим дистиллятом і методом вологої обробки. Глибина сумарного знімання металу від дезактивації за термін служби повинна складати не більше 0,1 мм. Після промивання розчинами виконується промивка хімічно очищеною водою не менше однієї години.

Дезактивація агрегатів повинна проводитися окисно-відновним методом розчинами з температурою від 80 до 95 °С:

– перша композиція:

- 1) перманганат калію – від 0,5 до 1,0 г/дм³;
- 2) азотна кислота – від 5 до 10 г/дм³;
- 3) оксиетилідендифосфонова або щавлева кислота – від 20 до 30 г/дм³;

– друга композиція – 1 % розчин СФ-ЗК:

- 1) щавлевої кислоти – 50 %;
- 2) гексаметафосфату натрію – 35 %;
- 3) сульфонолу, C₁₂H₂₅C₆H₄SO₃Na – 15%.

Кількість дезактивацій за термін служби – 20. Тривалість циклу – до 10 год кожним розчином. Періодичність – один раз в 18 місяців.

Композиції дезактивуєчих розчинів, а також кількість дезактивацій і їх періодичність можуть уточнюватися.

Агрегат повинен допускати 1500 пусків за весь термін експлуатації.

Зовнішні поверхні агрегату, що мають температуру вище 45 °С, повинні бути огорожені в місцях можливого дотику обслуговуючого персоналу. Огородження не входять до комплексу поставки підприємства-виробника агрегату.

У якості приводу повинен застосовуватися асинхронний, трифазного змінного струму, з короткозамкненим ротором електродвигун (далі – двигун). Двигун повинен повністю відповідати вимогам класифікації з безпеки і збереженню працездатності при сейсмічних і механічних впливах, що пред'являються до агрегату в цілому. Технічні параметри і характеристики двигуна наведені в додатку В.

Електроживлення двигунів повинно здійснюватися від мережі з:

- номінальною напругою 380 В (трифазне);
- номінальною частотою 50 Гц.

Двигун повинен забезпечувати достатній пусковий момент при будь-яких умовах і достатню пускову потужність для зменшення пускового часу.

Двигун повинен мати такі характеристики крутильного моменту, які забезпечують роботу насосного агрегату при всіх експлуатаційних умовах.

Двигун повинен допускати два пуски підряд з холодного стану (двигун має температуру навколишнього середовища) або один пуск з гарячого. Повторний пуск агрегату після двох пусків з холодного або одного пуску з гарячого стану повинен допускатися не раніше, ніж через 3 години після відключення.

Конструкція двигуна повинна допускати обертання ротора в зворотному напрямку при відключеному електроживленні. При цьому частота обертання повинна бути не більше номінальної, тривалість обертання не більше 2 хвилин.

Ввідний пристрій статора має забезпечувати можливість його повороту на кут, кратний 180° .

Двигун повинен мати уземлювальний затискач, забезпечений пристроєм від самовідгвинчування.

Режим роботи двигуна – S1, ГОСТ 183-74.

Напрямок обертання ротора двигуна - проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку робочого кінця валу.

Вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 8828:2019.

Ступінь захисту двигунів повинна бути не нижче IP44, клемної коробки – не нижче IP55 згідно ДСТУ EN 60034-5:2015.

Двигуни повинні допускати прямий пуск насосів від мережі як при напрузі живлення 1,1 $U_{ном}$, так і при значенні напруги не менше 0,8 $U_{ном}$ в процесі пуску.

Клас ізоляції обмотки не нижче F по ГОСТ 8865-93.

Двигуни повинні відповідати Технічному регламенту низьковольтного електричного обладнання.

Інші вимоги до двигунів згідно з технічними умовами на їх поставку.

Якість та властивості матеріалів і напівфабрикатів повинні задовольняти вимогам відповідних стандартів та технічних умов і повинні бути підтверджені сертифікатами якості або паспортами підприємств-постачальників. При неповноті сертифікатних даних застосування матеріалів допускається тільки після проведення підприємством-виробником необхідних випробувань і досліджень, які підтверджують повну відповідність матеріалів вимогам стандартів, технічного завдання і креслень. Результати перевірки повинні бути оформлені в порядку, встановленому на підприємстві-виробнику.

Матеріали деталей, що відносяться до корпусу насоса, арматури, допоміжних трубопроводів, що знаходяться в контакті з середовищем, що перекачується і під його тиском, повинні відповідати вимогам розділу 3 СОУ НАЕК 158:2020.

Матеріал деталей, виготовлених з корозійностійких сталей аустенітного класу, повинен бути стійким до міжкристалітної корозії.

На матеріали і напівфабрикати, призначені для виготовлення, наноситься відмінне маркування, яке повинне зберегтися до повного виготовлення виробу.

Зварні з'єднання і антикорозійне наплавлення корпусу насоса та допоміжних трубопроводів, які знаходяться в контакті з середовищем, що перекачується і під його тиском, а також зварювальні матеріали повинні відповідати вимогам СОУ НАЕК 159:2020 «Обеспечение технической безопасности. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных электрических станций с реакторами ВВЭР. Технические требования». Категорія зварних з'єднань – Пв згідно НП 306.2.227-2020 «Загальні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації обладнання й трубопроводів атомних станцій». Контроль якості зварних з'єднань повинен здійснюватися згідно СОУ НАЕК 160:2020 «Обеспечение технической безопасности. Контроль качества основного металла, сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных электрических станций с реакторами ВВЭР. Технические требования» за методиками:

- СОУ НАЕК 009:2013 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий визуальный и измерительный. Методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ»;

- СОУ НАЕК 014:2013 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий капиллярный. Методика контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ»;

- СОУ НАЕК 027:2014 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий ультразвуковой. Методика контроля основных материалов (полуфабрикатов)»;

- СОУ НАЕК 032:2014 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий ультразвуковой. Методика контроля сварных соединений и наплавов».

- СОУ НАЕК 050:2015 «Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий радиографический. Методика контроля сварных соединений и наплавов».

Після закінчення зварювальних робіт напливи, бризки металу, шлак, окалина і залишки флюсу повинні бути видалені.

Виправлення дефектів основного металу і зварних з'єднань повинно проводитися відповідно до СОУ НАЕК 159:2020 і технологічних інструкцій підприємства-виробника, затвердженими в установленому порядку.

Складальні одиниці і деталі в процесі виготовлення повинні бути піддані термічній обробці відповідно до вимог конструкторської та виробничо-технологічної документації.

Необхідність проведення термічної обробки складальних одиниць і деталей насоса в процесі виготовлення повинна бути вказана в конструкторській документації.

Виливки зі сталі деталей, що не відносяться до основних корпусних деталей насоса, повинні відповідати вимогам ДСТУ 8781:2018, ДСТУ 2540-94, технічних умов підприємств-виробників і креслень. Допуски розмірів виливків по ГОСТ 26645-85.

Шорсткість поверхонь литих деталей, що стикаються з робочою рідиною, повинна відповідати зразку-еталону, затвердженому в установленому порядку.

Відхилення оброблених поверхонь від правильної геометричної форми, якщо немає особливих вказівок в кресленнях, повинні відповідати ДСТУ ISO 2768-2-2001.

Шорсткість оброблених поверхонь деталей повинна відповідати значенням, зазначеним на кресленнях.

Кріпильні деталі, що відносяться до корпусу насоса, повинні відповідати СОУ НАЕК 158:2020 і виготовлятися з полем допуску 6g и 6H по ДСТУ ГОСТ 16093:2018.

Нарізь повинна бути повного профілю, без вм'ятин, підрізів і зірваних витків. Не допускаються місцеві надриви, викришування і дроблення загальною довжиною понад 0,1 довжини нарізі, при цьому на одному витку – більше 0,2 його довжини.

Крім того, при входному контролі основних матеріалів для кріпильних деталей, на які поширюється дія НП 306.2.227-2020 і СОУ НАЕК 158:2020, повинні бути проведені:

- суцільний візуальний контроль.

Для кріпильних деталей з легованих сталей:

- суцільний візуальний контроль;
- суцільний стилоскопічний контроль.

Допуск на перпендикулярність шпильок діаметром понад 20 мм щодо опорної поверхні не повинен перевищувати 0,4 мм на 100 мм довжини.

Ротор насоса і сполучна муфта повинні бути збалансовані динамічно відповідно до вимог ГОСТ 22061-76 і відповідно до вимог креслень. Клас точності балансування – 3.

Згідно з вказівками в кресленнях на поверхні насоса повинні бути нанесені захисні лакофарбові або металеві покриття.

Захисні покриття агрегату повинні бути стійкі до впливу атмосфери, забезпечуючи захист від корозії, а також зберігати товарний вигляд насоса на період транспортування, зберігання, монтажних і пуско-налагоджувальних робіт та гарантійного терміну експлуатації відповідно до цього технічного завдання.

Клас і умови експлуатації лакофарбових покриттів згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019, ДСТУ ISO 12944-5:2019 і відповідно до вказівок в кресленнях.

Прокладки для ущільнень фланцевих з'єднань не повинні містити азбест.

3.2 Дані порівняння основних технічних характеристик виробів з характеристиками аналогів

3.2.1 Насоси систем розхолодження басейну витримки та промконтуру

У системах розхолодження басейну витримки та промконтуру наразі застосовуються насосні агрегати ТХ 800/70/8-К-2Е з маркуванням TG11-13D01 та TF31-33D01 відповідно.

Насос у складі агрегата – відцентровий, горизонтальний, консольний, одноступінчатий (рис. 3.1). Він призначений для перекачування хімічно активних і нейтральних рідин і суспензій з температурою від мінус 40°С до плюс 120° С, щільністю не більше 1850 кг/м³, в'язкістю до 30·10⁻⁶ м²/с, що містять тверді включення розміром не більше 1 мм, об'ємна концентрація яких не перевищує 15%, в тому числі розміром не більше 5 мм, об'ємна концентрація яких не перевищує 1%. Електронасосний агрегат виконаний в загальнопромисловому виконанні і не призначений для вибухонебезпечних і пожежонебезпечних виробництв. (табл. 3.1)

Основні вузли і деталі насоса – корпус, робоче колесо, всмоктувальна кришка, захисна втулка, вузол опорної стійки. Для компенсації зносу робочих коліс і захисту корпусу насоса конструкцією передбачені передній і задній захисні диски. Робоче колесо – відкритого типу. Корпус, всмоктувальна кришка і робоче колесо – литі.

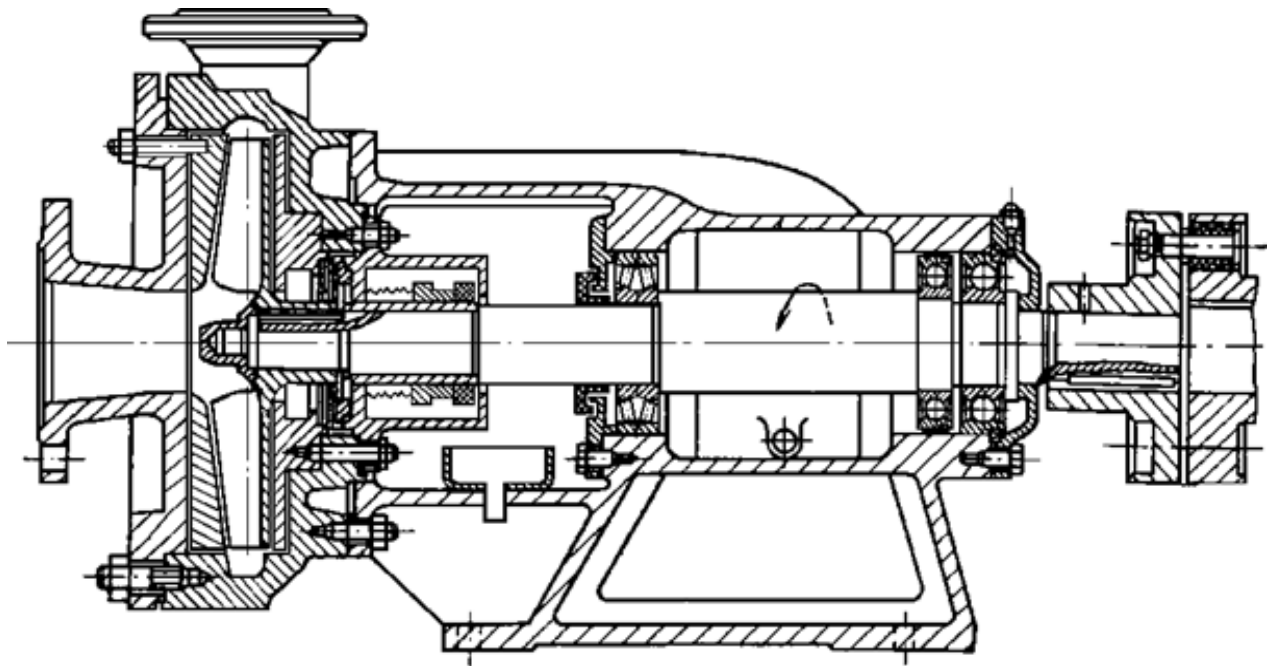


Рисунок 3.1 – Спрощена конструкція насоса типу ТХ 800/70

Таблиця 3.1

Технічна характеристика насосів TG11-13D01 та TF31-33D01	
<i>Параметр</i>	<i>Величина</i>
Продуктивність м ³ /год	600
Напір, м.в.ст.	35
Частота обертання, об/хв.	730
Допустимий кавітаційний запас, м.в.ст.	6,0
ККД, %	65
Тиск на всмоктуванні, не більше кг/см ²	3
Просочування через ущільнення, л/год	0,03
Потужність двигуна, кВт	132
Напруга живлення, В	380/50 гц
Маса насосного агрегату, кг	2050
Тип електродвигуна	A03-3555-83

Ущільнення валу – одинарне торцеве. Змащування та охолодження поверхонь тертя в ущільненні здійснюється рідиною, що перекачується.

Ротор насоса обертається у двох підшипникових опорах. У лівій опорі встановлюється сферичний шарикопідшипник. У правій опорі встановлюється радіально-упорний підшипник, який сприймає осьове навантаження на ротор сприймається радіально-напруженим підшипником. Мастило підшипників – консистентне, ЦИАТИМ-202. Мастило повинна заповнювати 1/2-2/3 об'єму порожнини підшипника. Для захисту порожнини підшипників від попадання протікання середовища з ущільнення, а також витікання мастила з кронштейна на валу насоса, перед кришками підшипників встановлені відбійники.

Максимальна температура підшипників насоса і електродвигуна – 70 С°. Напрямок обертання вала насоса – проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку електродвигуна.

Матеріал основних деталей насоса: робочого колеса, всмоктуючої кришки, корпусу насоса, переднього і заднього захисних дисків – сталь 12Х18Н9ТЛ-11, захисної втулки і валу – сталь 12Х18Н9Т, кронштейна – Ст3, напівмуфти – сталь 35.

3.2.2 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

На даний час у системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП застосовуються насоси типу X 8/60/ K-2Г (рис 3.2). Насос має маркування 2UE30D01.

Насос і двигун встановлені на загальній фундаментній плиті. Вал насоса ущільнюється подвійним торцевим ущільненням типу 2Г. Корпус ущільнення має штуцери для підведення і відведення замикаючої рідини, яка необхідна для охолодження торцевих ущільнень і створення гідрозатвору, що запобігає або знижує витік рідини.

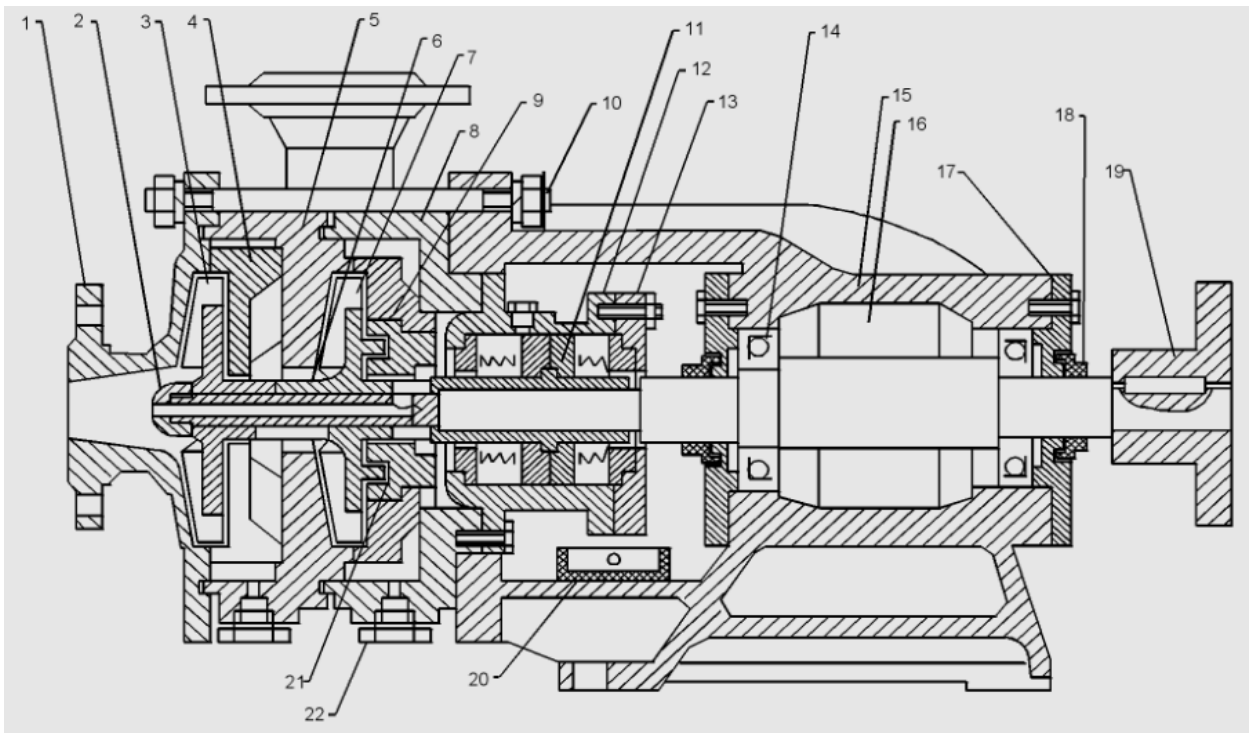


Рисунок 3.2 – Розріз насоса X8/60

У якості замикаючої рідини використовується дистилат. Подача дистилату здійснюється з напірного трубопроводу насоса з подальшим скиданням у всмоктуючий трубопровід.

При застосуванні проточної схеми кількість замикаючої рідини повинна становити 10-15 л/год, при тупиковій схемі – 0,06-0,1 л/год. При подачі замикаючої рідини поліпшуються умови охолодження вузла ущільнення.

Ротор насоса частково розвантажений від осьових зусиль шляхом з'єднання зони всмоктування з зоною нагнітання отвором за віссю вала. Опорами вала служать підшипники кочення розташовані в опорній стійці. Мазило підшипників консистентне.

Температура підшипників кочення не повинна перевищувати температуру навколишнього повітря більш ніж на 50°C, але не повинна бути вище 70 °C.

Напрямок обертання вала – проти годинникової стрілки, якщо дивитися на насос з боку двигуна.

Характеристика насоса наведена на рисунку 3.3 і таблиці 3.2.

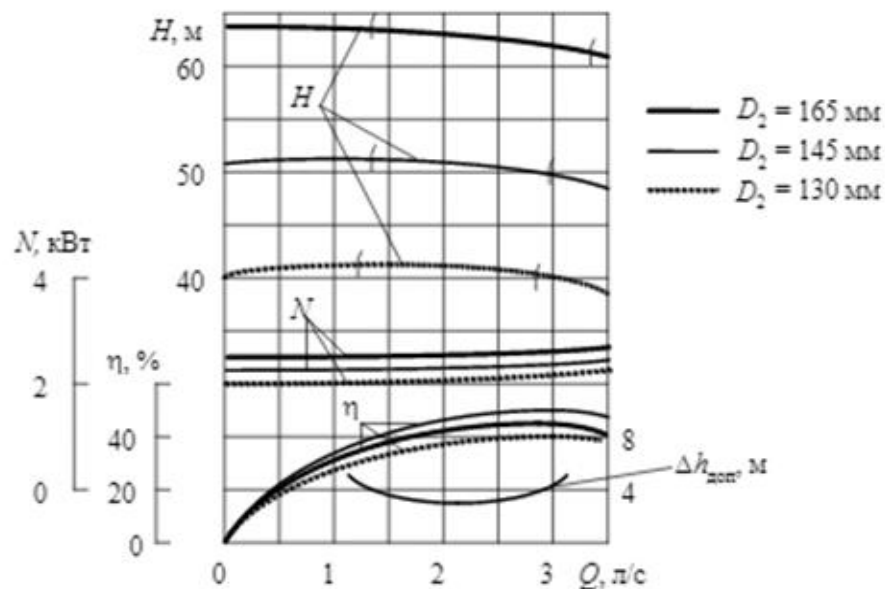


Рисунок 3.3 – Характеристика насоса X8/60

Таблиця 3.2

Параметр	Значення
Подача, м ³ /год	8
Напір, м.в.ст.	60
Допустиме відхилення напору, %	± 10
Частота обертання, об/хв.	2900
Допустимий кавітаційний запас, м	4 м
Допустимий тиск на вході в насос, кгс/см ²	5
Витоки через ущільнення, л/год	0,03
Потужність насоса, кВт	8

3.2.3 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Наразі у системі подачі на очистку аварійного розчину бору застосовуються насоси типу X 45/90/К-2Г, який Насос має маркуванням ТВ30D04 (рис. 3.4).

Тип насоса – відцентровий, горизонтальний, консольний, з приводом асинхронного двигуна, через пружну муфту. Насос та двигун встановлені на

загальній фундаментній плиті. Вал насоса ущільнюється подвійним торцевим ущільненням. Корпус ущільнення має штуцера для підведення і відведення замикаючої рідини, яка необхідна для охолодження торцевих ущільнень і створення гідрозатвора, що запобігає або знижує витіку рідини, що перекачується.

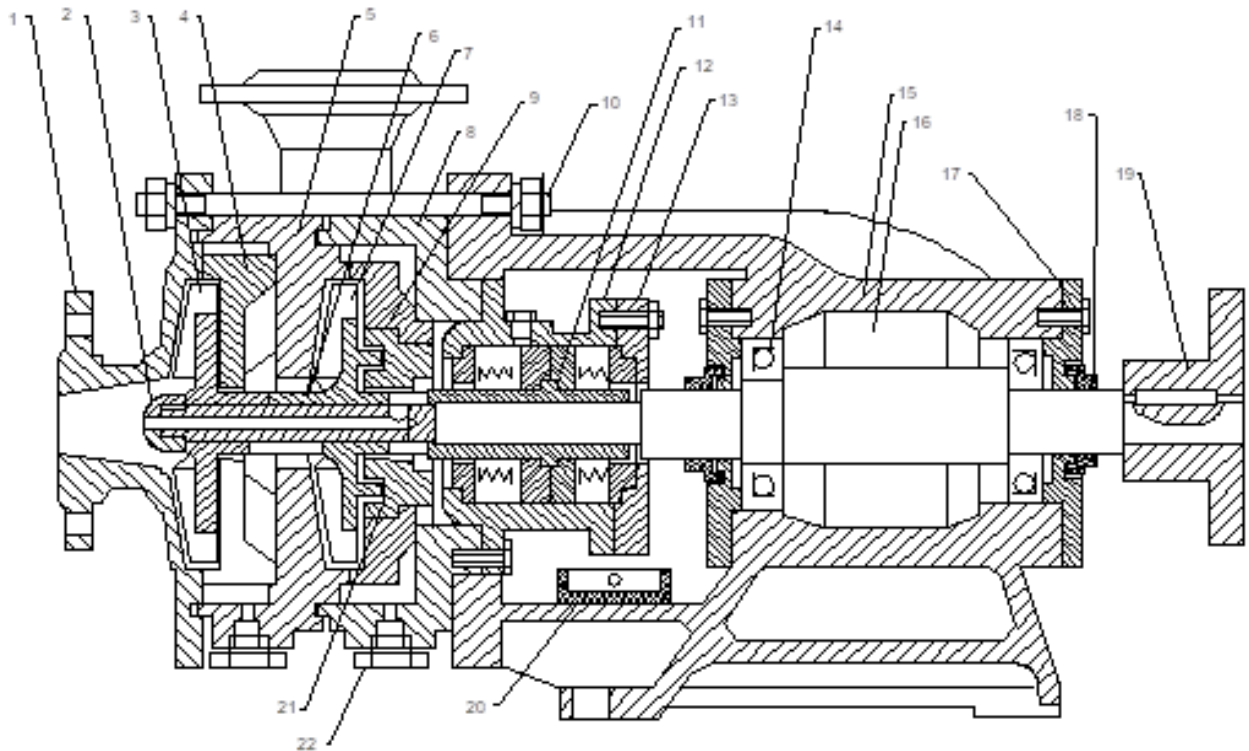


Рисунок 3.4 – Спрощене конструкція насоса X 8/60

У якості замикаючої рідини використовується дистилат. Вал насоса обертається у двох підшипниках, розташованих у кронштейні. Установка підшипників фіксована, мастило підшипників консистентне. Напрямок обертання вала проти годинникової стрілки, якщо дивитися на насос з боку двигуна.

Характеристика насоса наведена на рисунку 3.5 і таблиці 3.3.

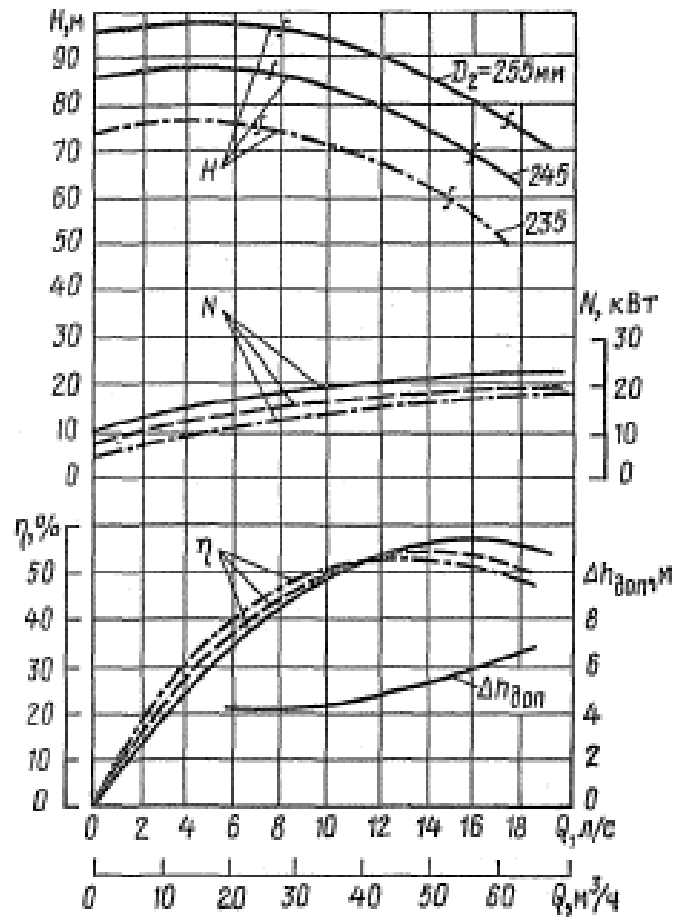


Рисунок 3.5 – Характеристика Насоса X45 / 90-К-2Г

Таблиця 3.3

Технічна характеристика насоса ТВ30D04	
Параметр	Величина
Продуктивність м ³ /год	45
Напір, м.в.ст.	90
Частота обертання, об/хв.	2900
ККД, %	53
Тиск на всмоктуванні, не більше кгс/см ²	0,8
Просочування через ущільнення, см ³ /год	100
Напруга живлення, В	380/50 гц

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ РОБОТОЗДАТНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

4.1 Розроблення 3D моделі елементів проточної частини насоса

Методика числового дослідження у програмному комплексі Ansys CFX насосів, що розробляються, представлена на прикладі розрахунків агрегата АЦНА 600-35.

Відповідно до розробленої конструктивної схеми агрегата електронасосного АЦНА 600-35 у середовищі Solidworks виконано проектування 3D-моделей елементів його проточної частини, до яких слід віднести робоче колесо (рис. 4.1) та відповідний пристрій у вигляді направляючого апарата (рис. 4.2).

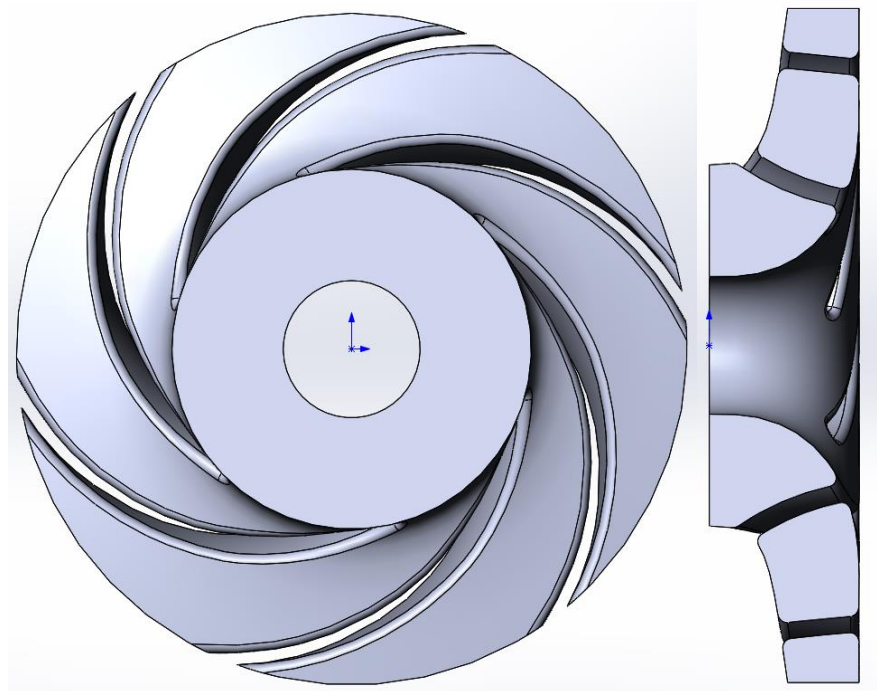


Рисунок 4.1 – 3D-модель робочого колеса

Для забезпечення коректної роботи математичного моделювання у програмному комплексі Ansys CFX в області входу та виходу з кожного елемента проточної частини виконано подовжені ділянки (рис. 4.3, 4.4).

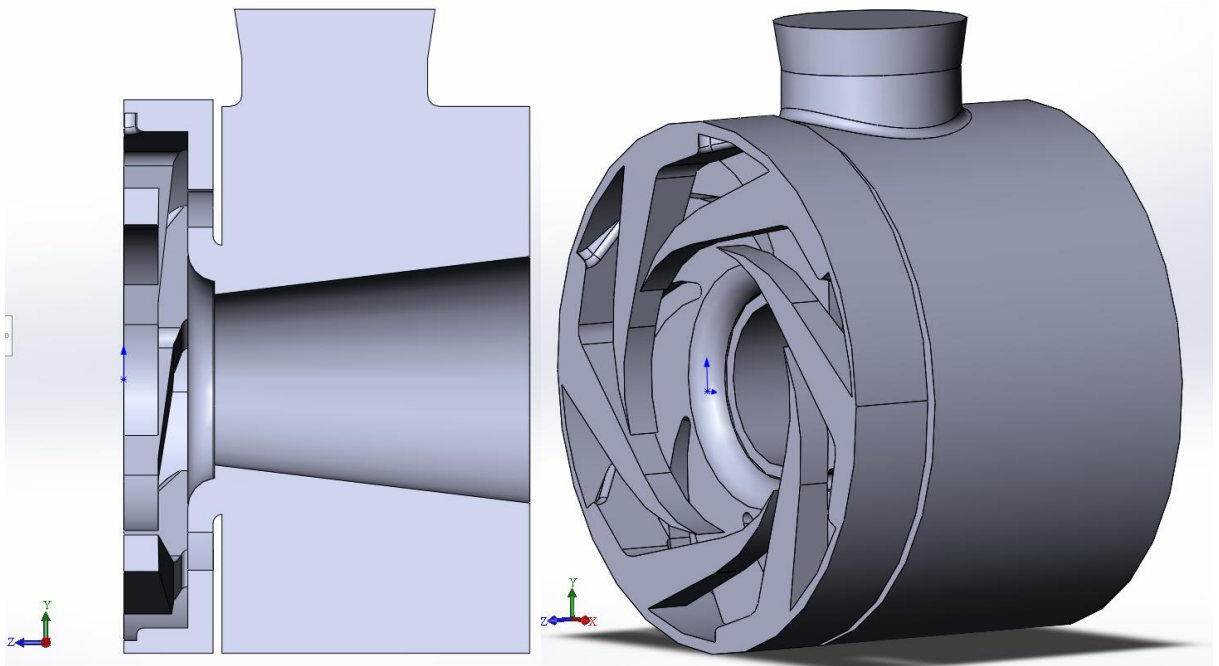


Рисунок 4.2 – 3D-модель відповідного пристрою у вигляді направляючого апарату

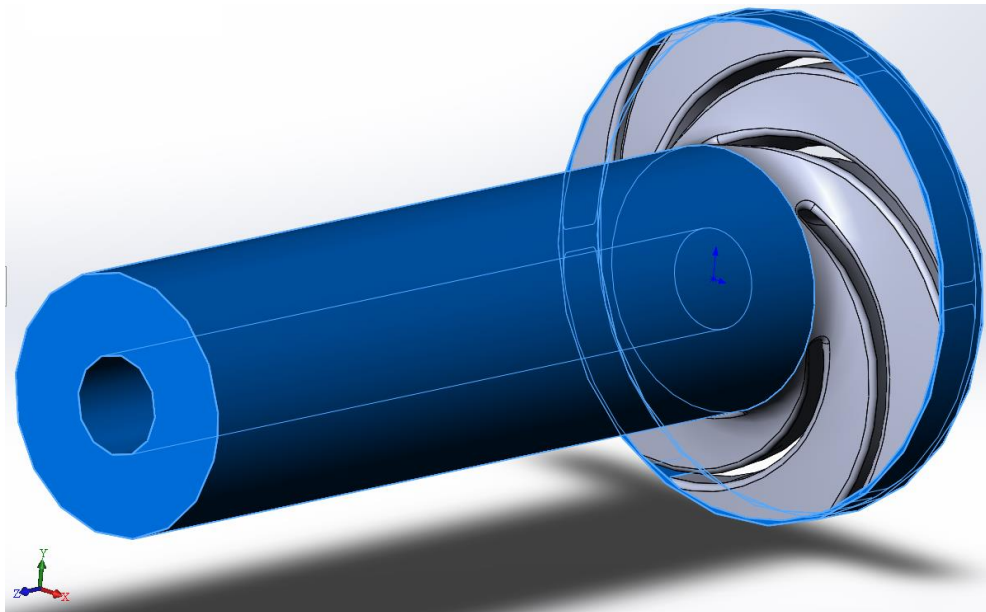


Рисунок 4.3 – Подовжені ділянки елемента проточної частини робочого колеса

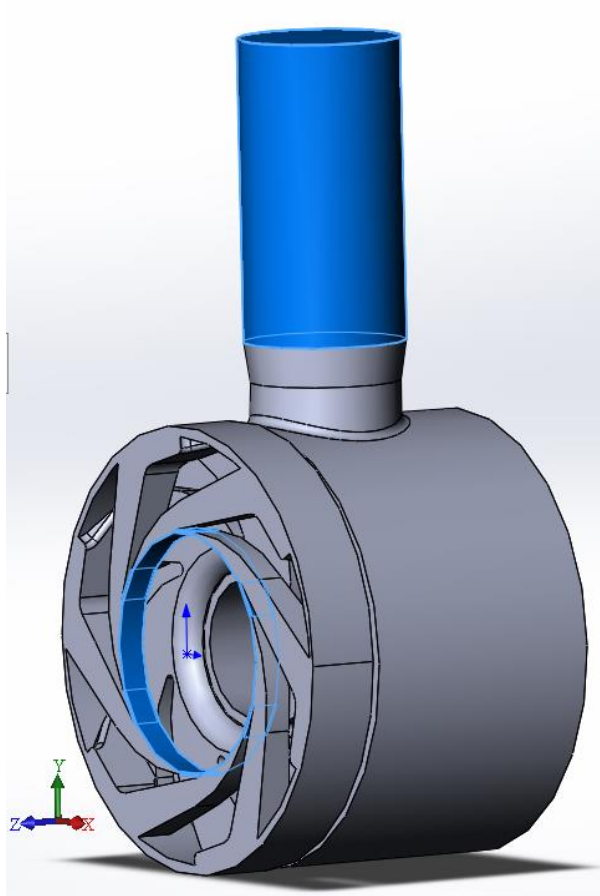


Рисунок 4.4 – Подовжені ділянки елемента відвідного пристрою проточної частини у вигляді направляючого апарата

Побудова розрахункових сіток елементів проточної сітки виконана в програмному компоненті ICEM CFD (рис. 4.5, 4.6).

Загальна кількість комірок розрахункового елемента проточної сітки робочого колеса становить 2,136 млн шт, відвідного пристрою – 2,836 млн шт.

Структура розрахункових сіток елементів проточної частини робочого колеса та відвідного пристрою приведена відповідно на рис. 4.7,4.8.

Розрахункова схема розміщення поверхонь, згідно з якою проводилася розбивка проточної частини приведена на рис. 4.9.

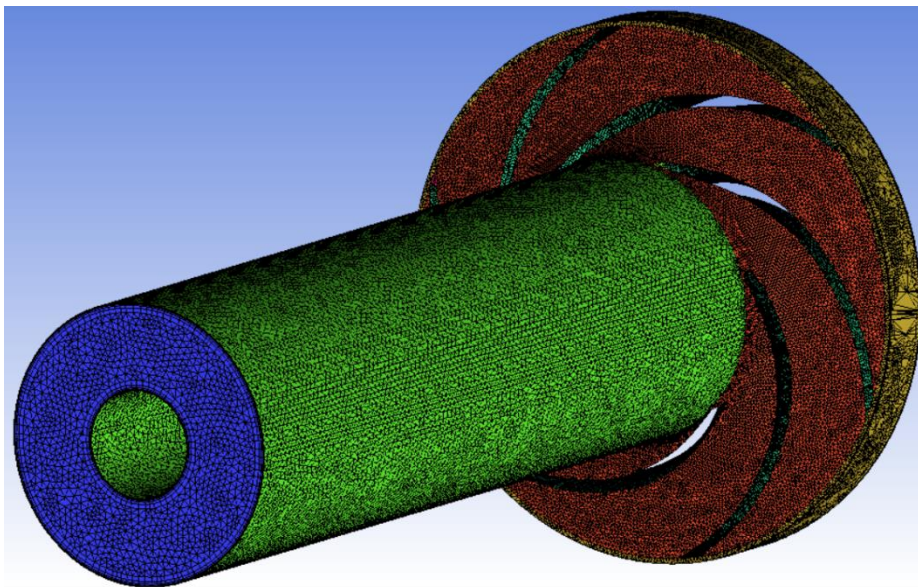


Рисунок 4.5 – Розрахункова сітка елемента проточної частини робочого колеса

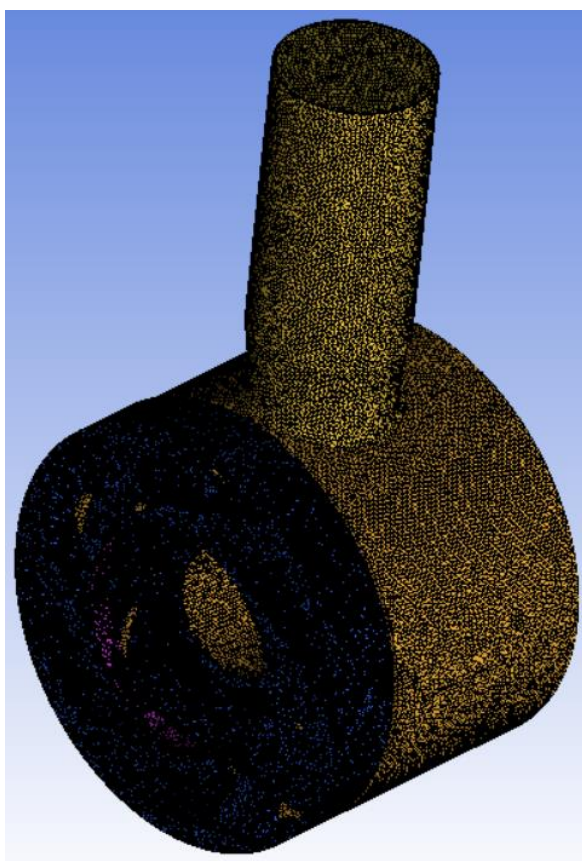


Рисунок 4.6 – Розрахункова сітка елемента відповідного пристрою проточної частини у вигляді направляючого апарата

Part	Prism	Hexa-core	Maximum size	Height	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio	Tetra width	Min size limit	Max deviation	Prism height limit factor	Prism growth law	Internal wall	Split wall
CURVES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0					0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INTERFACE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
KROMKI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0.02	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LOPASTI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0.05	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LOPASTI_VYHOD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PART_1_1_1_MATPOINT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
POINTS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
WALL_DISK_OSNOVNDI_1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WALL_DISK_POKRYVNDI_1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WALL_INLET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WALL_OUTLET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Show size params using scale factor
 Apply inflation parameters to curves
 Remove inflation parameters from curves

Highlighted parts have at least one blank field because not all entities in that part have identical parameters:

Apply Dismiss

Рисунок 4.7 – Структура розрахункової сітки елемента проточної частини робочого колеса

Part	Prism	Hexa-core	Maximum size	Height	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio	Tetra width	Min size limit	Max deviation	Prism height limit factor	Prism growth law	Internal wall	Split wall
CAMERA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CAMERA_1_1_MATPOINT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
CURVES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0					0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NA_INLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OUTLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
POINTS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
WALL_OUTLET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12	0	0	0	0	0	0	0	0	undefined	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Show size params using scale factor
 Apply inflation parameters to curves
 Remove inflation parameters from curves

Highlighted parts have at least one blank field because not all entities in that part have identical parameters:

Apply Dismiss

Рисунок 4.8 – Структура розрахункової сітки елемента проточної частини відвідного пристрою

Пристінковий шар виконано наступним чином. Товщина першого шару склала 0,05 мм. Розміри наступних шарів збільшувались по експоненційному закону з показником 1,5. Кількість шарів по товщині пристінкового шару рівна 7. В області пристінкового шару ячейки мають призматичну форму, а в області решти потоку – форму тетраедра.

Створення розрахункової моделі (рис. 4.10) проведено в пакеті CFX-Pre 19.0. Робочим середовищем виступала вода з температурою 20°C, режим – турбулентний. Для замикання рівнянь Рейнольда використовувалась стандартна $k-\epsilon$ модель турбулентності.

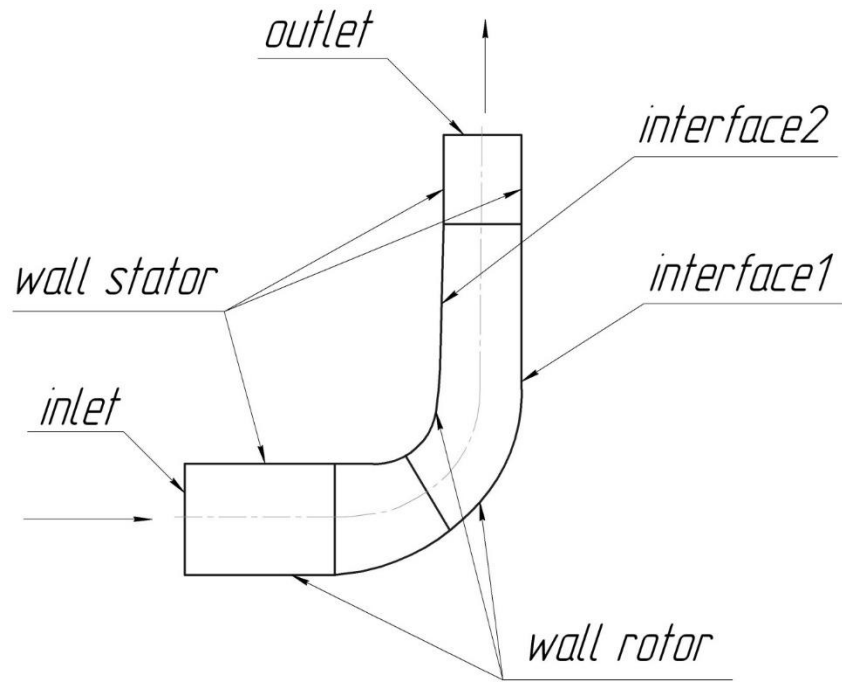


Рисунок 4.9 – Розташування поверхонь

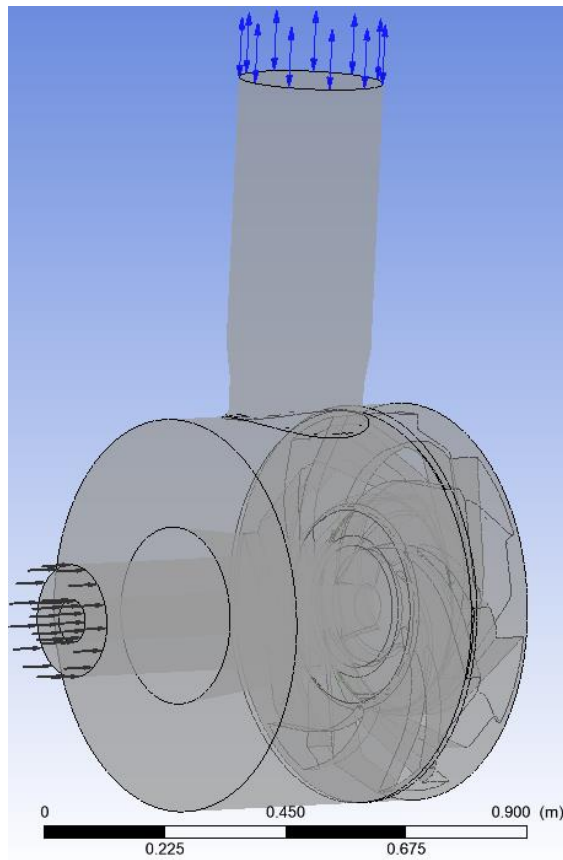


Рисунок 4.10 – Розрахункова модель

У якості граничної умови на вході в розрахункову область задана масова витрата через один канал робочого колеса, що визначається за залежністю:

$$G_{\text{кан}} = \frac{Q \cdot \rho}{Z};$$

де ρ – густина води, для даних умов $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

Q – подача (витрата рідини) на розрахунковому режимі роботи;

Z – кількість міжлопатевих каналів.

Границя вхідної площини у розрахункову область розміщена на достатньому віддаленні від вхідної кромки лопаті.

У якості граничної умови на виході з розрахункової області задавався статичний тиск. В даному випадку, так як в подальшому всі дослідження та порівняння проводились для відносних величин, на виході була задана величина тиску, рівна 1 МПа.

Враховуючи те, що передбачається наявність зворотних течій на виході з розрахункової області, тип граничної умови був заданий як «opening». Границя на виході встановлювалась на деякій відстані від вихідної кромки лопаті.

Шорсткість стінок прийнята рівною 12,5 мкм.

Критерієм збіжності було досягнення точності 10^{-4} , що є достатнім для наукових розрахунків (рис. 4. 11).

Також був заданий вираз для визначення наступних параметрів:

- Напору, м (рис. 4.12): $(\text{massFlowAve}(\text{Total Pressure in Stn Frame})@outlet_NA - \text{massFlowAve}(\text{Total Pressure in Stn Frame})@Inlet)/(997[\text{kg/m}^3]*g)$;

- Споживаної потужності, Вт (рис. 4.13): $\pi*1500[\text{s}^{-1}]/30*(\text{torque_z}()@Blade+\text{torque_z}()@Hub+\text{torque_z}()@Shroud)*(-1)$

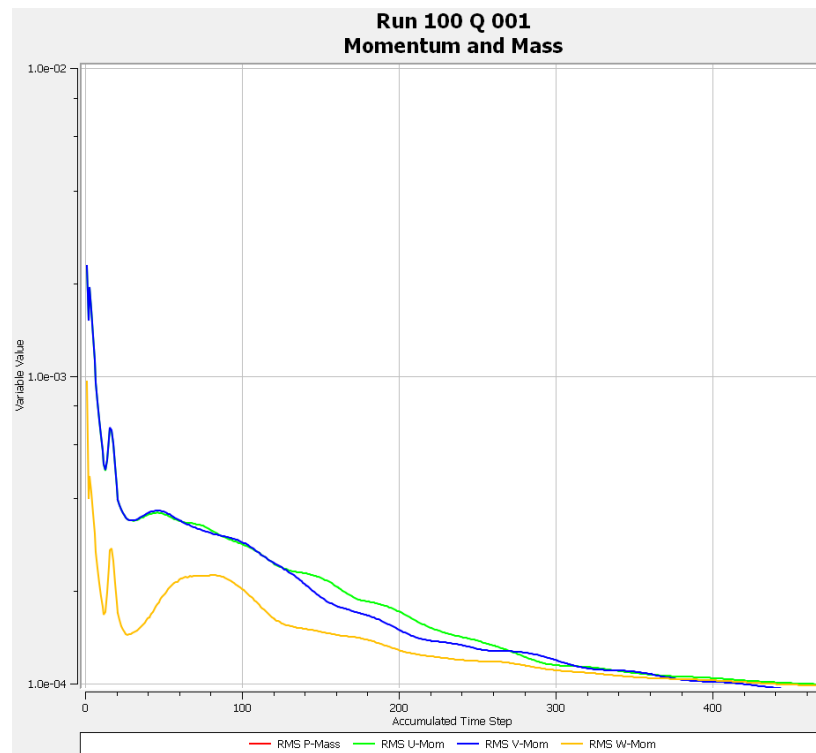


Рисунок 4.11 – Досягнення збіжності параметрів за масою та моментами у ході дослідження

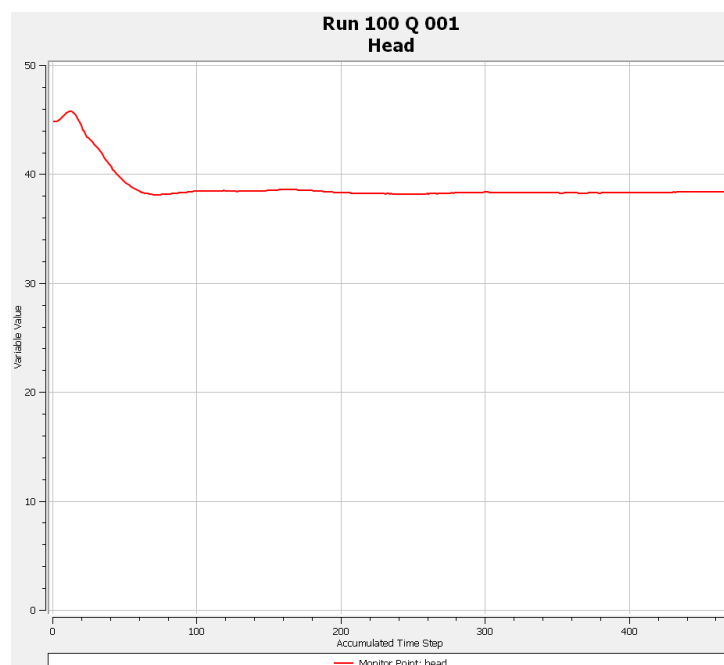


Рисунок 4.12 – Досягнення збіжності параметрів за напором у ході дослідження

- Корисної потужності, Вт (рис. 4.13):

$$g \cdot 997 [\text{kg/m}^3] \cdot (\text{massFlow}()@outlet_NA / 997 [\text{kg/m}^3]) \cdot (-1) \cdot ((\text{massFlowAve}(\text{Total Pressure in Stn Frame})@outlet_NA - \text{massFlowAve}(\text{Total Pressure in Stn Frame})@Inlet) / (997 [\text{kg/m}^3] \cdot g))$$

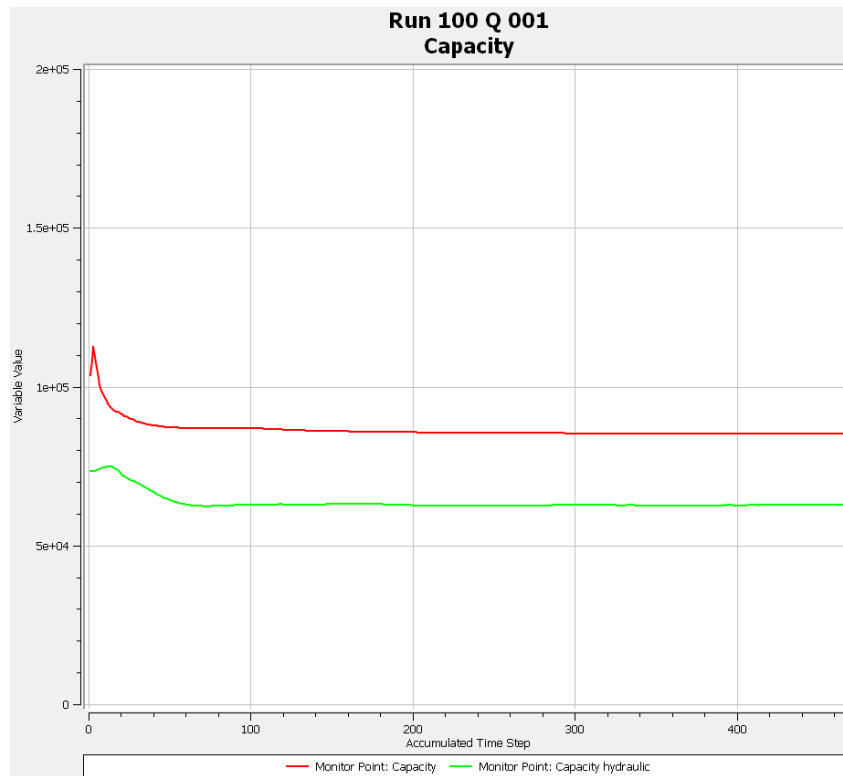


Рисунок 4.13 – Досягнення збіжності параметрів за корисною та споживаною потужністю

- к.к.д. насоса (рис. 4.14):

$$(g \cdot 997 [\text{kg/m}^3] \cdot (\text{massFlow}()@outlet_NA / 997 [\text{kg/m}^3]) \cdot ((\text{massFlowAve}(\text{Total Pressure in Stn Frame})@outlet_NA - \text{massFlowAve}(\text{Total Pressure in Stn Frame})@Inlet) / (997 [\text{kg/m}^3] \cdot g))) / (-1 \cdot \pi \cdot 1500 [\text{s}^{-1}] / 30 \cdot (\text{torque}_z()@Blade + \text{torque}_z()@Hub + \text{torque}_z()@Shroud)) \cdot 0.96 \cdot 0.98 \cdot 0.98 \cdot (-1)$$

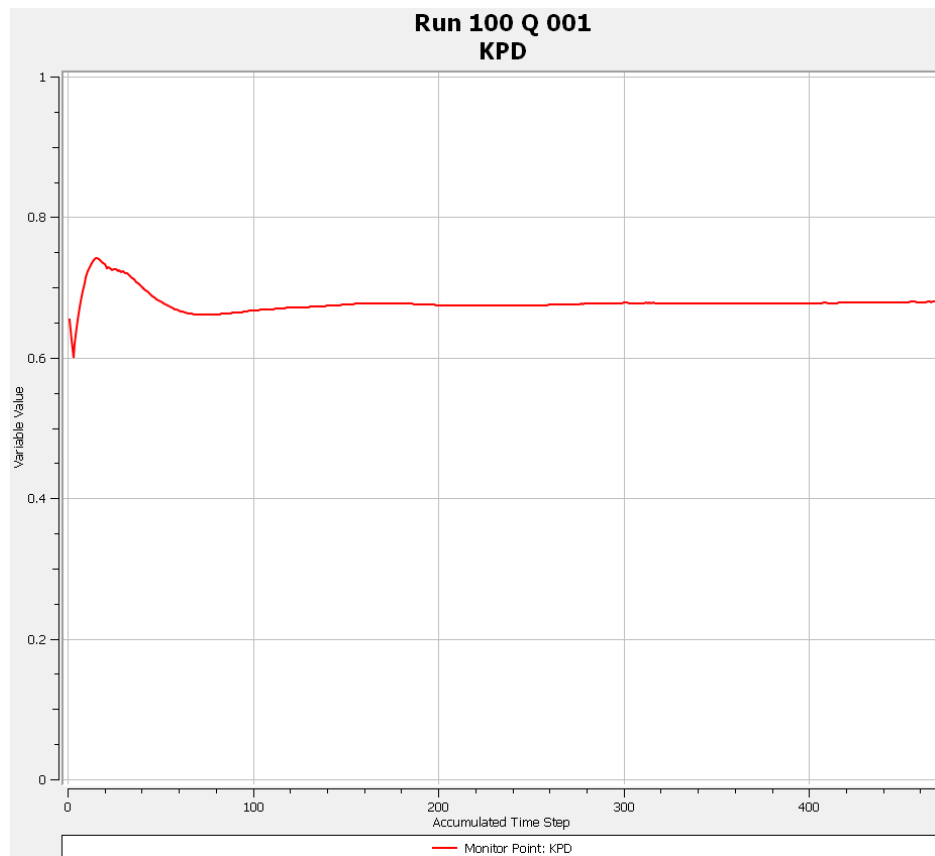


Рисунок 4.14 – Досягнення збіжності параметрів за к.к.д.

4.2 Математичне моделювання гідродинамічних процесів у 3D моделі елементів проточної частини насоса

Аналіз результатів розрахунку проводився в CFX-Post 19.0. Приведені рисунки виконані для дослідження якісної картини руху рідини проточною частиною насоса, а також внесення коректив до його конструктивних елементів.

Аналіз якісної картини розподілу відносної швидкості у міжлопатевих каналах робочого колеса у формі розгортки (рис. 4.15) доводить високу якість проектування його проточної частини. На рисунку відсутні значні зони відриву потоку (синій та червоний кольори), що вказує на відповідність будови потоку конструкції міжлопатевих каналів робочого колеса.

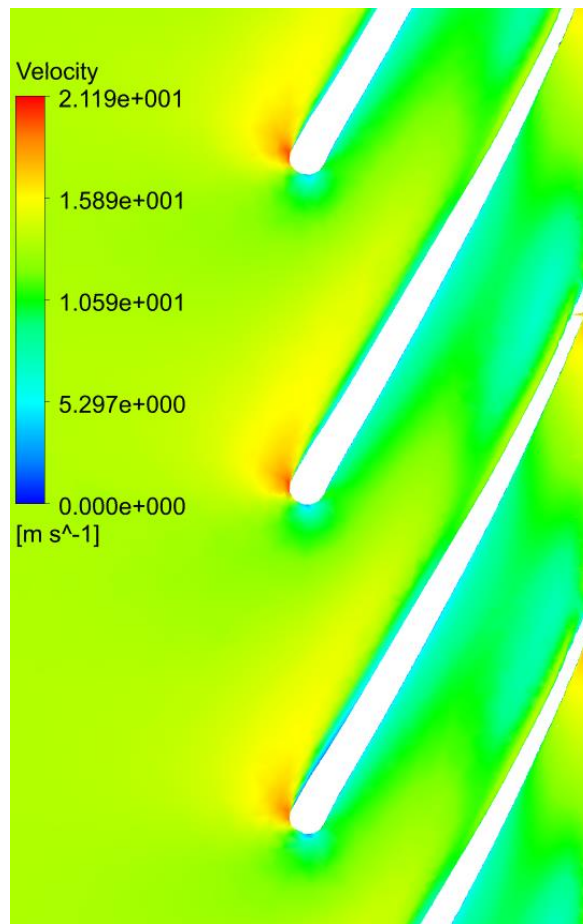


Рисунок 4.15 – Розподіл швидкості у відносному потоці каналу робочого колеса у вигляді контурів

Якісна картина потоку у меридіональному перерізі робочого колеса (рис. 4.16) доводить правильність кутів установки основного та покривного дисків. Наявні зони дещо зниженої (синій колір) та підвищеної (червоний колір) відносної швидкості незначні і пояснюються поворотом потоку. Разом з тим такі зони не мають яскравої вираженості, отже, меридіональний переріз робочого колеса виконаний з високими гідравлічними якостями.

Аналогічний висновок можна зробити з якісної картини розподілу тиску у меридіональному перерізі насоса (рис. 4.17). Значні зони зниженого (синій колір) та підвищеного (червоний колір) тиску відсутні, а наявні пояснюються впливом натікання робочої рідини на лопаті робочого колеса. З урахуванням цього можна зробити висновок про високі гідравлічні якості меридіонального

профілю робочого колеса, а разом з тим і низькою ймовірністю виникнення кавітаційних явищ, що можуть бути пов'язані з зонами зниженого тиску.

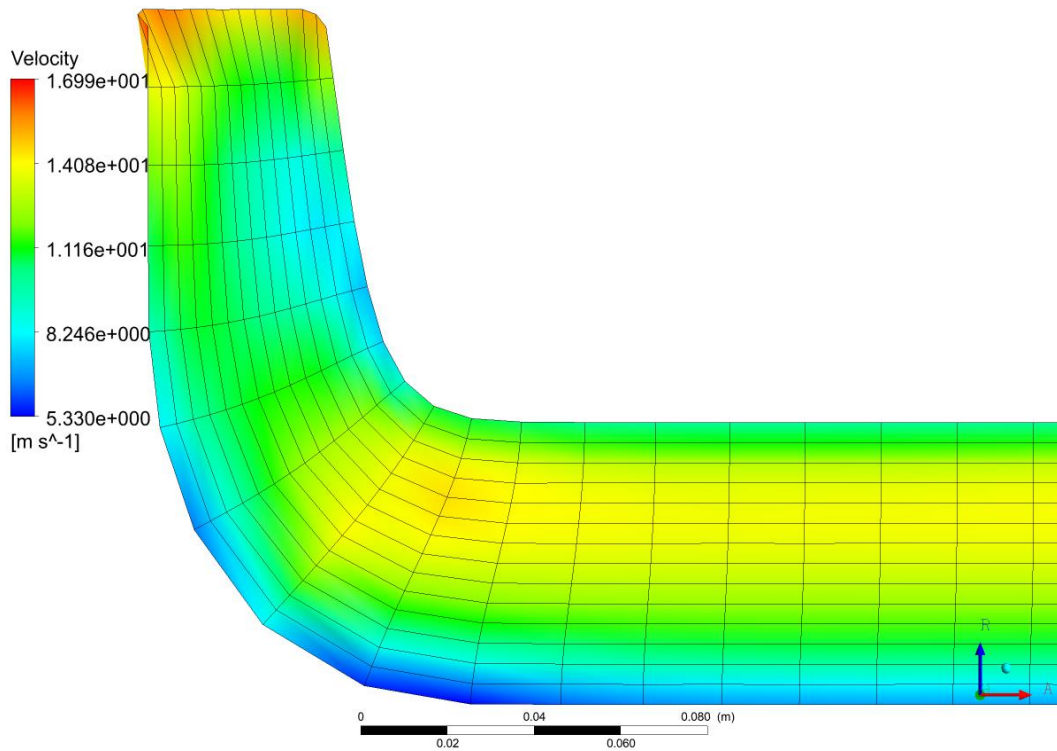


Рисунок 4.16 – Розподіл відносної швидкості у меридіональному перерізі робочого колеса

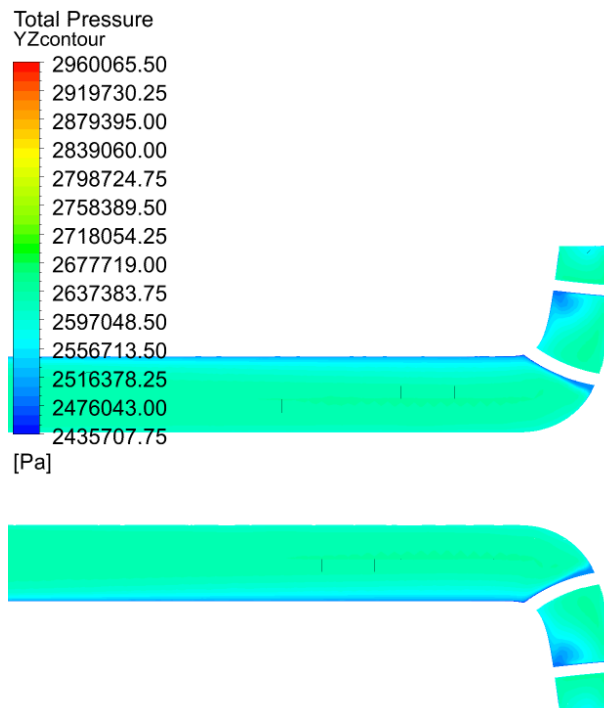


Рисунок 4.17 – Розподіл тиску у меридіональному перерізі робочого колеса

Розподіл тиску в міжлопатевих каналах робочого колеса доводить правильність підбору числа лопатей (рис. 4.18). Зони з дещо більшим значенням тиску (червоний колір) відповідають положенню поблизу робочої сторони лопаті робочого колеса, тоді як зони з меншим значенням тиску (жовтий колір) – положенню поблизу тильної сторони лопаті. Загалом перепад тиску в міжлопатевих каналах робочого колеса не перевищує 100 кПа, або 3,8%, що свідчить про правильно спроектовану проточну частину робочого колеса з огляду на число його лопатей.

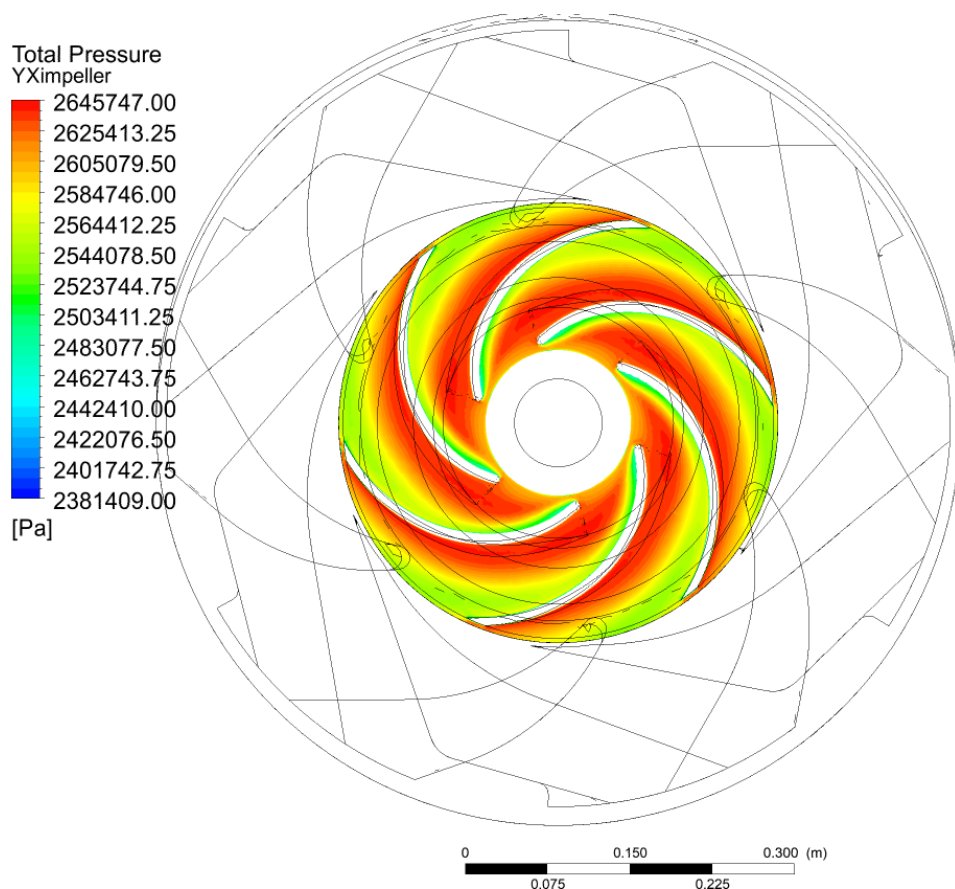


Рисунок 4.18 – Розподіл тиску в міжлопатевих каналах робочого колеса

Розподіл відносної швидкості у дифузійних каналах робочого відвідного пристрою насоса (рисунок 4.19) свідчить про достатню якість натікання потоку на лопатки направляючого апарату. Наявні зони зниженого тиску (синій колір) пояснюються комплексом факторів, до числа яких слід віднести: поворот потоку при переході з дифузійного каналу в перевідний

канал направляючого апарата, дифузорним характером руху потоку робочого середовища у дифузорних каналах відвідного пристрою, необхідністю забезпечувати якнайменші радіальні розміри насоса для зменшення його масо-габаритних характеристик.

Аналогічні висновки можна зробити з якісної картини розподілу тиску в дифузорному каналі відвідного пристрою (рис. 4.20).

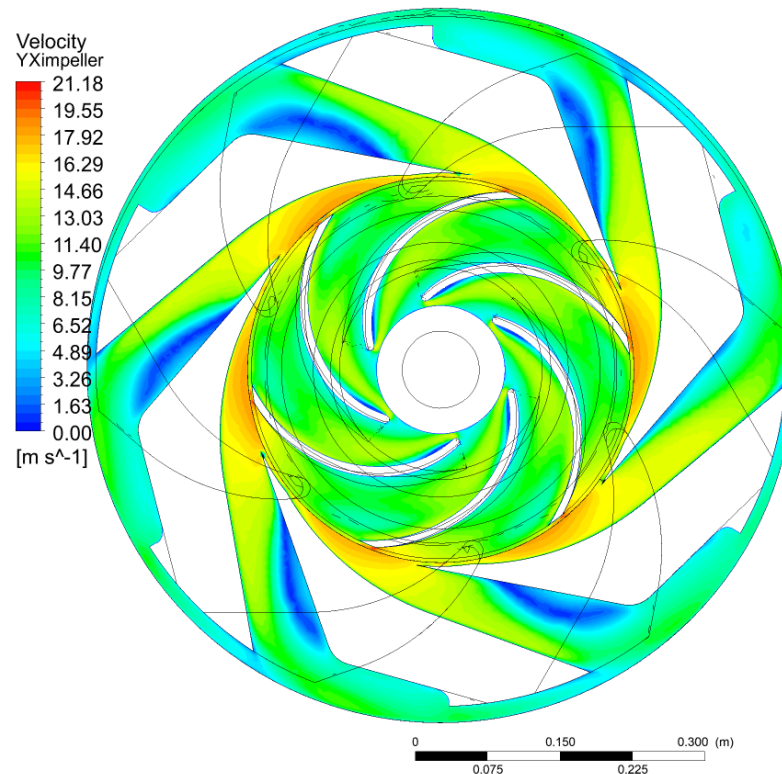


Рисунок 4.19 – Якісна картина розподілу відносної швидкості в дифузорному каналі відвідного пристрою

Аналіз якісної картини руху рідини у перевідному та відвідному каналах направляючого апарату доводить їх високі гідравлічні якості. Зокрема, розподіл відносної швидкості (рис. 4.21) плавний, без наявних значних зон відриву потоку, що характеризуються збільшеними (червоний колір) або зменшеними (синій колір) значеннями відносної швидкості. З урахуванням вищенаведеного можна зробити висновок про мінімальні гідравлічні втрати в даних каналах.

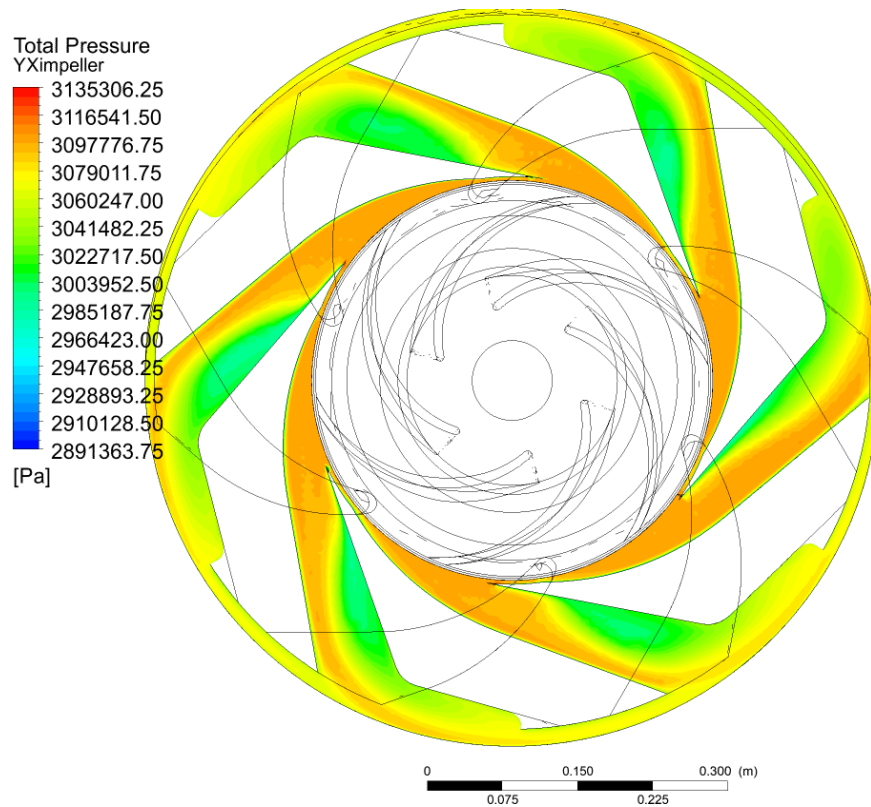


Рисунок 4.20 – Якісна картина розподілу тиску в дифузорному каналі відвідного пристрою

Аналогічні висновки впливають з якісної картини розподілу тиску в перевідному та відвідному каналах направляючого апарату (рис. 4.22) оскільки в них відсутні яскраво виражені значні зони зниженого (синій колір) або підвищеного (червоний колір) тиску.

Розподіл відносної швидкості у кільцевій камері та напірному патрубку насоса (рис. 4.23) рівномірний, що підтверджує наявність мінімальних гідравлічних втрат в даних каналах насоса, у зв'язку з тим, що відсутні значні зони вихороутворення (синій колір – зони зниженої швидкості, червоний – зона підвищеної швидкості).

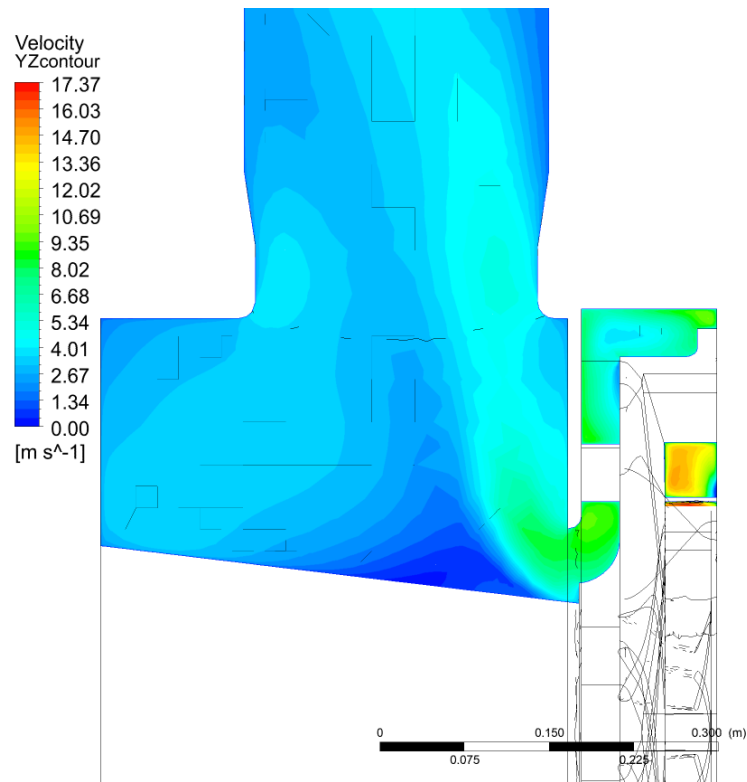


Рисунок 4.21 – Якісна картина розподілу відносної швидкості в перевідному і відвідному каналах відвідного пристрою

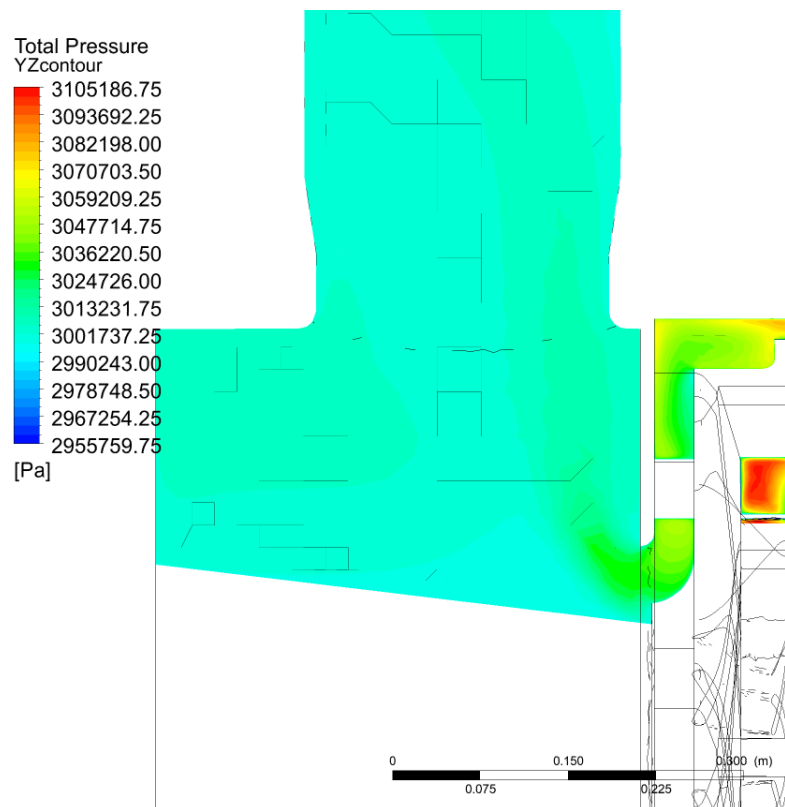


Рисунок 4.22 – Якісна картина розподілу тиску в перевідному і відвідному каналах відвідного пристрою

Розподіл швидкості достатньо рівномірний, а єдина зона зниженої швидкості (рис. 4.23, б) пояснюється зміною напрямку потоку поблизу з язиком відводу.

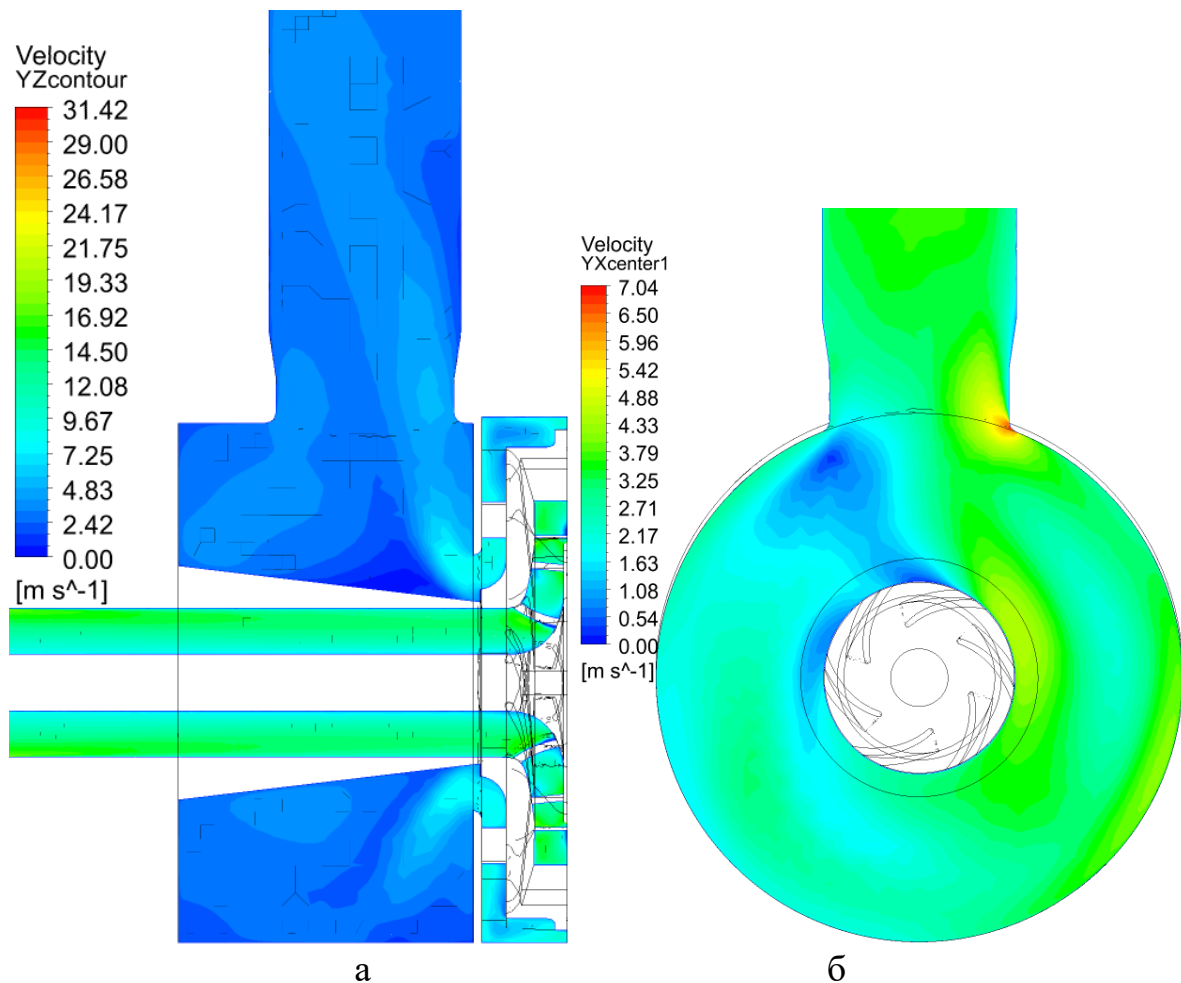


Рисунок 4.23 – Якісна картина розподілу відносної швидкості в кільцевій камері та напірному патрубку відвідного пристрою

Розподіл тиску в кільцевій камері та напірному патрубку (рис. 4.24) рівномірний з поступовим збільшенням його значення в напрямку руху робочої рідини від центру до периферії, що пояснюється зменшенням динамічної складової напору та збільшенням статичної його складової. Загалом розподіл тиску рівномірний без наявних яскраво виражених зон зниженого (синій колір), або підвищеного тиску (червоний колір) в розглянутих каналах насоса.

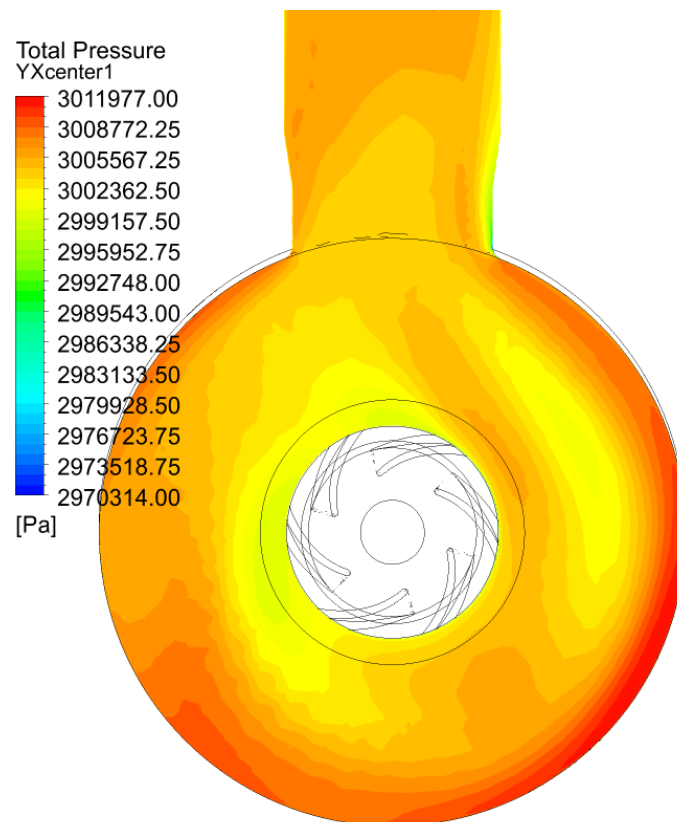


Рисунок 4.24 – Якісна картина розподілу тиску в кільцевій камері та напірному у патрубку відвідного пристрою

4.3 Виконання параметричних розрахунків проточної частини

За результатами параметричних випробувань в програмному комплексі Ansys CFX (табл. 4.1) можна зробити висновки щодо характеру напірної та енергетичних характеристик розробленого агрегата електронасосного АЦНА 600-35.

Дослідження проведено для режимів Q від 30 до 840 м³/год, що відповідає діапазону подач 0,05 – 1,4 $Q_{\text{опт}}$.

Відповідно до отриманих даних максимальний к.к.д. досягається на режимі подач близько 500 м³/год і становить 0,74 (рис. 4.25), що приблизно на 0,12–0,13 вище, ніж у насоса-аналога ТХ 600-35.

Таблиця 4.1 – Результати параметричних випробувань агрегата електронасосного АЦНА 600-35

Робоча точка	Частота обертання n =		1500 об/хв		Густина рідини	997 кг/м ³
	Подача	Масова подача	Напір	К.к.д.	Споживана потужність	
						м ³ /год
0,05	30	8,3083	49,91	0,1355	27,2	
0,1	60	16,6167	47,21	0,2449	28,4	
0,2	120	33,2333	45,14	0,3955	33,7	
0,4	240	66,4667	46,85	0,5841	47,3	
0,6	360	99,7000	47,78	0,6928	63,8	
0,8	480	132,9333	45,32	0,7383	75,6	
1	600	166,1667	38,44	0,6978	85,3	
1,2	720	199,4000	27,64	0,5629	90,8	
1,4	840	232,6333	12,95	0,2998	93,2	

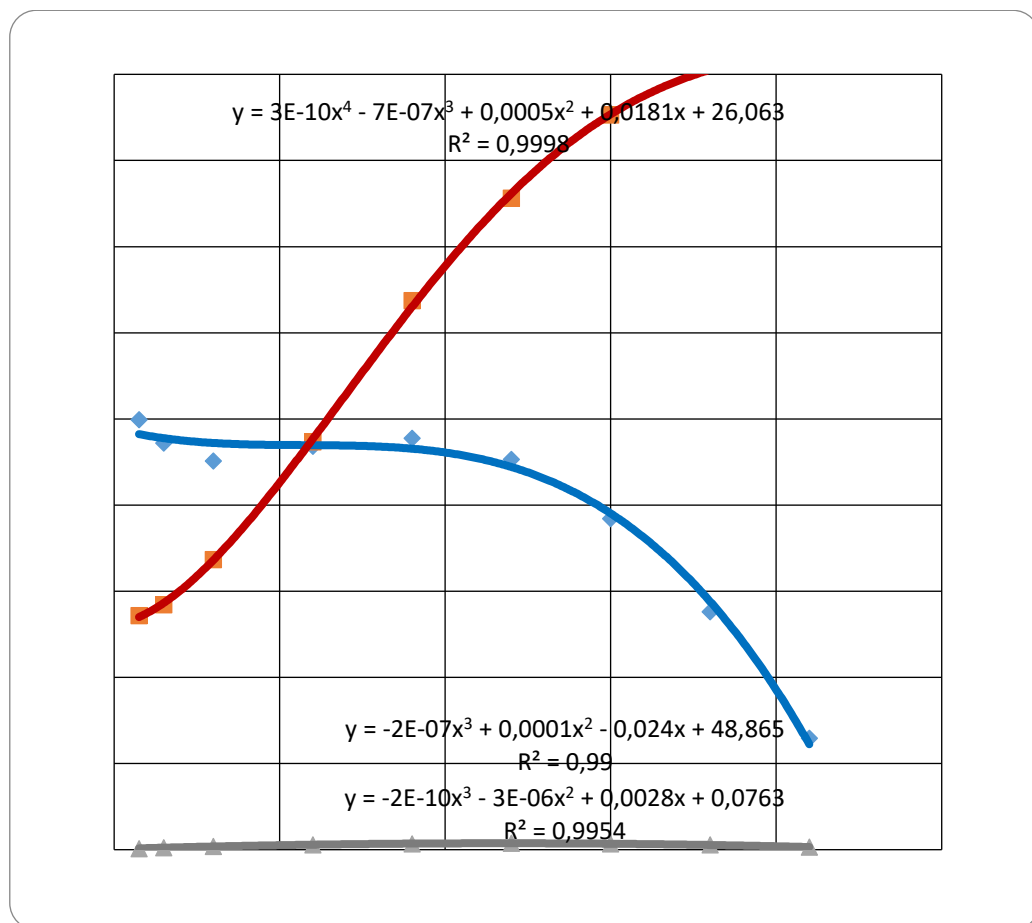


Рисунок 4.25 – Напірна та енергетичні характеристики розробленого агрегата

Таким чином, розроблений електронасосний агрегат АЦНА 600-35 характеризується підвищеними показниками енергоефективності по відношенню до наявних аналогів.

Напір в розрахунковій точці $Q = 600 \text{ м}^3/\text{год}$ становить 38,5 м, що на 3,5 м, або 10% вище, ніж у насоса аналога ТХ 600-35.

Робоча зона насоса, що характеризується зниженням к.к.д. насоса не більше, ніж на 5% у порівнянні зі значенням в оптимальній точці, лежить в межах подач $Q = 0,6-1,1 Q_{\text{ном}}$, або $Q = 360-660 \text{ м}^3/\text{год}$, що забезпечує широкий діапазон роботи насоса з високою енергоефективністю. Споживана насосом потужність в робочому діапазоні лежить в межах $N = 63-81 \text{ кВт}$, що дозволяє експлуатацію електронасосного агрегата з електродвигунами потужністю 75–110 кВт.

Характер напірної характеристики пологопадаючий, що дозволяє експлуатацію насоса навіть на режимах роботи $Q = 0,05-0,5 Q_{\text{ном}}$ без ймовірності виникнення явища помпажа.

Розрахунок осьової та радіальної сили, що діють на ротор агрегата електронасосного АЦНА 600-35 приведений в табл. 4.2.

Таблиця 2 – Розрахунок осьової та радіальної сили, що діють на ротор агрегата електронасосного АЦНА 600-35

Робоча точка	Частота обертання $n =$		1500 об/хв		Густина рідини $\rho =$	997 кг/м ³
	Подача	Масова подача	Напір	Осьова сила	Радіальна сила	
	м ³ /год	кг/с	м	Н	Н	
0,05	30	8,3083	49,91	7426	0	
0,1	60	16,6167	47,21	7266	0	
0,2	120	33,2333	45,14	7408	0	
0,4	240	66,4667	46,85	8630	0	
0,6	360	99,7000	47,78	9696	0	
0,8	480	132,9333	45,32	9941	0	
1	600	166,1667	38,44	8876	0	
1,2	720	199,4000	27,64	6352	0	
1,4	840	232,6333	12,95	2117	0	

Варто зазначити, що розрахункове значення радіальної сили, що діє на ротор насоса для всіх режимів роботи приблизно дорівнює 0, оскільки розроблена конструктивна схема проточної частини забезпечує вісесиметричний потік рідини у відвідному пристрої в зв'язку з наявністю неединичного каналу в направляючому апараті насоса.

Осьова сила, що діє на ротор розробленого насоса, лежить в межах від 2117 Н до 9941 Н і при розрахунковому режимі $Q = 600 \text{ м}^3/\text{год}$ складає 8876 Н.

4.4 Розрахунку торцевих ущільнень

Для чисельного розрахунку методом скінченних елементів вибрані дві конструкції торцевих механічних ущільнень (рис. 4.26, 4.27) для трьох відцентрових насосів: ТХ 800/70/8 – К – 2Е системи розхолодження басейну витримки та ТХ 800/70/8 – К – 2Е системи промконтур (аналог насос ЦНА 600-35), Х 45\90 – К – 2Г подачі на очистку аварійного розчину бору (аналог ЦНА 45-90) і Х 8\60 – К – 2Г системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП (аналог насос ЦНА 8-60). Друга конструкція ущільнення за геометричними розмірами однакова для двох насосів ЦНА 45-90 та ЦНА 8-60. Різниця лише у величині вхідної температури, частоти обертання та у фізичних властивостей ущільнювального середовища. Розв'язувалася осесиметрична статична задача теорії пружності. Початкові дані для розрахунку торцевих механічних ущільнень наведені у таблиці 4.3, матеріал кілець – СГ-П 0,5. Граничними умовами при розрахунку є: вхідний тиск ущільнювального середовища, вхідна температура та обмеження переміщень у центрі тяжіння кілець. Розглядаються поворот поперечного перетину та контактна взаємодія обертового та статорного кілець.

Для аналізу напружено-деформованого стану кілець торцевого механічного ущільнення взята друга конструкція, яка має більшу вхідну температуру та частоту обертання вала, але менший діаметр вала.

Таблиця 4.3 – Геометричні розміри та робочі параметри ущільнень

№	Діаметр вала, мм	Вхідний тиск, атм	Вхідна температура, °С	Частота обертання вала, об/хв	Густина, кг/м ³	Кінематична в'язкість, м ² /с	Модуль пружності, Па	Коефіцієнт Пуассона
1	65	3	70	1485	1005	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{11}$	0,3
2	36	3	90	2940	1000	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{11}$	0,3

Аналіз результатів розрахунку показує (рис. 4.28, 4.29), що неплоскостність в результаті силових деформацій статорного кільця складає 0,065 мкм, що значно менше допустимої величини неплоскостності рівної 0,3 мкм, яка визначається якістю притирання кілець ущільнення. Це пояснюється досить низькою величиною вхідного ущільнювального тиску (камера перед ущільненням з'єднана зі всмоктуванням насоса) і тим що у якості матеріалу кілець вибраний достатньо твердий та міцний матеріал СГ-П 0,5. При цьому зазор в ущільненні буде мати дифузорну форму.

Спрощений аналіз напружено-деформованого стану з урахуванням температурного навантаження показав, що якщо ущільнювальне середовище має підвищену температуру (90 °С), то це може викликати суттєво більші деформації та напруження кілець торцевого механічного ущільнення та відповідно більші відхилення від площинності торцевого зазору (рис. 4.30 а, б). А це може призвести до зменшення тиску в зазорі, збільшення контактного навантаження та нерівномірного зношування кілець. Підвищуються витрати та понижиться ресурс ущільнювального вузла. Тому для ущільнень при температурах ущільнювального середовища більше ніж 80 °С необхідно забезпечити циркуляцію охолоджуючої рідини в камері ущільнення, а якщо перекачувана рідина є абразивною, то необхідно забезпечити промивання зони перед контактною парою ущільнення.

Відповідно правильно необхідно вибирати матеріали вторинних ущільнень – резинових кілець, підходящим вибором у даному випадку буде матеріал, наприклад EPDM – етилен пропіленовий каучук, який може забезпечити діапазон робочих температур від -50 до +175 °С, а також добре переносить наявність абразивних частинок у рідині. Нижче наведені

результати розрахунку ущільнень для запропонованих насосних агрегатів, реалізовані за методикою, розробленою у роботі [12].

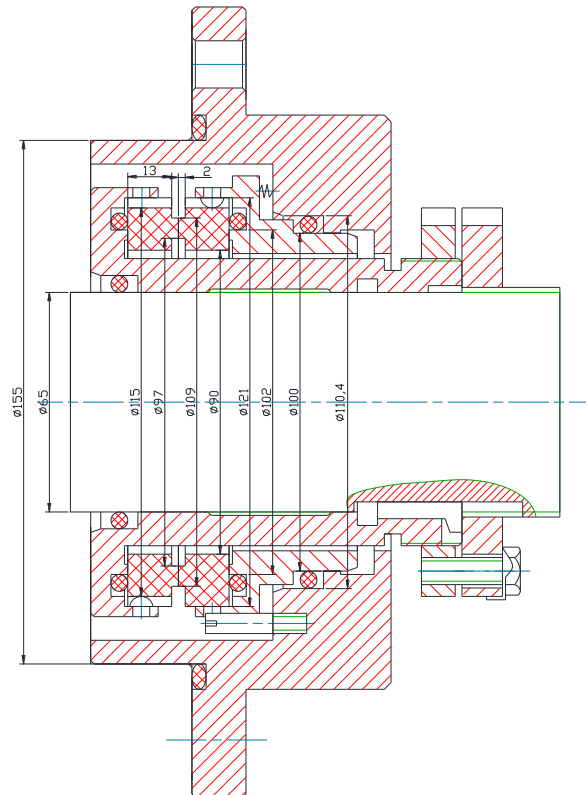


Рисунок 4.26 – Конструкція торцевого механічного ущільнення відцентрового насоса ЦНА 600-35

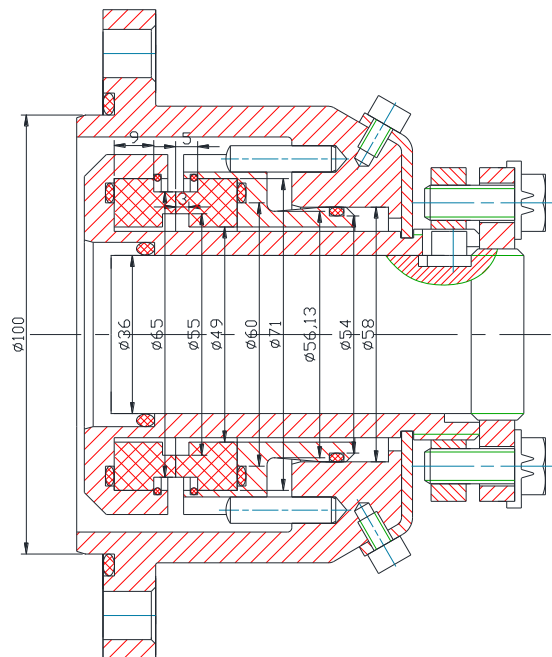


Рисунок 4.27 – Конструкція торцевого механічного ущільнення відцентрових насосів ЦНА 45-90 та ЦНА 8-60

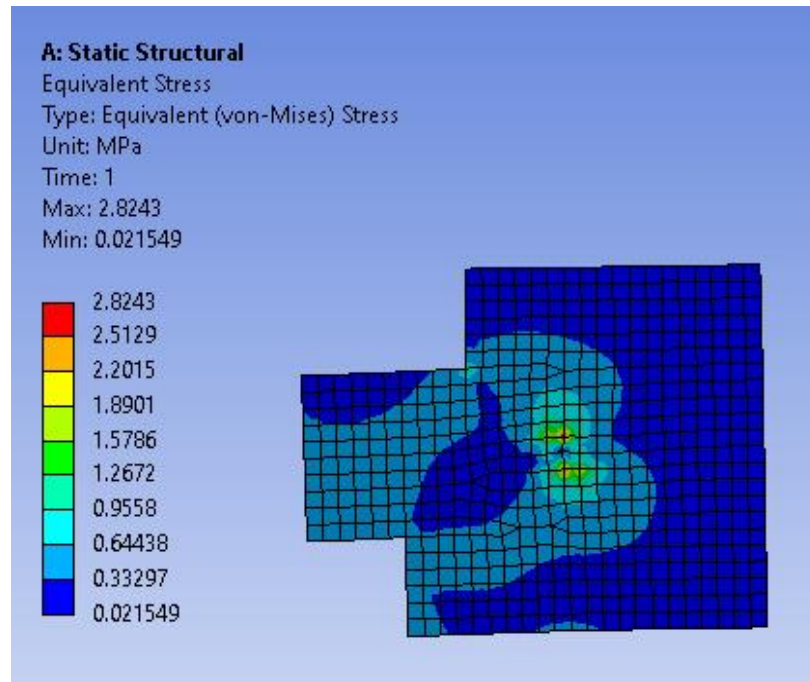


Рисунок 4.28 – Поле еквівалентних напружень в кільці торцевого ущільнення у МПа

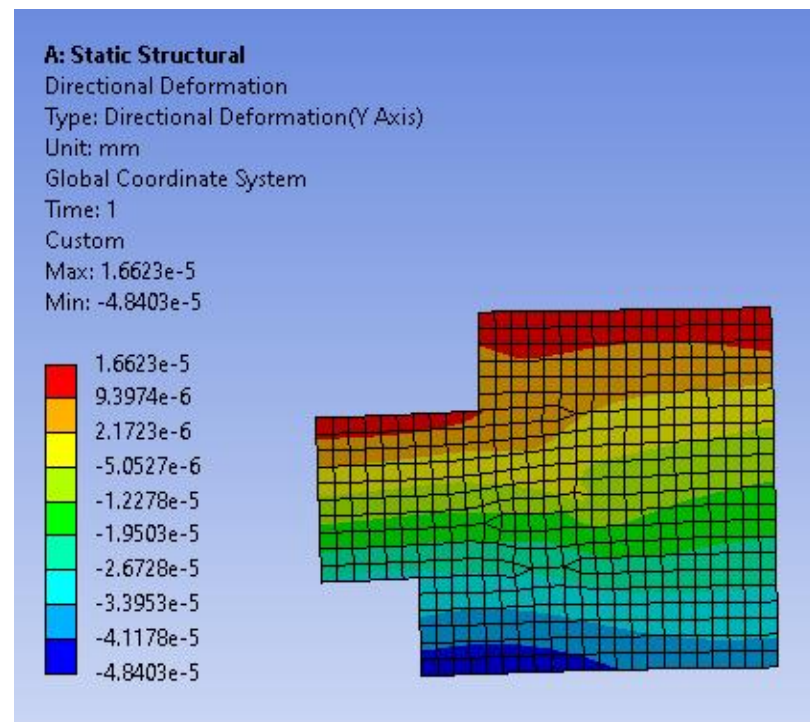
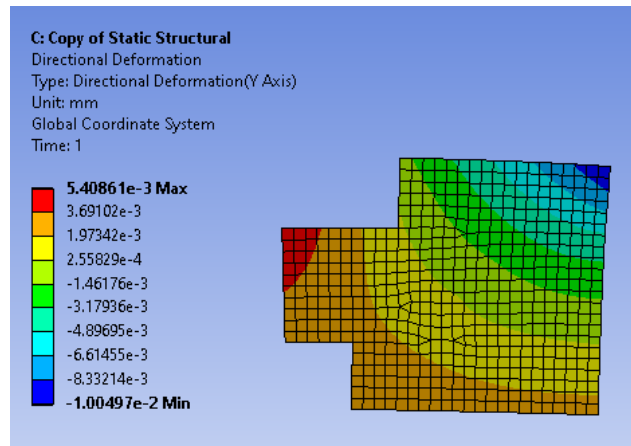
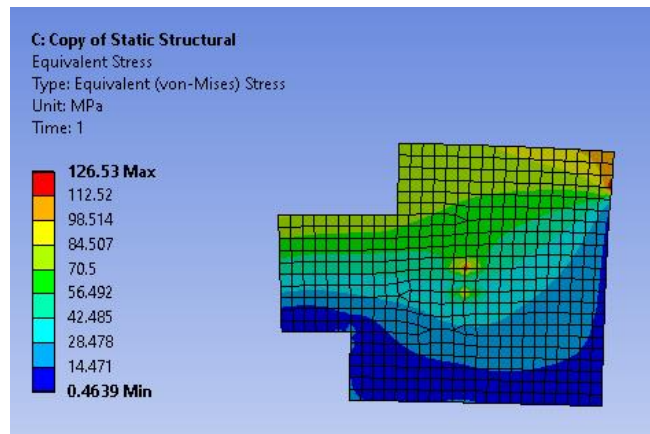


Рисунок 4.29 – Поле осевих деформацій кільця торцевого ущільнення у мм

Пружини повинні виготовлятися із нержавіючої сталі або спеціальних сплавів, які мають підвищену стійкість до корозії, наприклад Хастеллой.



a)



б)

Рисунок 4.30– Поле еквівалентних напружень та осьових деформацій кільця торцевого механічного ущільнення

Контактний тиск [6–11] в парі визначається наступною формулою

$$p_c = \frac{R}{\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2)}, \quad (4.1)$$

де R - рівнодіюча всіх осьових сил, які діють на аксиально-рухоме кільце,
 D_1, D_2 - відповідно внутрішній і зовнішній діаметри робочого пояса.

$$R = F_1 - F_2 + F_{sp} - T. \quad (4.2)$$

F - гідравлічні сили навантаження, які визначаються добутком площі навантаження на відповідний тиск:

$$F_1 = p_1 \pi / 4 (D_2^2 - D_e^2), \quad (4.3)$$

Розкриваюча ущільнюючий зазор сила F_2 обумовлена тиском рідини в зазорі пари. Приймаючи лінійний характер розподілу тиску по ширині зазору, розклинююча сила визначається за формулою

$$F_2 = 1/2 p_1 \pi / 4 (D_2^2 - D_1^2) \quad (4.4)$$

Торцеве ущільнення (пара тертя) розвантажене, якщо $D_e > D_1$, і навпаки торцеве ущільнення (пара тертя) навантажене, якщо $D_e < D_1$. В цьому випадку повна гідравлічна сила передається на контакт. Сила від пружин F_{sp} повинна повністю врівноважувати силу тертя від вторинних елементів T , а величина питомого тиску пружних елементів повинна бути від 0,1 до 0,4 атм. При чому, якщо перекачується абразивне середовище, то величина тиску має бути більшою.

Так, сила F_{sp} пружин повинна забезпечувати певний постійний контактний тиск у парі, не залежний від гідравлічних сил. А зусилля тертя T гумового кільця перешкоджає осьовому переміщенню аксиально-рухомого кільця. При установці гумових кілець з радіальним натягом деформація стиснення складає близько 15 % діаметру перетину, що забезпечує попередній контактний тиск на стоянці.

Величина розвантаження пари тертя характеризується коефіцієнтом навантаження, який визначається вираженням

$$k = \frac{D_2^2 - D_e^2}{D_2^2 - D_1^2} \quad (4.5)$$

Пара тертя розвантажена, якщо $k < 1$, і, навпаки, навантажена, якщо $k \geq 1$.

Для розрахунків, перша конструкція має коефіцієнт навантаження $k=0,76$, а друга конструкція - $k=0,9$. У зв'язку з достатньо невеликою величиною ущільнювального вхідного тиску, вибирається 8 пружин з величиною питомого тиску пружних елементів від 0,02 до 0,12 атм.

Розподіл гідростатичного тиску в зазорі торцевого ущільнення:

$$p = p_1 + \frac{p_2 - p_1}{\ln(r_2/r_1)} \ln(r/r_1) \quad (4.6)$$

де p_1 - гідростатичний тиск ущільнювального середовища,

p_2 - гідростатичний тиск зовнішнього середовища,

r_1, r_2 - внутрішній і зовнішній радіуси пари тертя.

Величина витоків через торцеву щілину для плоскопаралельного зазору і ламінарної течії має вигляд:

$$q = \frac{\pi h^3 \rho (p_1 - p_2)}{6\mu \ln(r_2/r_1)}. \quad (4.7)$$

При турбулентному режимі течії для визначення масової витрати газу можна скористатися формулою

$$m = 2\pi r_1 \rho h \sqrt{2(p_1 - p_2)/\xi},$$

де ξ - коефіцієнт гідравлічного опору щілини.

По силі пружин проводиться підбір або розрахунок пружин з вибраного матеріалу. Визначена розрахунком сила пружин повинна бути достатня для забезпечення необхідного контактного тиску від пружин, як на початку роботи ущільнення, так і при роботі з максимально допустимим зносом кілець пари тертя до 6 мм.

Жорсткість пружини:

$$Z = \frac{Gd^4}{8D^3 n_p};$$

довжина пружини у вільному стані

$$L = (n - 0,5)d + n_p(t - d),$$

де G - модуль пружності матеріалу,

D - середній діаметр пружини;

n - повне число витків, яке дорівнює $n_p + 1,5$.

Потужність, яка споживається торцевим ущільненням, витрачається на подолання сил тертя в парах тертя і сил тертя елементів, що обертаються в змащувальній рідині. Можна прийняти, що споживана торцевим ущільненням потужність повністю витрачається на подолання сил тертя в парах.

Момент сили тертя в парі

$$M_F = fF_N r_a,$$

де f - коефіцієнт тертя;

F_N - нормальне навантаження в парі тертя, Н;

r_a - середній радіус робочого поясочка пари тертя, м.

Нормальне навантаження в парі тертя визначається номінальною площею контакту і контактним тиском в парі:

$$F_N = p_c \pi D_1 b,$$

де p_c - контактний тиск в парі, Па;

b - ширина робочого пояса кілець пари тертя.

Для визначення потужності тертя використовуємо формулу

$$N = M_F \pi n / 30 = f p_c \pi^2 b D_1 \frac{(D_2 - D_1)}{60} n, \text{ Вт} \quad (4.8)$$

де n – частота обертання валу, об/мин.

Алгоритм розрахунку і проектування торцевого ущільнення приведений на рис. 4.31, початкові і вихідні дані приведені в таблиці 4.4.

Відведення теплоти проводиться проточною водою, яка охолоджує змащувальну рідину. Максимальна температура змащувальної рідини не повинна перевищувати температуру її кипіння: для мінеральних масел і води допускається температура 80 °С.

Наближену оцінку теплоти, що відводиться від ущільнення змащувальною системою, можна провести, використовуючи емпіричні залежності, які добре узгоджуються з фактичними даними.

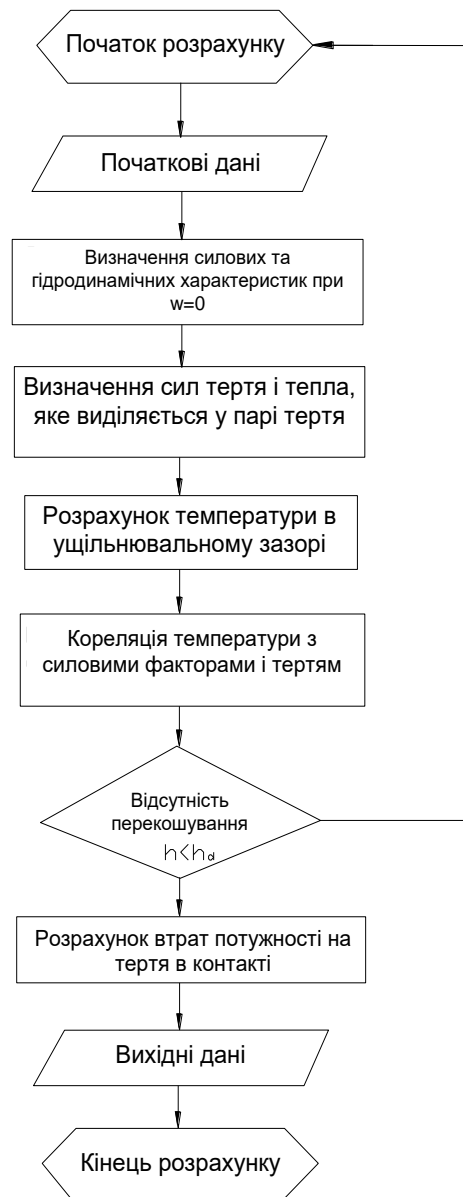


Рисунок 4.31 – Алгоритм розрахунку і проектування торцевого ущільнення

Сумарний тепловий потік в змащувальну рідину

$$Q_T = Q_F + Q_S + Q_R \quad (4.9)$$

де Q_F - теплота, що генерується тертям,

Q_S - теплота, яка обумовлена теплопередачею від валу насоса через ущільнення, яке встановлене на валу,

Q_R - теплота, яка обумовлена теплопередачею від ущільнення.

Таблиця 4.4 – Початкові і вихідні дані для розрахунку торцевого ущільнення

Початкові дані	Вихідні дані
<p>1. Перекачувальне середовище (назва):</p> <ul style="list-style-type: none"> - хімічна активність, - пожаро- вибухонебезпечність, - радіоактивність, - наявність абразиву, - температура кипіння, - температура кристалізації, - густина, - динамічна в'язкість. <p>2. Параметри роботи ущільнення:</p> <ul style="list-style-type: none"> - тиск ущільнювального середовища p_1, МПа, - температура ущільнювального середовища t_1, °С, - температура навколишнього середовища t_2, °С, - частота обертання валу n, об/мин. <p>3. Геометричні розміри сальникової камери:</p> <ul style="list-style-type: none"> - діаметр валу D_1, мм, - діаметр розточки корпусу D_3, мм, - довжина сальникової камери. 	<p>1. Конструктивна схема ущільнення (одинарне (промивка, охолодження), подвійне, тандемне).</p> <p>2. Геометричні розміри кілець контактної пари торцевого ущільнення, розміри канавок під вторинні ущільнення (гумові кільця) і посадочних поверхонь втулок.</p> <p>3. Зусилля від пружних елементів (пружин) – кількість, діаметр, довжина, величина попереднього підтискання.</p> <p>4. Матеріали основних деталей (пружних елементів, гумових кілець, контактної пари, втулок).</p> <p>5. Величина зазору і витоків ущільнювального і (або) запірною середовищ.</p> <p>6. Статичні (залежність зазору від ущільнювального перепаду тиску) і витратні (залежність витоків від ущільнювального перепаду тиску).</p> <p>7. Напружено-деформований стан конструкції і кілець контактної пари торцевого ущільнення:</p> <ul style="list-style-type: none"> - розподіл гідростатичного, контактного тиску і температури по ширині пари тертя, - величина розкриття кілець контактної пари. <p>8. Величина втрат потужності на тертя в ущільненні.</p> <p>9. Витрата і температура охолоджуючого або промивального середовищ.</p>

Теплота, що генерується тертям, Вт,

$$Q_F + N \quad (4.10)$$

Тепловий потік від корпусу ущільнення

$$Q_R = qS_R.$$

Тут густина теплового потоку;

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t,$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу кришки ущільнення;

δ - товщина кришки,

Δt - різниця температур робочого середовища насоса і змащувальної рідини, °С.

Поверхню теплообміну S_R для подвійних торцевих ущільнень визначають за формулою

$$S_R = \frac{\pi}{4} (0,2d + 0,01),$$

де d - діаметр валу.

Таким чином,

$$Q_R = \frac{\pi \lambda}{4 \delta} \Delta t (0,2d + 0,01). \quad (4.11)$$

Тепловий потік по валу визначається теплопровідністю матеріалу валу і теплопередачею системи вал - робоче середовище

$$Q_S \approx 3Q_R.$$

З рівняння теплового балансу, кількість теплоти, що відводиться від змащувальної рідини, дорівнює

$$Q_c = Q_F + Q_S + Q_R.$$

Необхідна кількість теплоти Q_c , що відводиться при конвективній циркуляції смазуючої рідини. При конвекції теплота, що відводиться змащувальною рідиною з робочої порожнини, передаватиметься через стінку холодильника охолоджуючої рідини.

Кількість теплоти, що відводиться охолоджуючою рідиною, яка циркулює через холодильник,

$$Q_x = cW_x\rho(t_o - t_i),$$

де t_o - температура охолоджуючої рідини на виході з холодильника,
 t_i - температура рідини на вході в холодильник.

Визначимо витрату охолоджуючої рідини W .

Місцеві опори на лінії: $\zeta_1 = 1,0$ - вихід з холодильника, $\zeta_2 = 0,5$ - вхід в холодильник, ζ_3 - втрати на повороти трубопроводу, $\zeta_s = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3$.

Швидкість в лінії

$$V_p = \sqrt{\frac{2(p_i - p_o)}{\left(\zeta_s + \lambda_p \frac{l_0}{d_p}\right)\rho}},$$

де $\lambda_p = \frac{0,316}{\left(\frac{V_p d_p}{\nu}\right)}$.

Площа перетину труби в лінії $S_p = \frac{\pi d_p^2}{4}$,

$$W = V_p S_p.$$

Кількість теплоти, яка передається від зовнішньої стінки внутрішньої труби холодильника охолоджуючою рідиною,

$$Q_{wf} = \alpha S_w (t_w - t_r),$$

де $S_w = \pi d_n$ - площа зовнішньої стінки внутрішньої труби холодильника,
 t_w - температура зовнішньої стінки.

Коефіцієнт тепловіддачі α :

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d_n}.$$

Швидкість течії охолоджуючої рідини в холодильнику

$$V_c = \frac{W_c}{S_c},$$

де $S_c = \frac{\pi(d_i^2 - d_o^2)}{4}$ - площа перетину міжтрубного простору для проходу охолоджуючої рідини в холодильнику.

Числа Re_f і Pr_f :

$$Re_f = \frac{V_c d_n}{\nu},$$

$$Pr_f = \frac{\nu \rho c}{\lambda}.$$

При течії в кільцевому каналі

$$Nu = 0,23 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,4} \left(\frac{d_i}{d_o} \right)^{0,45}.$$

Кількість теплоти, яка передається через стінку холодильника,

$$Q_{wc} = \frac{2\pi\lambda_w l_c (t_{w1} - t_{w2})}{2,31g \frac{d_0}{d_i}},$$

де t_{w1} - температура внутрішньої стінки внутрішньої труби холодильника.

Кількість теплоти, яка передається від змащувальної рідини внутрішньої стінки внутрішньої труби холодильника,

$$Q_{fw} = \alpha_w S_{w1} (t_{af} - t_{w1}),$$

де $S_{w1} = \pi d_i l_c$ - площа внутрішньої стінки внутрішньої труби холодильника.

Кількість теплоти Q_c , яка відводиться при конвективній циркуляції змащувальної рідини,

$$Q_c = cW_l \rho (t_{il} - t_{ol}),$$

Визначимо витрату змащувальної рідини W_c

$$W_c = v_c S_{c1},$$

де $S_{c1} = \frac{\pi d_i^2}{4}$ - площа перетину труби для проходу змащувальної рідини.

Довговічність пари тертя:

$$D = \frac{\Delta h}{J},$$

де Δh - допустимий знос, мм;

J - швидкість зношування.

Величина витоків в торцевому ущільненні з урахуванням частоти обертання валу визначається за формулою

$$q = \frac{h^3}{\mu \cdot \ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)} \left[1,885 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta p - 7,752 \cdot 10^{-19} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot (D_1^2 - D_2^2) \right] \text{ [см}^3\text{/ч (мл/ч)]}, \quad (4.12)$$

де h [мкм] - зазор в ущільненні,

μ [Па·с] - динамічна в'язкість ущільнювального середовища,

D_1, D_2 [мм] - зовнішній і внутрішній діаметри торцевого пояса пари

тертя, $\Delta p = p_1 - p_2$ [атм] - перепад тиску в ущільненні,

ρ [кг/м³] - густина ущільнювального середовища,

n [об/мин] - частота обертання валу.

Величина витоків в торцевому ущільненні без урахування частоти обертання валу

$$q = \frac{\pi h^3 \Delta p}{6 \mu \ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)} \text{ [м}^3\text{/с]}. \quad (4.13)$$

Розрахункова схема торцевого ущільнення представлена на рисунку 4.31.

Величина коефіцієнта навантаження розраховується за формулою

$$k = \frac{D_1^2 - D_v^2}{D_1^2 - D_2^2}. \quad (4.14)$$

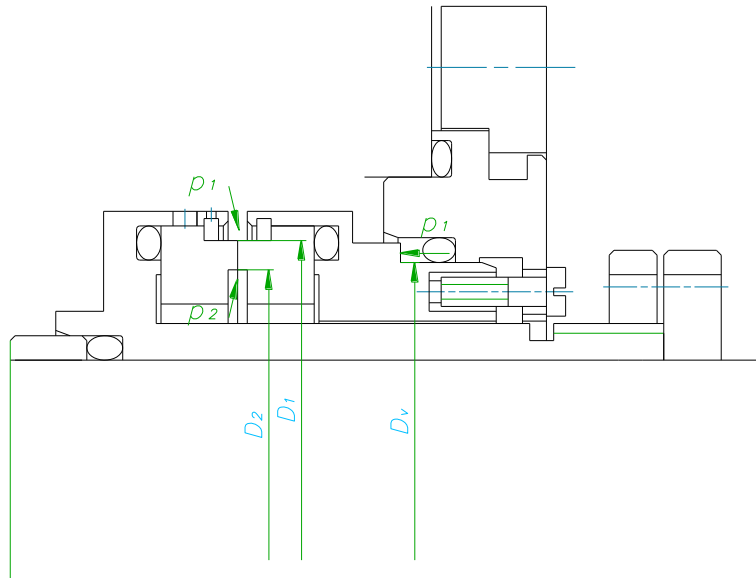


Рисунок 4.31 – Розрахункова схема торцевого ущільнення

Розрахунок міцності і силових деформацій виконується методом скінченних елементів. Розв’язана осесиметрична контактна задача. Розрахункова схема торцевої пари з граничними умовами показана на рисунку 4.32. Результати розрахунку представлені на рисунку 4.33 а, б, в.

Контактний зазор в парі тертя за рахунок силового навантаження від ущільнювального тиску є мінімальним. Тому величина зазору в торцевому ущільненні визначається шорсткістю поверхонь кілець пари тертя відповідно за формулою:

$$h = \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2}. \quad (4.15)$$

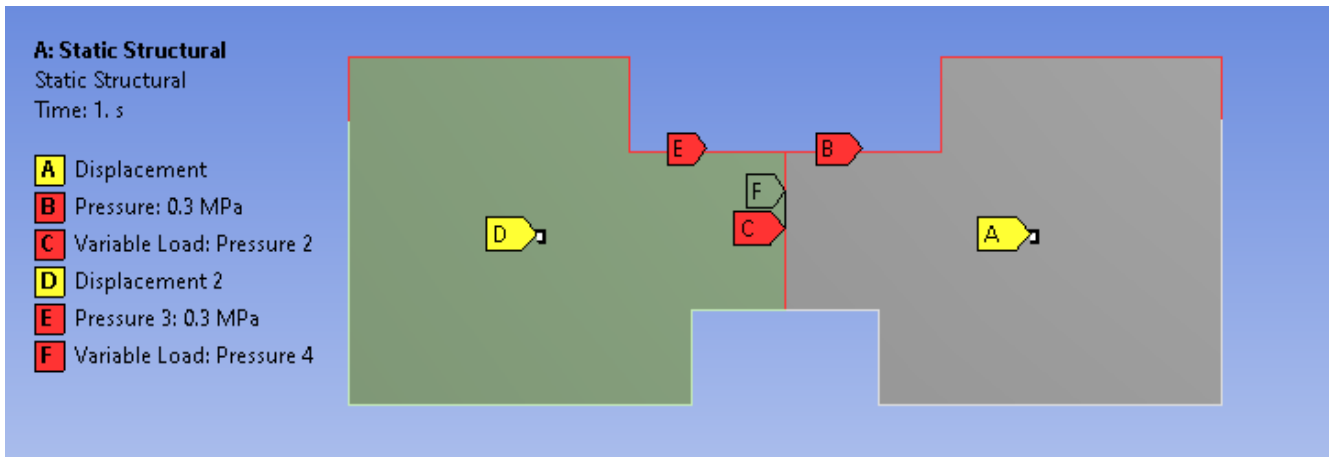
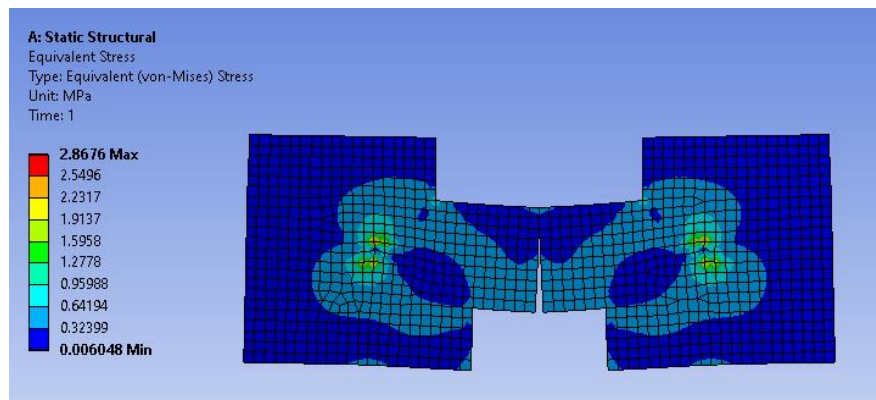
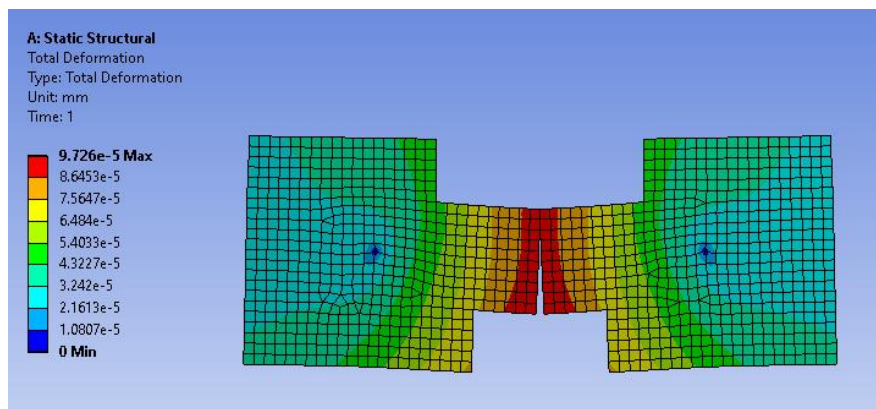


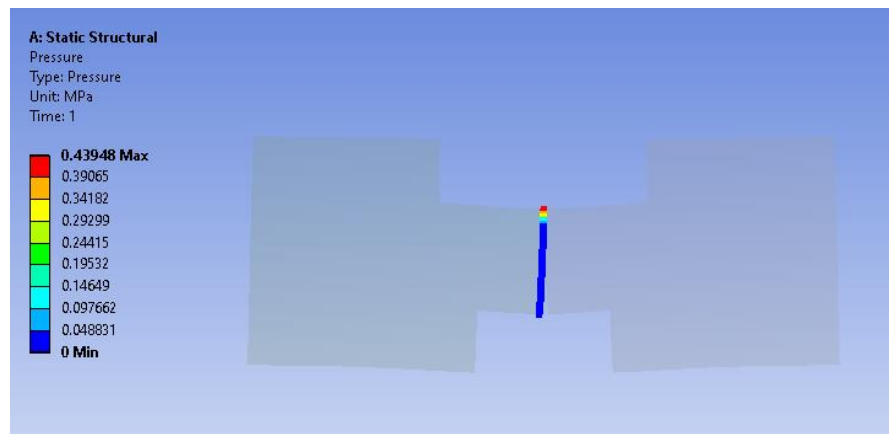
Рисунок 4.32 – Розрахункова схема торцевої пари ущільнення



a)



b)



в)

Рисунок 4.33 – Величина еквівалентних напружень (МПа) *a*), деформацій (мм) *б*), розподіл контактного тиску в торцевому ущільненні при ущільнювальному тиску p_1 (МПа)

Початкові дані для розрахунку: $D_1 = 65$ мм, $D_2 = 55$ мм, $D_e = 56,1$ мм, $p_1 = 3$ атм, $p_2 = 0$ атм, $\rho = 1000$ кг/м³, $k = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $n = 2940$ об/мин.

Результати розрахунку:

1) при максимально допустимій для торцевих ущільнень шорсткості поверхні пари тертя $R_a = 0,5$ мкм, зазор в торцевому ущільненні по формулі (4.15) дорівнює $h = 0,5$ мкм;

2) коефіцієнт навантаження (4.5) $k = 0,9$;

3) величина витоків без урахування частоти обертання валу (4.13) $q = 1,3$ мл/ч;

4) величина витоків з урахуванням частоти обертання валу (4.12) $q = 0,8$ мл/ч.

5) необхідно забезпечити конвективне відведення тепла охолоджуючою рідиною.

6) витрати потужності на тертя $N = 32,5$ Вт.

Реалізація методики розрахунку [13]

Програма автоматизованого проектування торцевих ущільнень реалізована за допомогою алгоритмічної мови DELPHI 6. На підставі введених вихідних даних програма створює файли макросів (файли набору команд).

Для автоматизованої побудови ескізу ущільнення в програмі AUTOCAD на алгоритмічній мові Autolisp створюється файл-макрос Test.lsp.

Використовуючи команди на алгоритмічній мові APDL генерується файл команд Test.mac, який необхідний для запуску міцнісного розрахунку і розрахунку температурних деформацій у програмному комплексі ANSYS. Бази даних необхідні для роботи програми створюються за допомогою програми EXCEL.

Бази даних

У програмі використовуються файли бази даних у форматі .xls:

- база властивостей матеріалів (Mat.xls);
- база властивостей матеріалів пари тертя (Mat_tr.xls);
- база властивостей перекачувального середовища (Sreda.xls);
- база гумових ущільнювальних кілець (Rez.xls);
- база пружин (Pr.xls).

База властивостей матеріалів (Mat.xls) і властивостей матеріалів пари тертя (Mat_tr.xls) містять наступні пункти:

- 1) назва матеріалу;
- 2) модуль пружності, МПа;
- 3) коефіцієнт Пуассона;
- 4) коефіцієнт тертя;
- 5) коефіцієнт температурного розширення, $\frac{1}{K}$;
- 6) коефіцієнт термічної провідності, $\frac{Вт}{м \cdot K}$;
- 7) межа міцності на стискання, МПа;
- 8) межа міцності на вигин, МПа.

База властивостей середовища, яке перекачується (sreda.xls) містить наступний поля:

- 1) назва середовища;
- 2) температура, °С;
- 2) в'язкість, Па·с;
- 3) густина, кг/м³;

База даних гумових кілець створювалася на основі ГОСТ 9833-73.

Файл бази даних (Rez.xls) складається із чотирьох аркушів (d25, d30, d36, d46) відповідно до найбільш застосованих діаметрів перетину гумових кілець – 2.5 мм, 3.0 мм, 3.6 мм, 4.6 мм.

Кожен аркуш містить інформацію про позначення типорозміру кільця та розміри посадкових місць:

- 1) типорозмір кільця (ГОСТ 9833-73);
- 2) діаметр d , мм;
- 3) діаметр D , мм;
- 4) діаметр торцевого кільця d_4 , мм;
- 5) діаметр торцевого кільця D_4 , мм;
- 6) діаметр радіального кільця нерухомого з'єднання D_I , мм;

До бази даних пружин відповідно до ГОСТ 13765-86 з альбому креслень ІЗ 082 заноситься наступна інформація:

- 1) позначення пружини;
- 2) діаметр пружини D , мм;
- 3) діаметр перетину дроту d , мм;
- 4) довжина пружини у вільному стані H_0 , мм;
- 5) сила від пружини при робочому стисненні, Н;
- 6) робоче стиснення пружини, мм.

При необхідності база даних може бути розширена. Для цього необхідно дописати наприкінці таблиці даних рядок нового елемента бази.

Описання інтерфейсу.

При запуску файлу Roll.exe з'являється основне вікно програми:

The screenshot shows the main window of the 'Roll' software. It is divided into several sections:

- Перекачиваемая среда (Transfer medium):** Includes a dropdown menu for selection and input fields for dynamic viscosity (μ , Pa·s), density (ρ , kg/m³), pressure (P , MPa), and temperature (T , °C). There is also a field for ambient temperature (T окружающей среды, °C).
- Основной материал (Main material):** Includes a dropdown menu and input fields for Young's modulus (Модуль упругости, МПа), Poisson's ratio (Коэф. Пуассона), friction coefficient (Коэф. трения), thermal expansion coefficient (Коэф. темп. расширения, 1/К), and thermal conductivity (Коэф. теплопроводности, Вт/(м*К)).
- Материал пары трения (Friction pair material):** Features two columns for 'материал 1' and 'материал 2', each with a dropdown menu and input fields for the same material properties as the main material.
- Geometry and Calculation:** Includes a diagram of a ring assembly with numbered parts (1-4). Below it are dropdown menus for 'Кольцо 1 (d-D-dc)', 'Кольцо 2 (d-D-dc)', 'Кольцо 3 (d-D-dc) К', and 'Кольцо 4 (d-D-dc)'. There are also input fields for 'Ширина h, мм', 'Dпруж-dпров', 'Кол.пруж', and 'Рпруж, МПа'. A 'Протечка' (Leakage) section has a 'Рассчитать' (Calculate) button.
- Legend:** A box defining the variables: d - внутренний диаметр кольца, D - наружный диаметр кольца, dc - диаметр сечения кольца, h - ширина контактного пояса, K - коэффициент нагрузки, $Dпруж$ - диаметр пружины, $dпров$ - диаметр сечения проволоки, $Pпруж$ - суммарное давление от пружин.
- Additional Fields:** Includes 'Теплоотвод' (Heat sink) with 'толщина корпуса, мм' and 'Т охл. жидкости, °C' (20), and a 'Расчитать' (Calculate) button. There are also fields for 'Мощность трения' (Friction power) with sub-fields for $Nтр=$, PV критерий, and $P \cdot V=$.

Рисунок 4.34 – Основне вікно програми

Панель «Перекачувальне середовище»:

The screenshot shows the 'Перекачиваемая среда' panel with the following values:

- Selected medium: вода, 20°C
- μ , Па·с: 1.00E-03
- ρ , кг/м³: 998.2
- P , МПа: 1.5
- T , °C: 20

Рисунок 4.35 – Панель «Перекачувальне середовище»

Панель містить список перекачувальних середовищ, які закладені у базі даних. При виборі середовища зі списку, автоматично заповнюються поля в

яких вказується в'язкість, густина і температура. Також на панелі вказується величина тиску. Якщо необхідного середовища немає в базі даних, то його властивості задаються вручну.

Поле «Температура навколишнього середовища» – температура на місці експлуатації ущільнення:

Рисунок 4.36 – Поле «Температура навколишнього середовища»

Панель «Основний матеріал» і панель «Матеріал пари тертя»:

Рисунок 4.37 – Панель «Основний матеріал»

Рисунок 4.38 – Панель «Матеріал пари тертя»

Поля панелей «Модуль пружності», «Коефіцієнт Пуассона», «Коефіцієнт тертя», «Коефіцієнт температурного розширення» і «Коефіцієнт теплопровідності», можуть бути заповнені вручну або автоматично, при виборі матеріалу зі списку бази даних матеріалів (Mat.xls і Mat_tr.xls).

Панель «Матеріал пари тертя» має також поля «Межа міцності на стискання» і «Межа міцності на вигин».

Якщо матеріал нерухомого кільця відмінний від матеріалу обертового кільця пари тертя, необхідно поставити «галочку» біля надпису «матеріал 2» і заповнити поля властивостей матеріалу.

Панель «Діаметр вала і частота обертання»:



Рисунок 4.39 – Панель «Діаметр вала і частота обертання»

Діаметр вала може бути обраний зі списку або введений вручну.

Кнопка «Очистити всі поля» – при натисканні цієї кнопки відбувається очищення всіх полів введення програми:

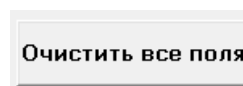
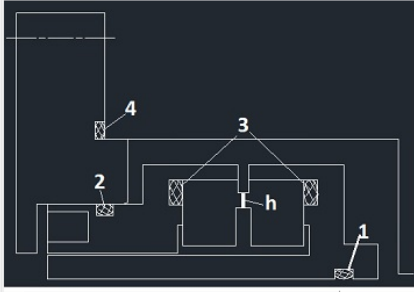


Рисунок 4.40 – Панель Кнопка «Очистити всі поля»

Вкладка «Конструктивна схема і розрахунок» представляє собою панель вибору елементів конструкції.

За допомогою компонентів цієї вкладки безпосередньо виконується проектування торцевого ущільнення.

Конструктивная схема и расчеты | Проверочный расчет



Кольцо 1 (d-D-dc) 100-105-30

Кольцо 2 (d-D-dc) 122-128-25

Кольцо 3 (d-D-dc) К 135-145-46 K=0.87 (K=0.85-0.95)

Кольцо 4 (d-D-dc) 175-185-46

Ширина h, мм 5

Дпруж-dпров.	Кол.пруж	Рпруж, МПа
6-0.8	10	0.16
6-0.8	12	0.19
6-0.8	14	0.23

(Рпруж=0.13-0.23)

Теплоотвод
толщина корпуса, мм 30
Т охл. жидкости, °C 20
Q=136, Вт
конвективный отвод тепла

Мощность трения
Nтр=46.1368, Вт
PV критерий
P·V=20410000, Н/(м·с)

Протечка
Рассчитать

Построение эскиза и расчет
Рассчитать

d - внутренний диаметр кольца
 D - наружный диаметр кольца
 dc - диаметр сечения кольца
 h - ширина контактного пояса
 К - коэффициент нагрузки
 Дпруж - диаметр пружины
 dпров - диаметр сечения проволоки
 Рпруж - суммарное давление от пружин

Рисунок 4.41 – Вкладка «Конструктивна_схема і розрахунок»

У лівій частині вкладки розташоване зображення конструктивної схеми ущільнення. Під зображенням на вкладці – список використаних позначень із поясненнями.

d - внутренний диаметр кольца
D - наружный диаметр кольца
dc - диаметр сечения кольца
h - ширина контактного пояса
K - коэффициент нагрузки
Дпруж - диаметр пружины
dпров - диаметр сечения проволоки
Рпруж - суммарное давление от пружин

Рисунок 4.42 – Список використаних позначень

Список «Кільце 1 (d-D-dc)» - список варіантів гумових кілець, які можуть бути вибрані для позиції 1 (ущільнювальне кільце, яке розташоване на валу).

Поле «Ширина h, мм» – поле в якому вказується ширина контактного пояску.

Ширина h, мм

3

Рисунок 4.43 – Поле «Ширина h, мм»

Список «Кільце 2 (d-D-dc)» - список варіантів гумових кілець, які можуть бути вибрані для позиції 2 (ущільнювальне кільце рухомого з'єднання).

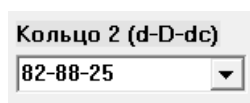


Рисунок 4.44 – Список «Кільце 2 (d-D-dc)»

Список «Кільце 3 (d-D-dc)» – список варіантів гумових кілець, які можуть бути вибрані для позиції 3 (ущільнювальні кільця контактної пари) і значення коефіцієнта навантаження, з урахуванням цих кілець.

Праворуч від списку «Кільце 3 (d-D-dc)» інформація про діапазон значень коефіцієнта навантаження:

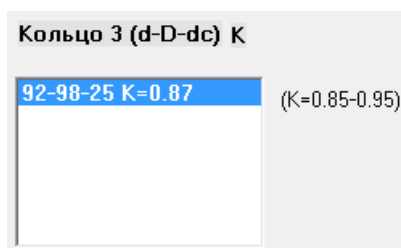


Рисунок 4.45 – Підказка

Список «Кільце 4 (d-D-dc)» – список варіантів гумових кілець, які можуть бути обрані для позиції 4 (ущільнювальне кільце між кришкою і корпусом).

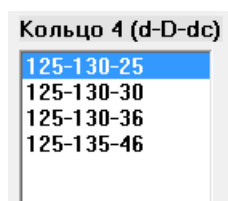


Рисунок 4.46 – Список «Кільце 4 (d-D-dc)»

Список пружин – список варіантів пружин. Список містить наступну інформацію:

діаметр пружини, діаметр дроту, мм;

кількість пружин;

питомий тиск від пружин, МПа;

Дпруж-дров.	Кол.пруж	Рпруж, МПа
8-0.8	6	0.19

(Рпруж=0.13-0.23)

Рисунок 4.47 – Панель «Список пружин»

Праворуч від списку пружин розташована підказка – діапазон значень сумарного тиску від пружин, МПа:

(Рпруж=0.13-0.23)

Рисунок 4.48 – Підказка

У нижньому правому куті розташовані Панель «Витоки» із кнопкою «Розрахувати»:

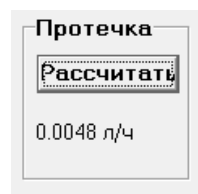


Рисунок 4.49 – Панель «Витоки»

У нижній частині вкладки знаходиться кнопка «Побудування ескізу і розрахунок», при натисканні якої генеруються файли-макриси.


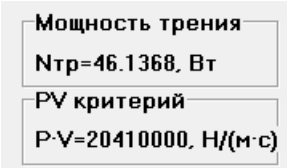


Рисунок 4.50 – Кнопка «Побудування ескізу і розрахунок»

Крім того, при натисканні кнопки «Побудування ескізу і розрахунок» виводиться інформація про величину потужності тертя в парі тертя та PV фактору.



Мощность трения
 $N_{тр}=46.1368, \text{ Вт}$
 PV критерий
 $P \cdot V=20410000, \text{ Н/(м} \cdot \text{с)}$

Рисунок 4.51 – Панель «Потужність тертя» і «PV фактор»

На вкладці «Конструктивна схема і розрахунок» розташована панель «Тепловідведення» з полями введення «товщина корпусу, мм» і «Температура охолоджуючої рідини». При натисканні кнопки «Розрахувати» цієї панелі виводиться величина необхідного тепловідведення Q і повідомлення про тип системи циркуляції змащувальної рідини.



Теплоотвод
 толщина корпуса, мм
 Т охл. жидкости, °C

 конвективный
 отвод тепла
 $Q=136, \text{ Вт}$

Рисунок 4.52 – Панель «Тепловідведення»

Вкладка «Перевірочний розрахунок»:

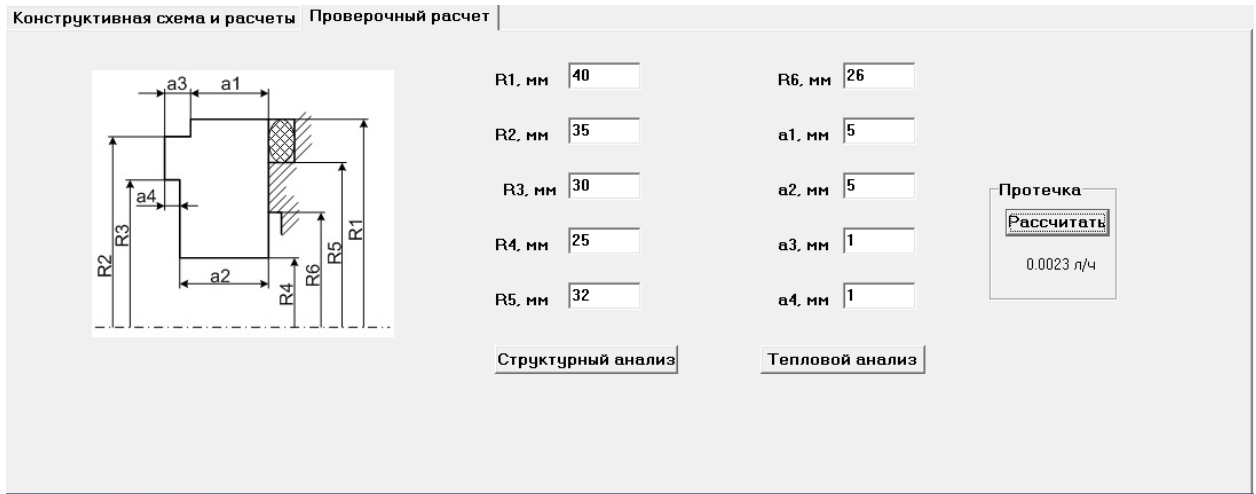


Рисунок 4.53 – Вкладка «Перевірочний розрахунок»

На вкладці розташовані:

- конструктивна схема графітового кільця;
- поля для введення геометричних розмірів кільця (« R_1 , мм»; « R_2 , мм»; « R_3 , мм»; « R_4 , мм»; « R_5 , мм»; « R_6 , мм»; « a_1 , мм»; « a_2 , мм»; « a_3 , мм»; « a_4 , мм»), які позначені на конструктивній схемі;
- панель «Витоки» із кнопкою «Розрахувати», які виводять величину витоків через пару тертя в л/год.
- кнопка «Структурний аналіз» і кнопка «Тепловий аналіз», що створюють файли-макроси для розрахунків у програмному комплексі ANSYS.

Приклад проектування і розрахунку торцевого ущільнення.

Порядок проектування торцевого ущільнення на задані параметри:

- 1) запуск програми - файл Roll.exe;
- 2) введення початкових даних:
 - задавання властивостей перекачувального середовища. Вибір зі списку, середовище - вода, 50°C (рис. 4.54, а). Поля для введення в'язкості, густини і температури заповнюються автоматично з бази даних середовищ (рис. 4.54, б). Якщо в базі даних відсутнє відповідне середовище - поля

заповнюються вручну. Далі вводиться величина тиску перекачувального середовища з тиском $P = 2$ МПа (рис 4.54, в);

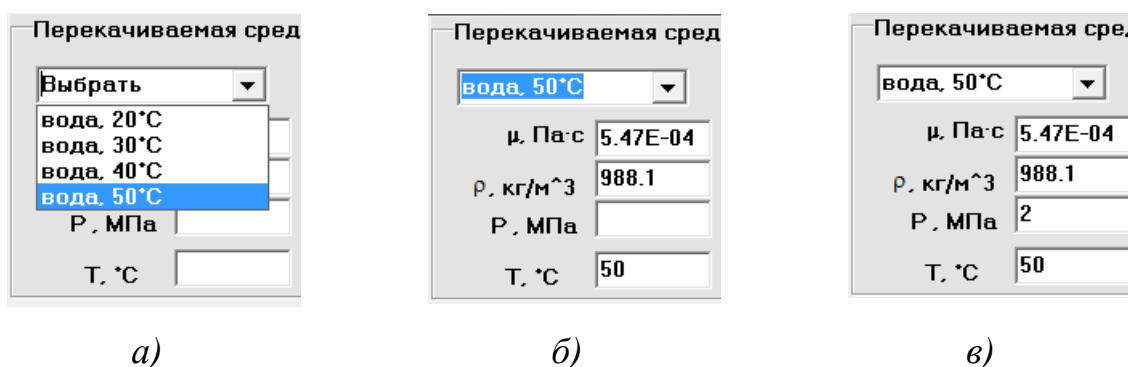


Рисунок 4.54 – Заповнення полів панелі «Перекачувальне середовище»

- задавання температури навколишнього середовища. У поле «Температура навколишнього середовища» заносимо значення температури $T = 25^{\circ}\text{C}$;

- задавання властивостей основного матеріалу. Вибираємо зі списку бази даних матеріалів сталь 08X18H10T (рис. 4.55, а), при цьому поля властивостей матеріалу заповнюються з бази даних автоматично (рис 4.55, б). Якщо необхідний матеріал відсутній у базі даних, тоді поля властивостей матеріалів необхідно заповнити вручну;

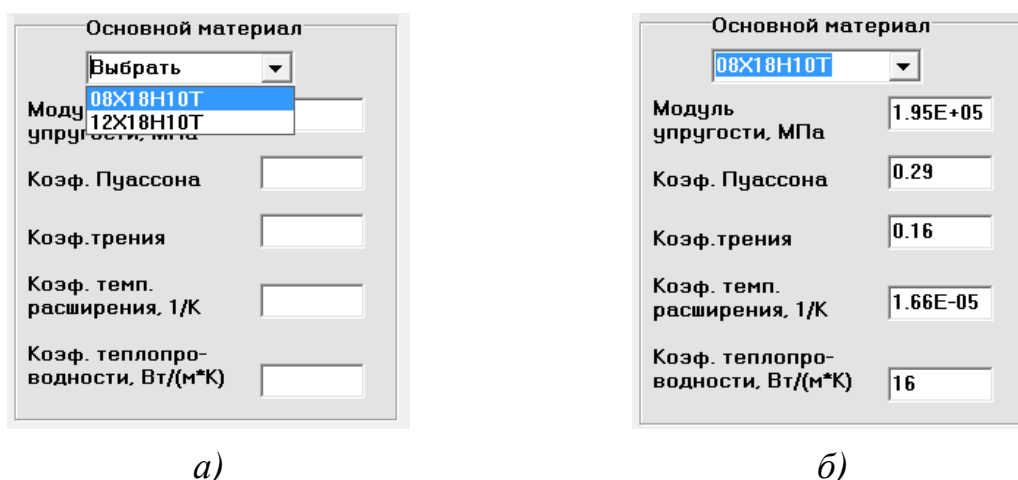


Рисунок 4.55 – Заповнення полів панелі «Основний матеріал»

- задавання властивостей матеріалу пари тертя. Зі списку бази даних матеріалів пари тертя вибираємо матеріал «графіт СГ-П 0.5» (рис. 4.56, а). При

виборі матеріалу поля властивостей матеріалу заповнюються автоматично (4.56, б).

а)

Материал пары трения	
материал 1	<input type="checkbox"/> материал2
Выбрать	Выбрать
Модуль упругости, МПа	
Коэф. Пуассона	
Коэф. трения	
Коэф. темп. расширения, 1/К	
Коэф. теплопроводности, Вт/(м*К)	
Предел прочности на сжатие, МПа	
Предел прочности на изгиб, МПа	

б)

Материал пары трения	
материал 1	<input type="checkbox"/> материал2
Графит СГ-П 0.5	Выбрать
Модуль упругости, МПа	1.27E+05
Коэф. Пуассона	0.3
Коэф. трения	0.04
Коэф. темп. расширения, 1/К	4.00E-06
Коэф. теплопроводности, Вт/(м*К)	140
Предел прочности на сжатие, МПа	120
Предел прочности на изгиб, МПа	130

Рисунок 4.56 – Заповнення полів панелі «Матеріал пари тертя»

У випадку коли кільця пари тертя мають бути виготовлені з різних матеріалів необхідно поставити галочку біля надпису «матеріал 2».

материал2

Выбрать

Рисунок 4.57 – Матеріал пари тертя

- задавання діаметра вала і частоти обертання. Задаємо діаметр валу $D = 76$ мм. Якщо у списку діаметрів такого розміру немає, тоді вводимо його вручну.

Вводимо в поле введення частоту обертання $n=3000$ об/хв.

D вала, мм 76 n, об/мин 3000

Рисунок 4.58 – Заповнення полів «Діаметр валу» і «Частота обертання»

3) Вибір елементів конструкції:

- зі списку «Кільце 1» вибираємо один із запропонованих варіантів гумового кільця, яке розташоване на валу - «76-82-36». Зовнішній діаметр гумового кільця дорівнює 82 мм, внутрішній - 76 мм, а діаметр перетину кільця - 3,6 мм;



Рисунок 4.59 – Вибір кільця 1

- поле ширина контактного пояса заповнюється автоматично $h=4$ мм, але конструктор може змінювати цю величину;

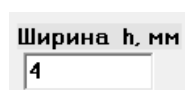


Рисунок 4.60 – Поле введення «Ширина h, мм»

- зі списку «Кільце 2» вибираємо один із запропонованих варіантів для гумового ущільнення у рухомому з'єднанні - «100-105-25»;

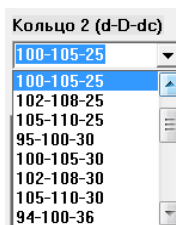


Рисунок 4.61 – Вибір кільця 2

Зовнішній діаметр гумового кільця дорівнює 105 мм, внутрішній - 100 мм, а діаметр перетину кільця - 2,5 мм. При цьому в списку «Кільце 3» з'явилися варіанти гумових ущільнень кілець торцевої пари.

Кільце 2 (d-D-dc)
100-105-25
Кільце 3 (d-D-dc) К
112-118-25 К=0.78
112-118-30 К=0.78
110-118-46 К=0.72

Рисунок 4.62 – Вибір кільця 2 і кільця 3

Необхідно підбирати кільце 2, таким чином щоб у списку «Кільце 3» з'являлися варіанти. Так наприклад при виборі в якості 2-го кільця гумового ущільнення варіанту «95-100-25» у списку «Кільце 3» з'являється один рядок «106-112-36» (рис 4.63, а), а при виборі варіанту «105-110-25» - варіанти «Кільце 3» відсутні (рис 4.63, б).

Кільце 2 (d-D-dc)
95-100-25
Кільце 3 (d-D-dc) К
106-112-36 К=0.72

а)

Кільце 2 (d-D-dc)
105-110-25
Кільце 3 (d-D-dc) К

б)

Рисунок 4.63 – Варіанти вибору кільця 2 і кільця 3

- зі списку «Кільце 3» вибираємо один із запропонованих варіантів гумових ущільнень кілець торцевої пари - «112-118-30», при такому виборі в списку пружин з'являється два варіанти набору пружин.

Кольцо 3 (d-D-dc) K	Дпруж-дпров.	Кол.пруж	Рпруж, МПа		
112-118-25 K=0.78	(K=0.71-0.81)	6-0.8	12	0.33	(Рпруж=0.29-0.39)
112-118-30 K=0.78					
110-118-46 K=0.72					

Рисунок 4.64 – Вибір кільця 3 і варіанти пружин

Необхідно зі списку «Кільце 3» вибрати таким чином гумові кільця, щоб з'явилися варіанти в списку пружин.

- вибір набору пружин. Із запропонованого списку пружин вибираємо набір пружин: 12 пружин, діаметр пружини - 6 мм, діаметр перетину дроту 0,8 мм, сумарний питомий тиск від пружин 0,33 МПа.

Дпруж-дпров.	Кол.пруж	Рпруж, МПа
6-0.8	12	0.33
6-0.8	14	0.39

Рисунок 4.65 – Вибір пружин

- зі списку «Кільце 4» вибираємо один із запропонованих варіантів гумових ущільнень кришки ущільнення - 145-150-30

Кольцо 4 (d-D-dc)
145-150-25
145-150-30
145-150-36
145-155-46

Рисунок 4.66 – Вибір кільця 4

7) Розрахунок

- на панелі «Витоки» натискаємо кнопку «Розрахувати». В результаті одержуємо величину витоків через ущільнення - 0,0119л/год;

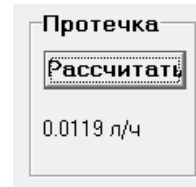


Рисунок 4.67 – Розрахунок витоків

- при натисканні кнопки «Побудування ескізу і розрахунок» виводяться значення PV фактору та потужності тертя.

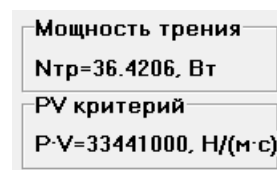


Рисунок 4.68 – Виведення значень PV фактору та потужності тертя

- на панелі «Тепловідведення» вводимо значення товщини корпусу в мм і температуру охолоджуючої рідини (рис. 4.69). При натисканні кнопки «Розрахувати» виводиться значення необхідного тепловідведення та повідомлення про необхідний тип системи циркуляції змащувальної рідини.

8) Міцнісний розрахунок в програмі ANSYS

- запускаємо програму ANSYS Mechanical APDL;
 - у командному рядку пишемо команду-макрос test, яка була згенерована при натисканні кнопки «Побудування ескізу і розрахунок».

Результат виконання макросу – графічне зображення поля еквівалентних напружень.

Теплоотвод

толщина корпуса, мм

Т охл. жидкости, °С

конвективный
отвод тепла

Q=168, Вт

Рисунок 4.69 – Розрахунок необхідного тепловідведення

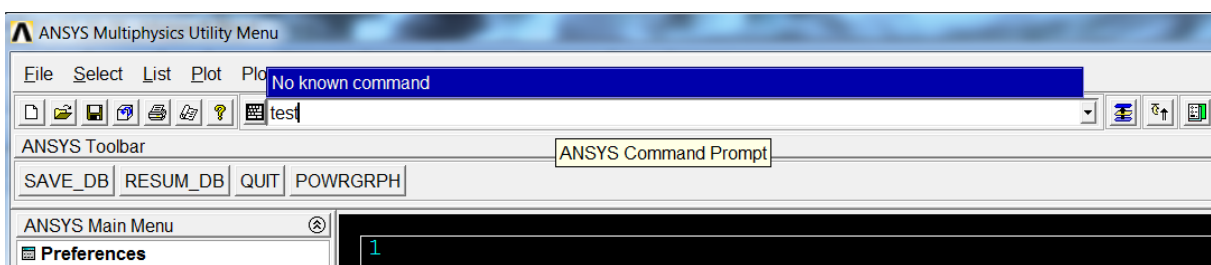


Рисунок 4.70 – Виклик програми-макросу розрахунку напружено-деформованого стану

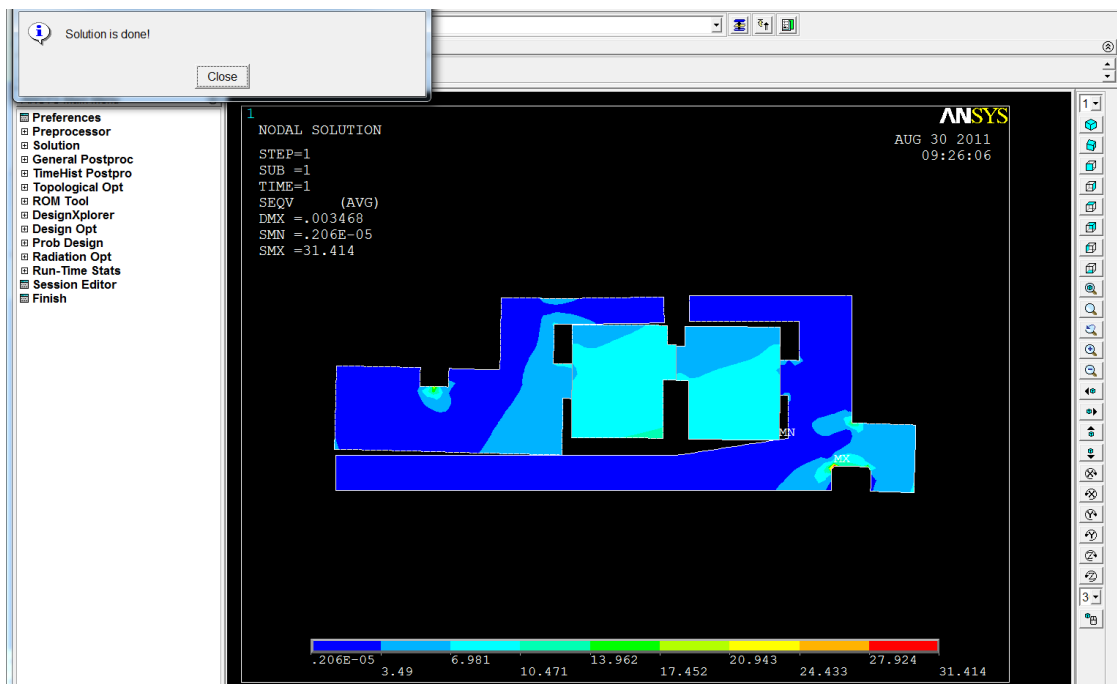


Рисунок 4.71 – Еквівалентні напруження

- для отримання еквівалентних напружень у парі тертя і виводу повідомлення про межі міцності необхідно з командного рядка запустити на виконання макрос ptren.

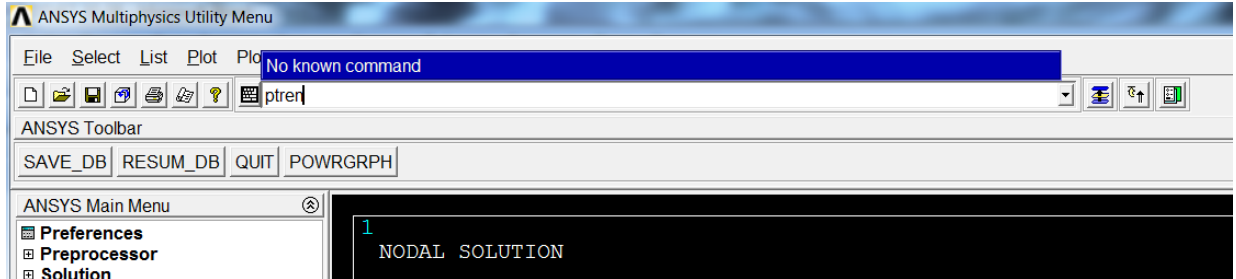


Рисунок 4.72 – Виклик макросу для отримання напружень у парі тертя

Результат виконання макросу - графічне зображення поля еквівалентних напружень у парі тертя. На екран виводиться повідомлення зі значеннями межі міцності на стискання і вигин.

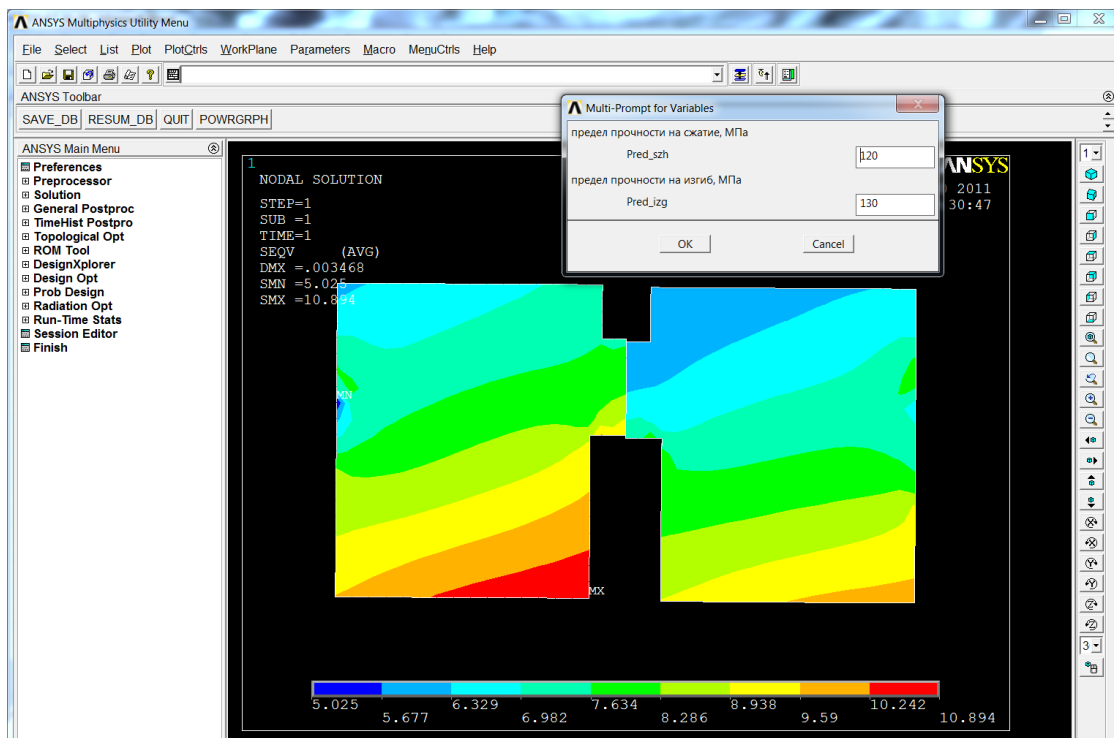


Рисунок 4.73 – Еквівалентні напруження пари тертя

Перевірочний розрахунок пари тертя

1) Введення початкових даних:

- для розрахунку необхідно заповнити поля панелей «Перекачувальне середовище», «Матеріал пари тертя», «Температура навколишнього середовища» і «Частота обертання валу».

- виберемо вкладку «Перевірочний розрахунок». Введемо геометричні розміри кільця пари тертя відповідно до конструктивної схеми;

R1, мм	37	R6, мм	26
R2, мм	35	a1, мм	6
R3, мм	30	a2, мм	5
R4, мм	25.5	a3, мм	1
R5, мм	32	a4, мм	1

Рисунок 4.74 – Геометричні розміри кільця пари тертя

2) Розрахунок:

- на панелі «Витоки» натискаємо кнопку «Розрахувати». У результаті одержуємо величину витоків - 0,0056 л/год;

Протечка

Рассчитать

0.0056 л/ч

Рисунок 4.75 – Розрахунок витоків

- за допомогою кнопки «Структурний аналіз» створюємо файл-макрос;
- запускаємо ANSYS Mechanical APDL;

- у командному рядку пишемо команду-макрос test, який сгенерований при натисканні кнопки «Структурний аналіз».

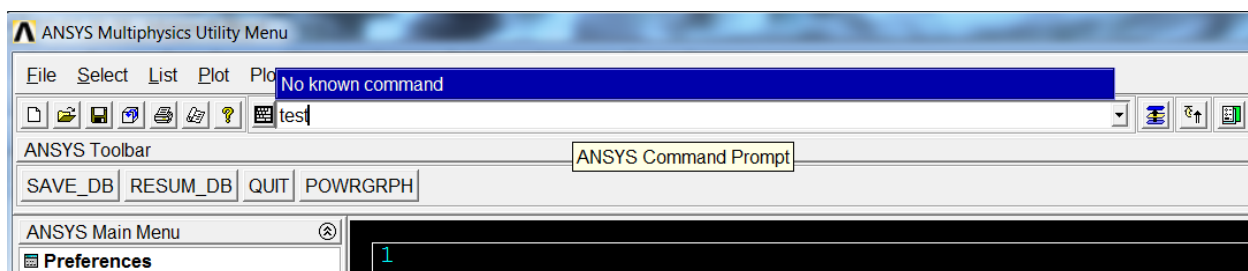


Рисунок 4.76 – Виклик програми-макросу розрахунку напружено-деформованого стану пари тертя

Результат виконання макросу – графічне зображення поля еквівалентних напружень у парі тертя.

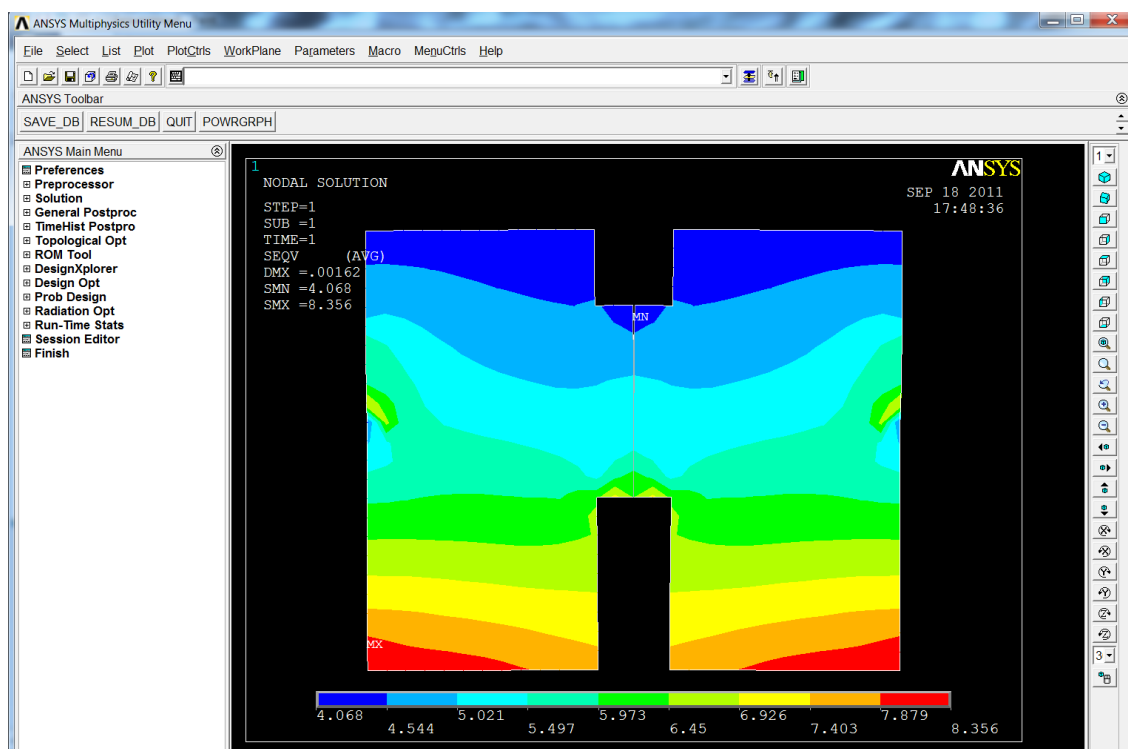


Рисунок 4.77 – Еквівалентні напруження пари тертя

- за допомогою кнопки «Тепловий аналіз» створюємо файл-макрос;

- у командному рядку програми ANSYS Mechanical APDL викликаємо команду-макрос test, який згенерований при натисканні кнопки «Структурний аналіз».

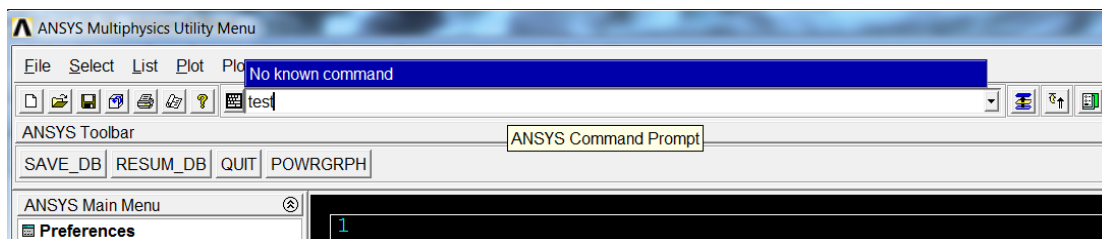


Рисунок 4.78 – Виклик програми-макросу розрахунку теплових напружень пари тертя

Результат виконання макросу – графічне зображення поля еквівалентних напружень у парі тертя.

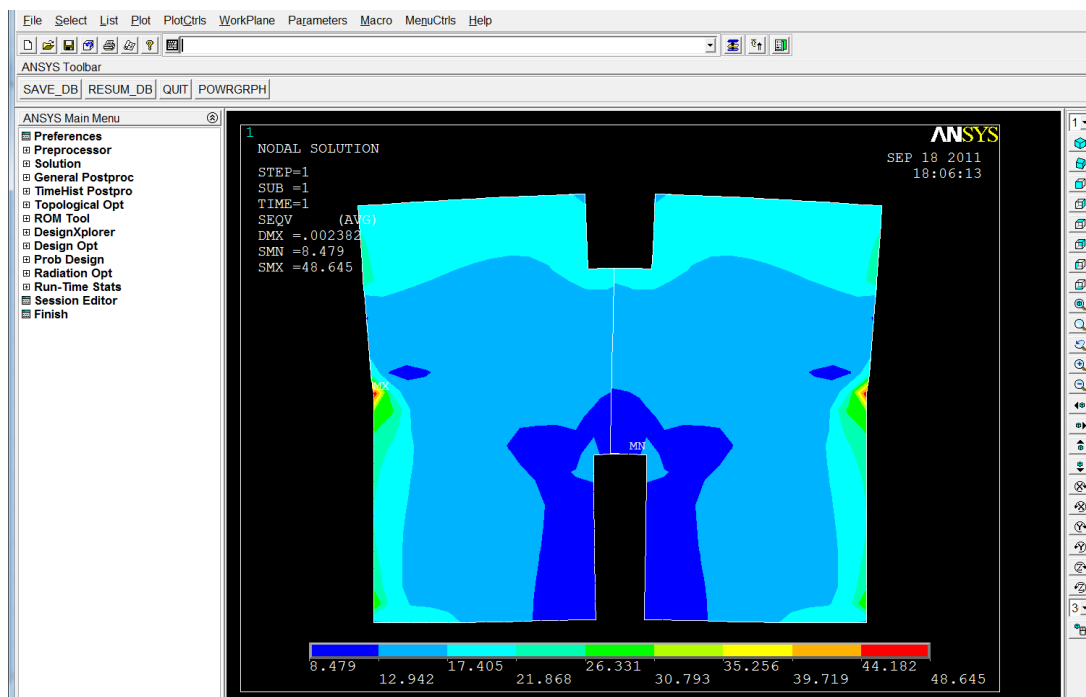


Рисунок 4.79 – Еквівалентні температурні напруження пари тертя

4.5 Розрахунок витоків та динамічних коефіцієнтів жорсткості та демпфірування в шпаринних ущільненнях відцентрових насосів

Для дослідження гідродинаміки течії рідини у циліндричних каналах багатошпаринного ущільнення використовувався програмний комплекс ANSYS CFX, в якому за допомогою метода скінченних об'ємів розв'язувалися рівняння Нав'є-Стокса осереднені за Рейнольдсом, які замикались k - ϵ моделлю турбулентності. Розглядалась ізотермічна течія рідини (води). Точність використання вищенаведеної моделі турбулентності підтверджується наявними в літературі результатами розрахунків шпаринних ущільнень.

Схематичний рух ротора в шпаринному ущільненні при циліндричній прецесії представлений на рис. 4.80 *а,б* [14].

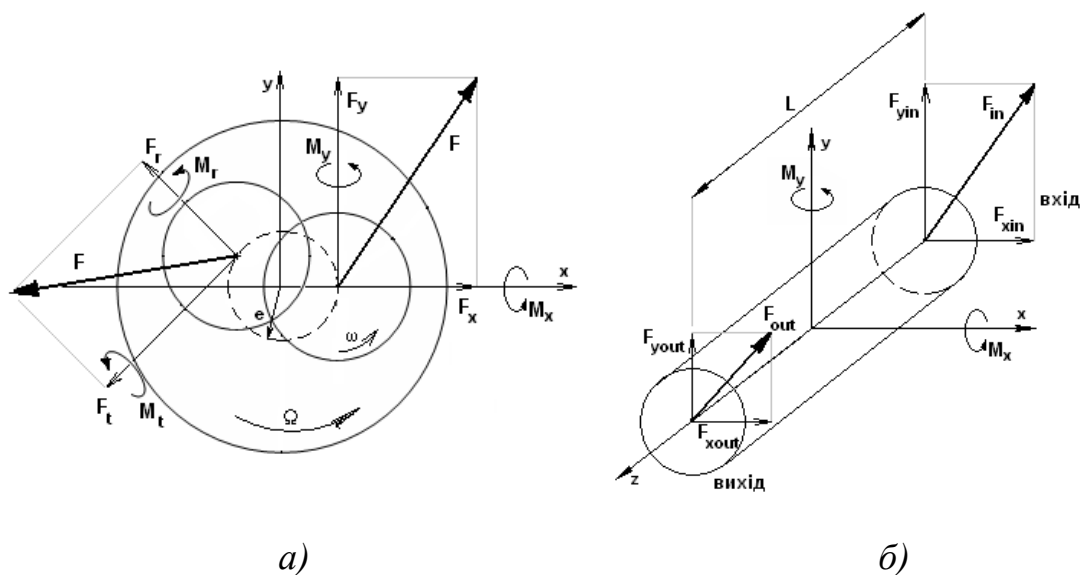


Рисунок 4.80 – Траєкторія руху ротора в шпаринному ущільненні (*а*) і сили й моменти реакції рідини (*б*)

Сили й моменти, що виникають в рідині (рис. 4.80 *б*) при невеликих переміщеннях ротора уздовж осей x та y , можна представити в матричній формі:

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_x \\ M_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} F_r & -F_t \\ F_t & F_r \\ M_r & M_t \\ M_t & -M_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{x} \\ \underline{e} \\ \underline{y} \\ \underline{e} \end{Bmatrix}, \quad (4.16)$$

де при циліндричній прецесії із частотою Ω та ексцентриситетом e :

$$\begin{aligned} x &= e \cdot \cos(\Omega t), \\ y &= e \cdot \sin(\Omega t). \end{aligned} \quad (4.17)$$

Припускаючи лінійне співвідношення сил і переміщень і нехтуючи вищими порядками похідних від переміщення, запишемо вираз для визначення сил і моментів у наступному матричному вигляді:

$$-\{F\} = \begin{bmatrix} K & k & C & c & M & 0 \\ -k & K & -c & C & 0 & M \\ K_{\alpha\varepsilon} & k_{\alpha\varepsilon} & C_{\alpha\varepsilon} & c_{\alpha\varepsilon} & m_{\alpha\varepsilon} & 0 \\ k_{\alpha\varepsilon} & -K_{\alpha\varepsilon} & c_{\alpha\varepsilon} & -C_{\alpha\varepsilon} & 0 & -m_{\alpha\varepsilon} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ \dot{x} \\ \dot{y} \\ \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{Bmatrix}, \quad (4.18)$$

де K, k – коефіцієнти прямої та перехресної жорсткості, Н/м;

C, c – коефіцієнти прямого та перехресного демпфірування, Н·с/м;

M – коефіцієнт приєднаної маси, кг;

$K_{\alpha\varepsilon}, k_{\alpha\varepsilon}$ – коефіцієнти кутової та кутової перехресної жорсткості, Н·м/м;

$C_{\alpha\varepsilon}, c_{\alpha\varepsilon}$ – коефіцієнти кутового та кутового перехресного демпфірування, Н·м с/м;

$m_{\alpha\varepsilon}$ – коефіцієнт кутової приєднаної маси, кг·м²/м.

Виберемо положення ротора в якому будемо вимірювати сили й моменти так щоб $\Omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot n$, $n = 0, 1, 2, \dots$, наприклад $t = 0$, тоді з рівнянь (4.16) випливає:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_r = F_x \\ F_t = F_y \\ M_r = M_x \\ M_t = M_y \end{array} \right. , \quad (4.19)$$

$$\dot{x} = y = \ddot{y} = 0 . \quad (4.20)$$

Підставивши вирази (4.17), (4.19) і (4.20) в (4.18) з урахуванням того, що $t = 0$ маємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_r}{e} = -K - \Omega c + \Omega^2 M \\ \frac{F_t}{e} = k - \Omega C \\ \frac{M_r}{e} = -K_{\alpha\varepsilon} - \Omega c_{\alpha\varepsilon} + \Omega^2 m_{\alpha\varepsilon} . \\ -\frac{M_t}{e} = k_{\alpha\varepsilon} - \Omega C_{\alpha\varepsilon} \end{array} \right. \quad (4.21)$$

З отриманої системи рівнянь видно, що F_r , M_r – квадратичні, а F_t , M_t – лінійні функції відносно Ω .

За допомогою системи рівнянь (4.21), знаючи величини сил F_r , F_t і моментів M_r , M_t хоча б при трьох різних значеннях частоти прецесії Ω , можна визначити величини коефіцієнтів жорсткості та демпфірування шпаринного ущільнення.

В результаті серії розрахунків визначені: величини витоків, прямі та перехресні жорсткості і демпфірування трьох типорозмірів шпаринних ущільнень для трьох відцентрових насосів: ТХ 800/70/8 – К – 2Е системи розхолодження басейну витримки та ТХ 800/70/8 – К – 2Е системи промконтур (аналог насос ЦНА 600-35), Х 45\90 – К – 2Г подачі на очистку

аварійного розчину бору (аналог ЦНА 45-90) і X 8\60 – К – 2Г системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП (аналог насос ЦНА 8-60).

Геометричні розміри та робочі параметри наведені в таблиці 4.5. Радіальний зазор дорівнював 0,25 мм.

Таблиця 4.5 – Геометричні розміри та робочі параметри ущільнень

№	Діаметр вала, мм	Довжина шпарини, мм	Вхідний тиск, атм	Вихідний тиск, атм	Частота обертання вала, об/хв	Температура, °С	Густина, кг/м ³	Кінематична в'язкість, м ² /с
1	224,5	24,6 мм	3,5	3	1485	70	1005	$3 \cdot 10^{-6}$
2	105	19	16,3	3	2940	90	1005	$3 \cdot 10^{-6}$
3	80	17	9,35	3	2915	45	1000	$1 \cdot 10^{-6}$

Отримані поля швидкості і лінії току в повздовжньому перетині (рис. 4.81 а, б, в), лінії току в зазорі (рис. 4.82 а, б, в) та розподіли гідростатичного тиску по довжині ущільнення (рис. 4.83 а, б, в).

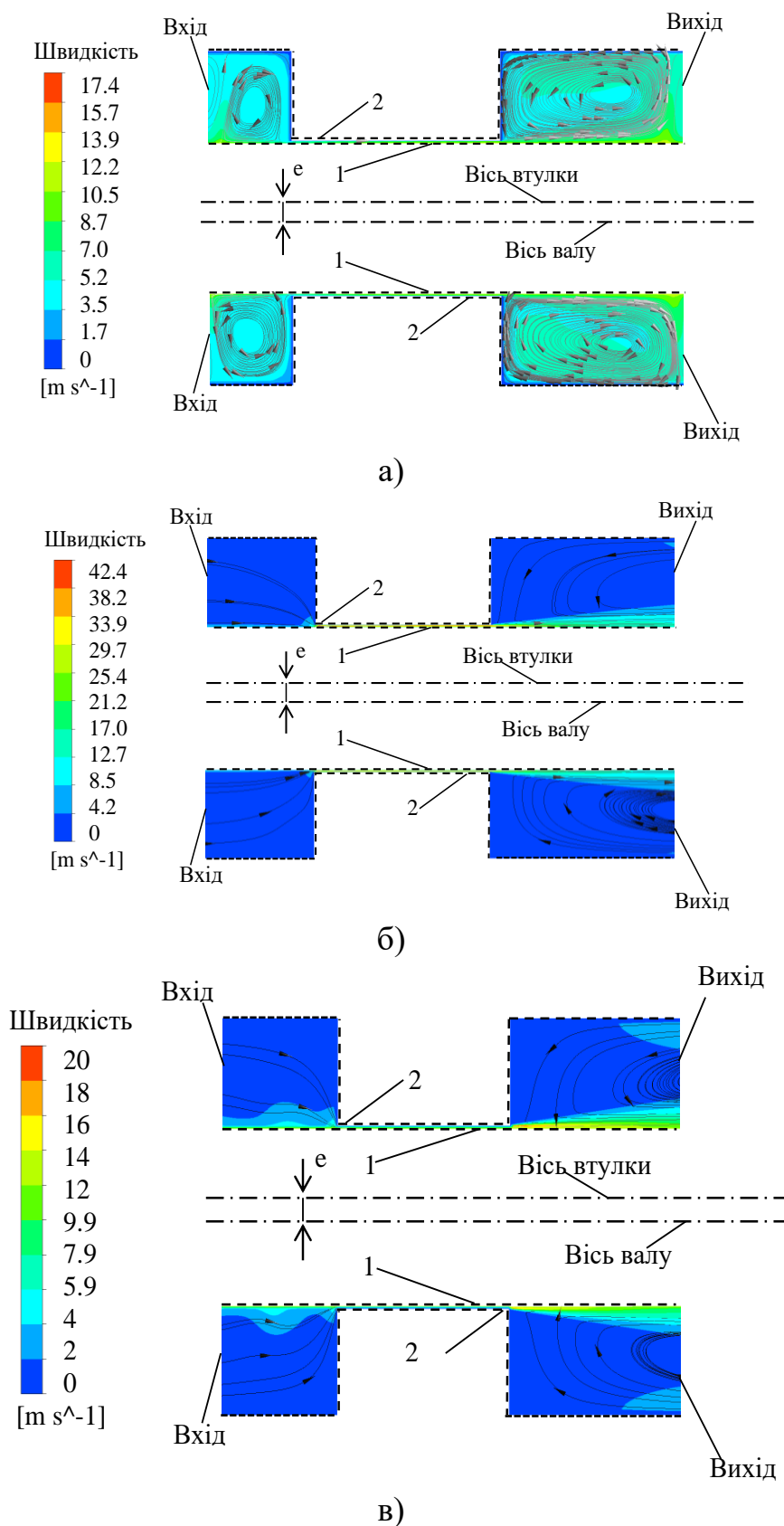
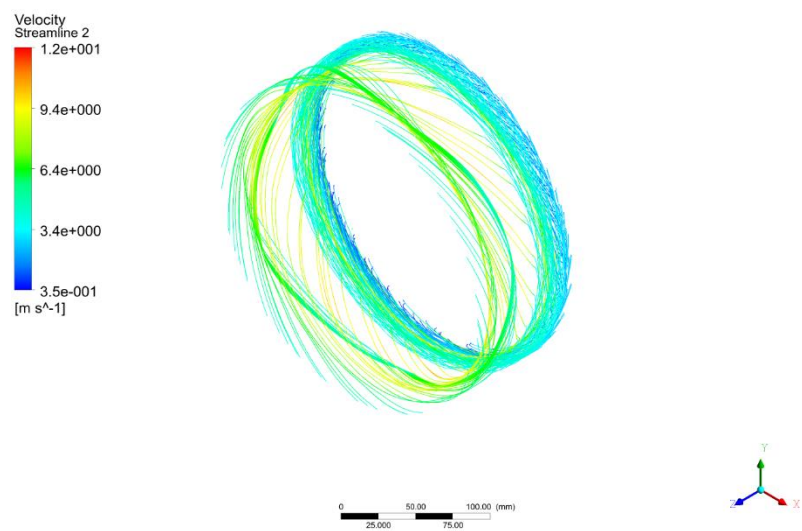
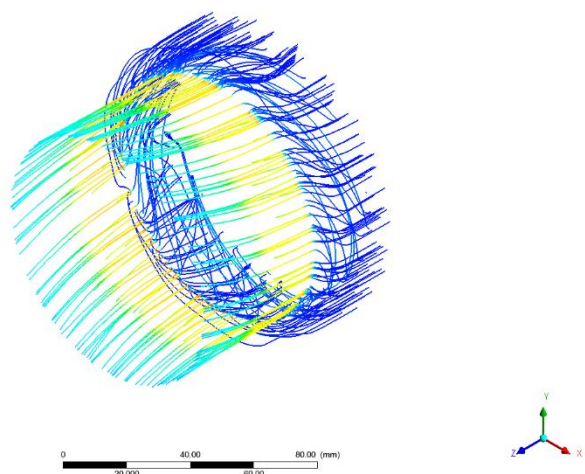


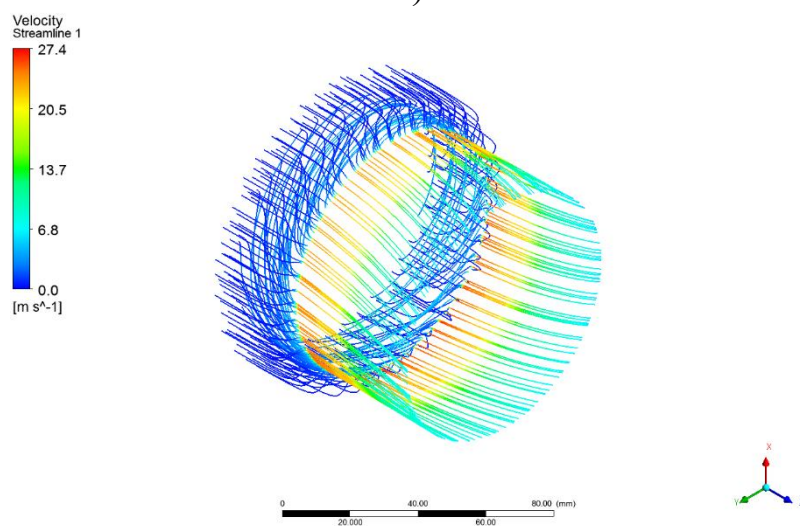
Рисунок 4.81 – Поля швидкості та лінії току



a)

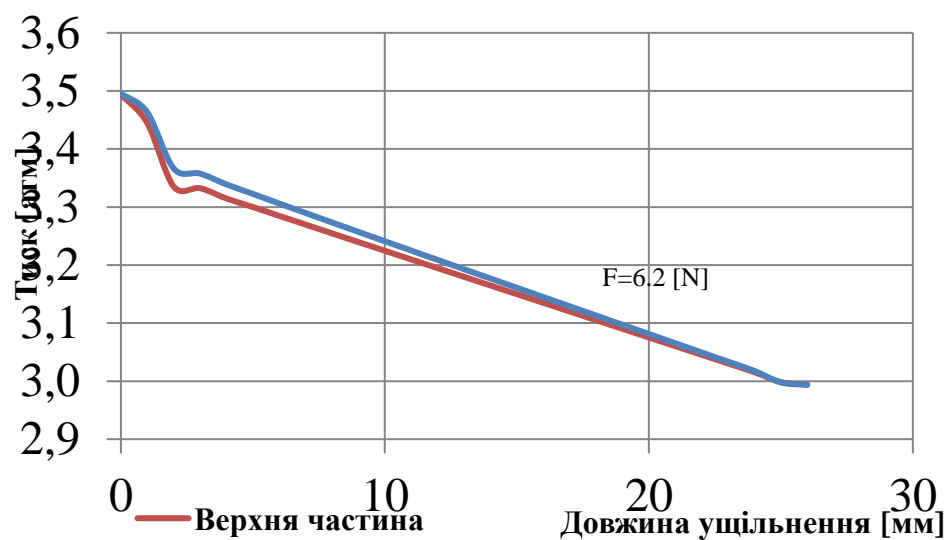


б)

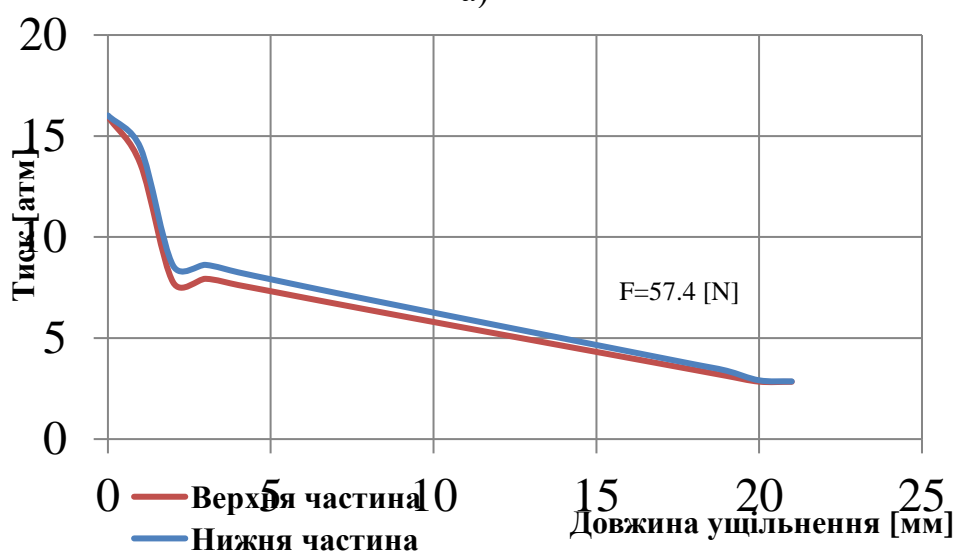


в)

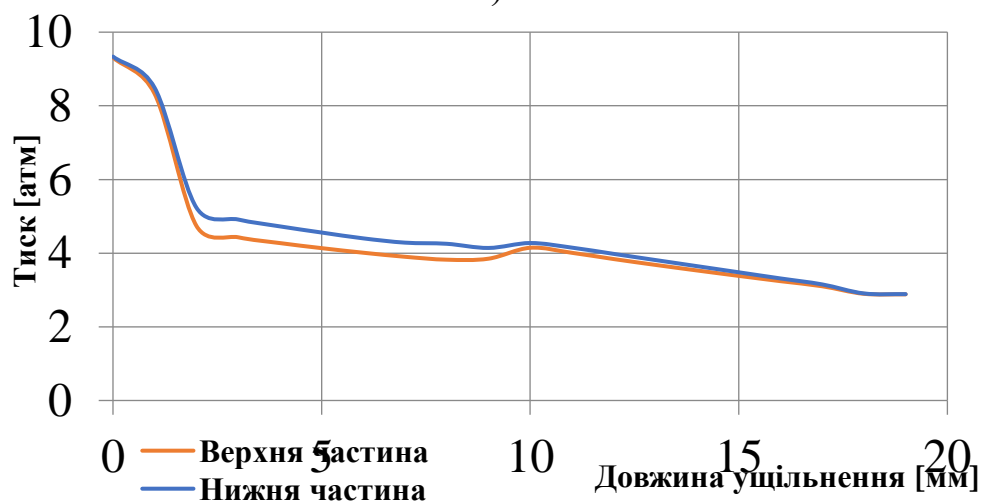
Рисунок 4.82 – Лінії току в зазорі шпаринного ущільнення



а)



б)



в)

Рисунок 4.83 – Розподіл гідростатичного тиску по довжині ущільнення

Величини витоків та динамічних коефіцієнтів наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Величини динамічних коефіцієнтів жорсткості, демпфірування та витоків

Q, л/с	c, Н·с/м	K, Н/м	C, Н·с/м	k, Н/м
0,68	735.43	300910.04	12336.7	92533.1
2,03	-47628.5	3555309.8	13820.71	-420230
1,38	-3880.37	1108473.37	6178.25	-366966

Методика розрахунку [15] в програмному комплексі ANSYS складається з наступних етапів:

1. Створення проекту в ANSYS WORKBENCH для розрахунку течії рідини за допомогою вирішувача ANSYS CFX (рис. 4.84).

2. Запуск програми ANSYS Design Modeler. Створення геометрії і задавання основних геометричних розмірів (діаметр валу, довжина, зазор) параметрами (рис. 4.85, 4.86).

3. Запуск програми ANSYS Meshing. Побудова регулярної гекса сітки для розрахункової області (рис. 4.87).

4. Запуск програми ANSYS CFX PRE. Задавання граничних умов: вхід і вихід (відкриті граничні умови - дозволяють потоку вільно втікати і витікати через розрахункову область), нерухома стінка корпусу, рухома стінка валу (рис. 4.88). Створення скриптового файлу для опису траєкторії прецесійного руху валу. Вибір опції - сітка, що деформується. Задавання початкових даних: тиск на вході, тиск на виході, окружні швидкості прецесійного і власного обертання валу і величина ексцентриситету у вигляді параметрів. Задавання фізичних властивостей перекачуваного середовища з бібліотеки середовищ. Розв'язання нестационарної задачі течії рідини в зазорі підшипника ковзання на перекачуваному середовищі (турбулентна течія – k-ε модель) з урахуванням прецесії валу, що обертається - один оборот валу розбивається на 20 кроків за часом.

5. Запуск програми ANSYS CFX Solver для розв'язання задачі. Контроль збіжності процесу по всім нев'язкам (рівнянням руху рідини і збереження маси), якості сітки (ортогональний кут, коефіцієнт зростання, співвідношення розмірів граней комірки) і траєкторії руху валу (x і y координати) (рис. 4.89, 4.90).

6. Запуск програми ANSYS CFX Post для проглядання результатів розрахунку - ліній струму, полів тиску і швидкостей (рис. 4.91). Визначення масової витрати і сил, які діють в зазорі. Параметричне задавання величин.

7. Послідовне виконання чотирьох розрахунків для отримання залежності сил, які діють в зазорі від кутової швидкості прецесії валу. У програмі Microsoft EXCEL, отримані графічні залежності апроксимуються поліномами другого та першого порядку, з рівнянь яких визначаються коефіцієнти жорсткості і демпфування.

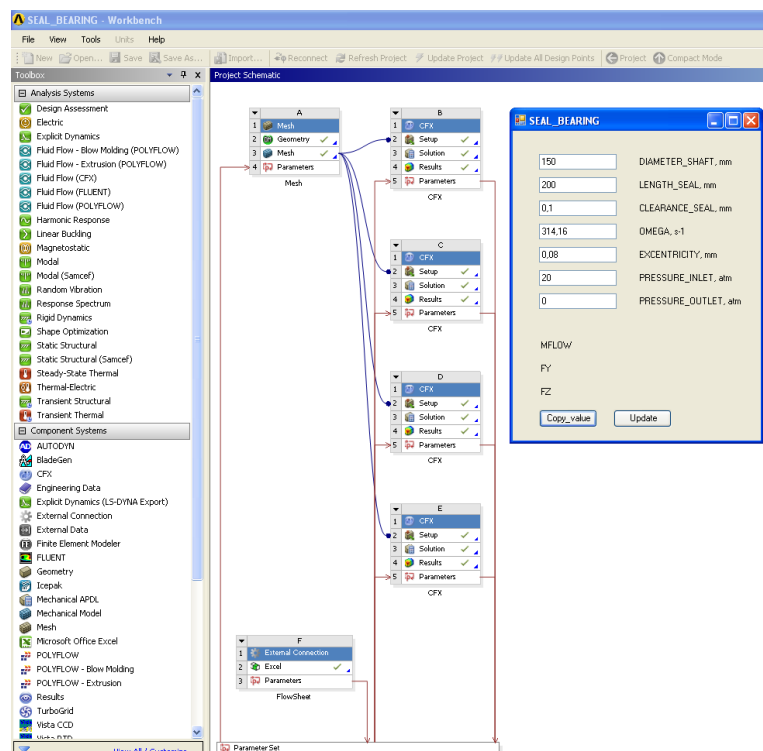


Рисунок 4.84 – Проект ANSYS WORKBENCH з вікном введення початкових даних програми автоматизованого розрахунку підшипників ковзання на перекачуваному середовищі

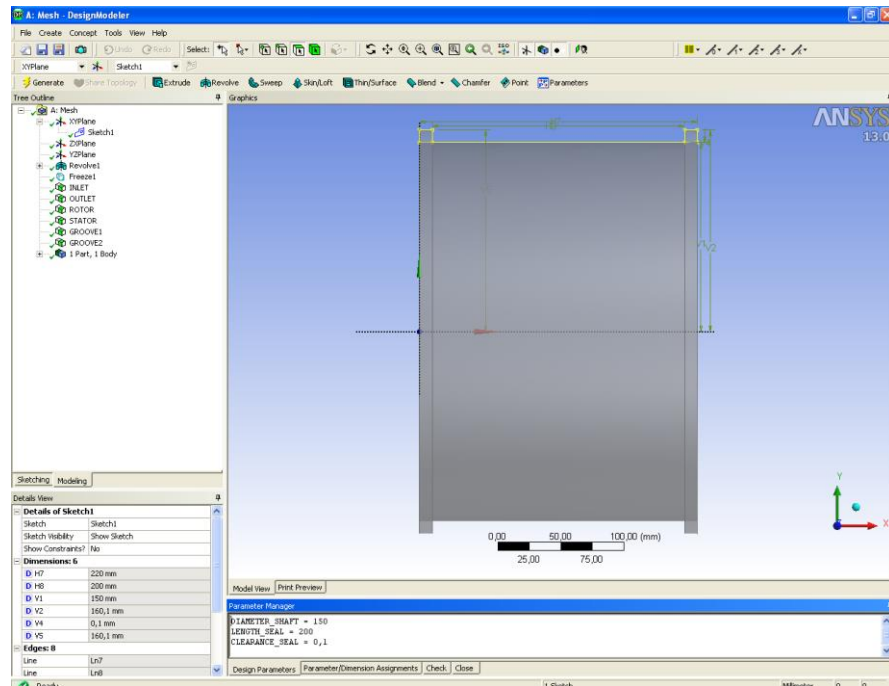


Рисунок 4.85 – Геометрія і розміри підшипника ковзання на перекачуваному середовищі в програмі ANSYS Design Modeler

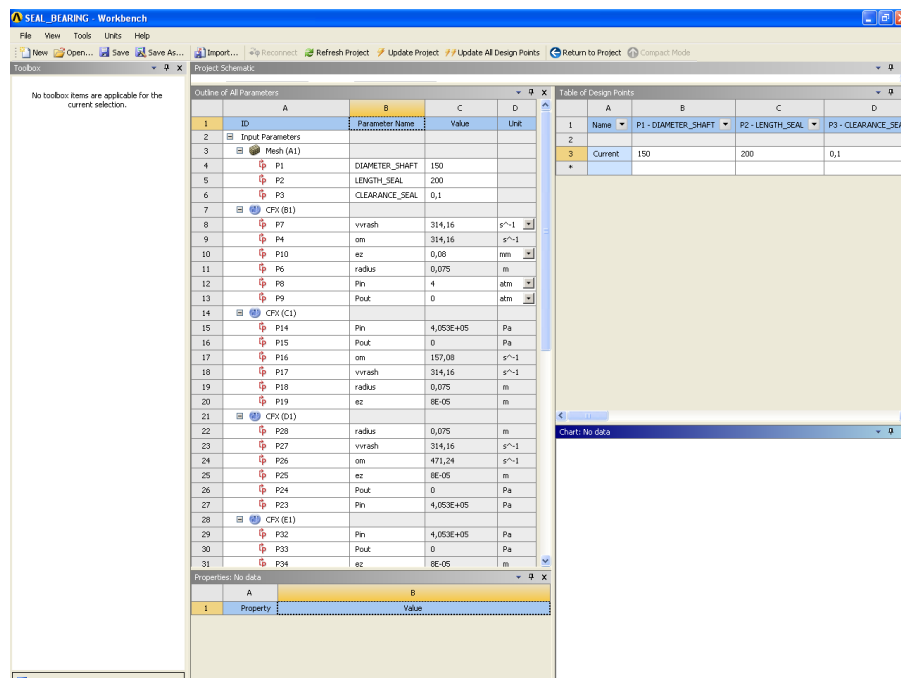


Рисунок 4.86 – Окно проекта з основними параметрами

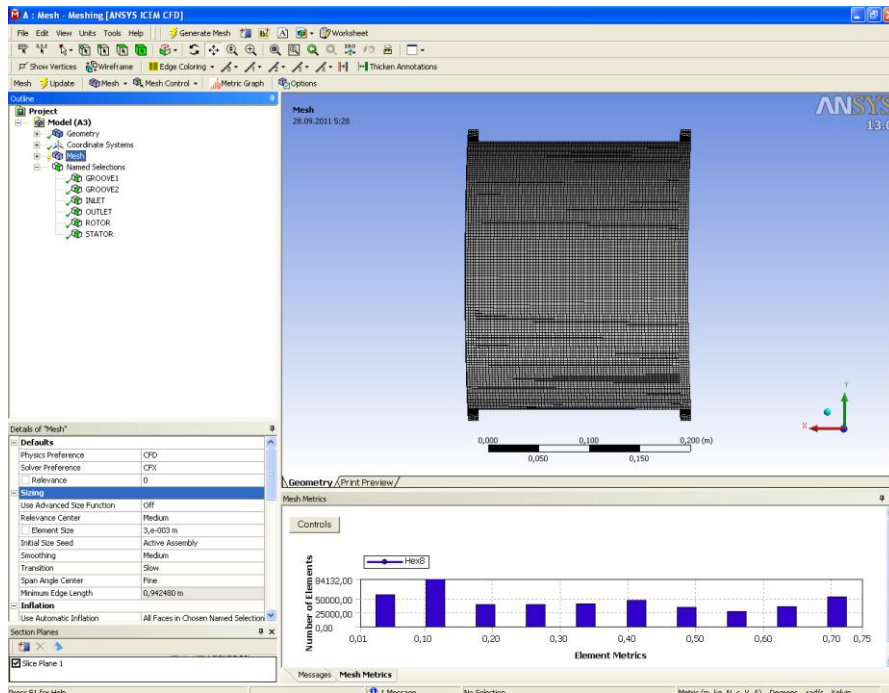


Рисунок 4.87 – Розрахункова гекса сітка в програмі ANSYS Meshing

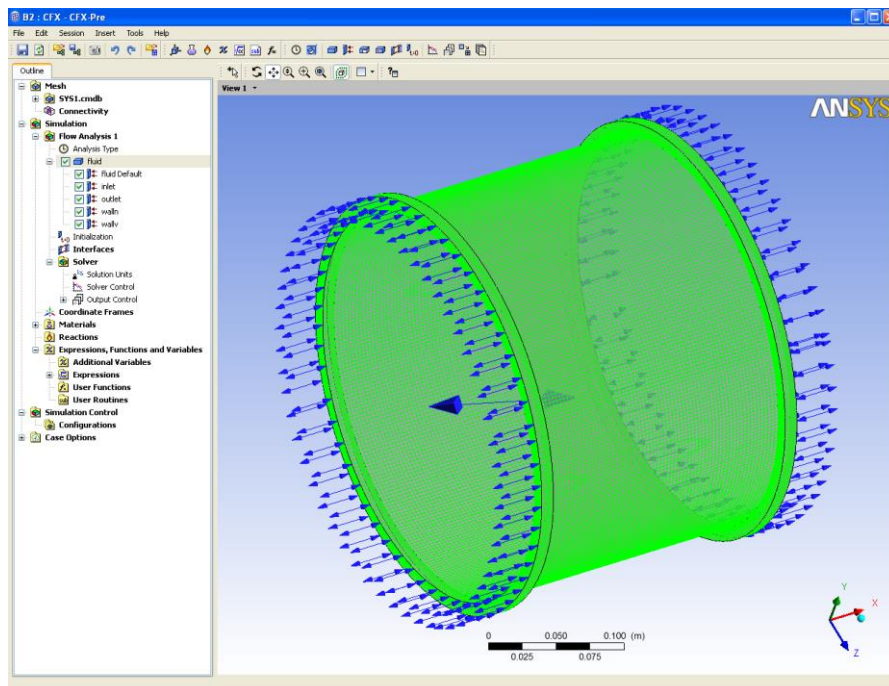


Рисунок 4.88 – Окно програми з розрахунковою сіткою і граничними умовами в програмі ANSYS CFX Pre

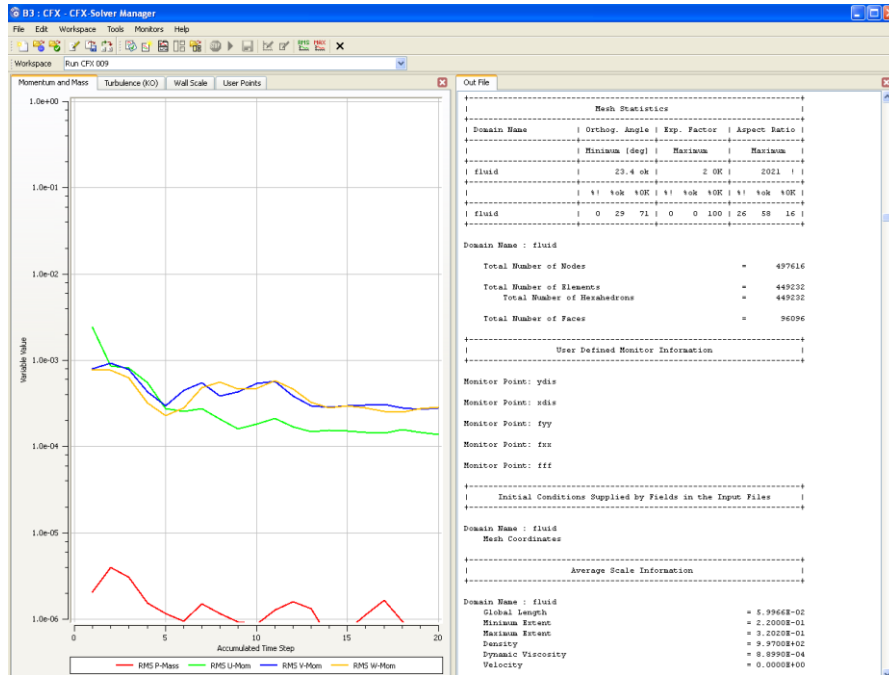


Рисунок 4.89 – Вікно програми зі збіжністю процесу розрахунку по основним рівнянням і параметрами якості сітки в програмі ANSYS CFX Solver

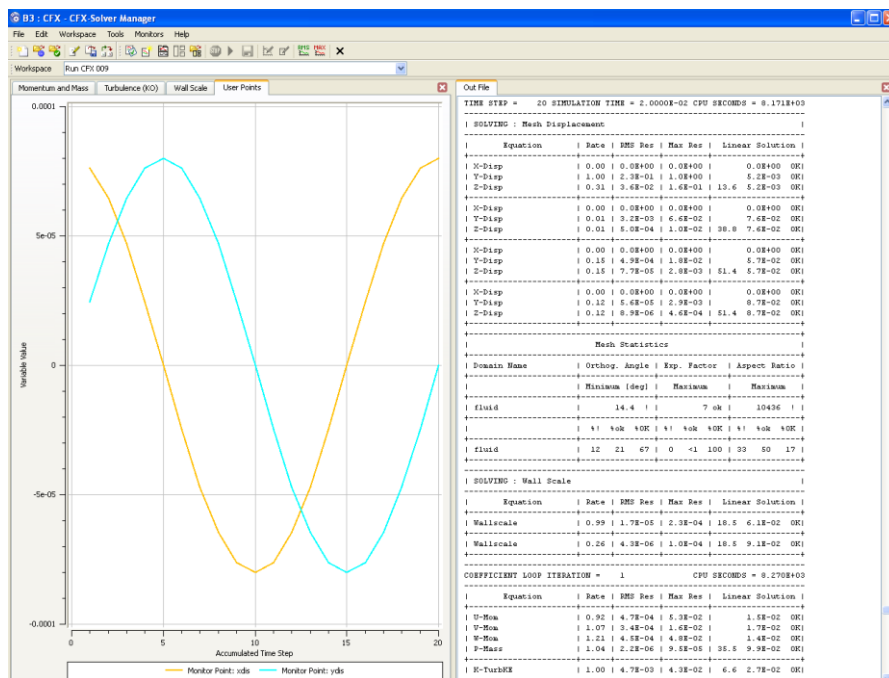


Рисунок 4.90 – Вікно програми з траекторією руху валу по x, y координатам

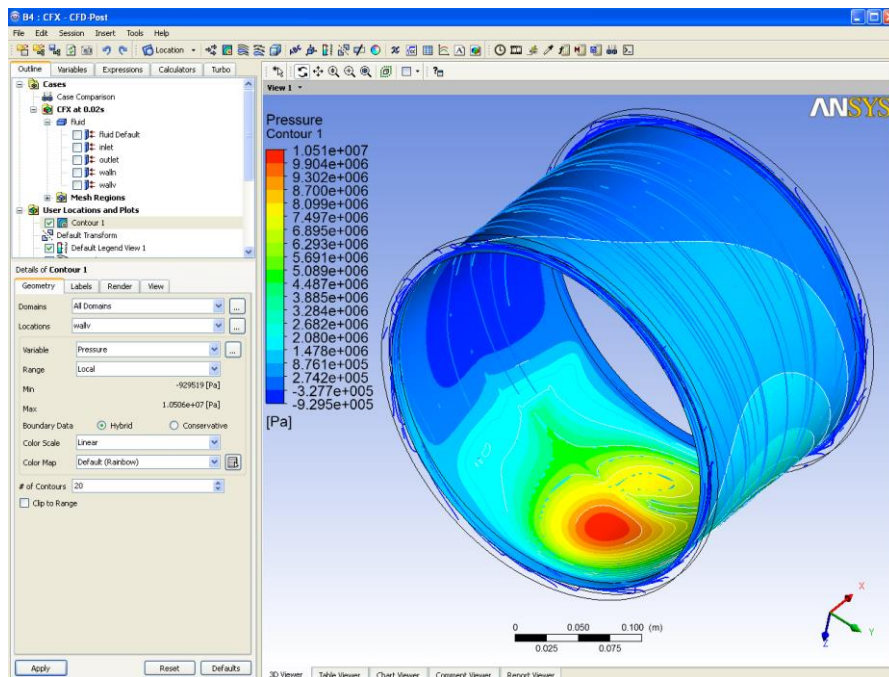


Рисунок 4.91 – Графічне зображення результатів розрахунку (лінії току і поле тиску) в програмі ANSYS CFX Post

Далі наведено інструкцію з користування програмою автоматизованого розрахунку підшипників ковзання.

1. З робочої директорії, в якій виконуватиметься розрахунок, запускаємо файл проекту ANSYS WORKBENCH - SEAL_BEARING.wbpj. Відкривається структурна схема проекту розрахунку.

2. У головному меню вибираємо FILE - Scripting - Run Script File - WB_C.py (скрипт файл автоматизованого розрахунку, написаний на алгоритмічній мові PYTHON).

3. У діалоговому вікні SEAL_BEARING, вводимо початкові дані для розрахунку. Натискаємо кнопку Copy_Value - записуємо введені початкові дані в проект, натискаємо кнопку Update і запускаємо автоматичний розрахунок.

4. Після закінчення розрахунку в діалоговому вікні SEAL_BEARING в текстовому вигляді виводяться розрахункові величини: витoki, величини сил, жорсткості і демпфування.

4.6 Виконання розрахунків на міцність і вібростійкість деталей та елементів насоса і насосного агрегата

З метою знаходження власних частот вільних коливань вала агрегата електронасосного відцентрового АЦНА 600-35 методом скінчених елементів у програмному комплексі ANSYS APDL проводиться модальний аналіз розрахункової схеми вала (рис 4.92).

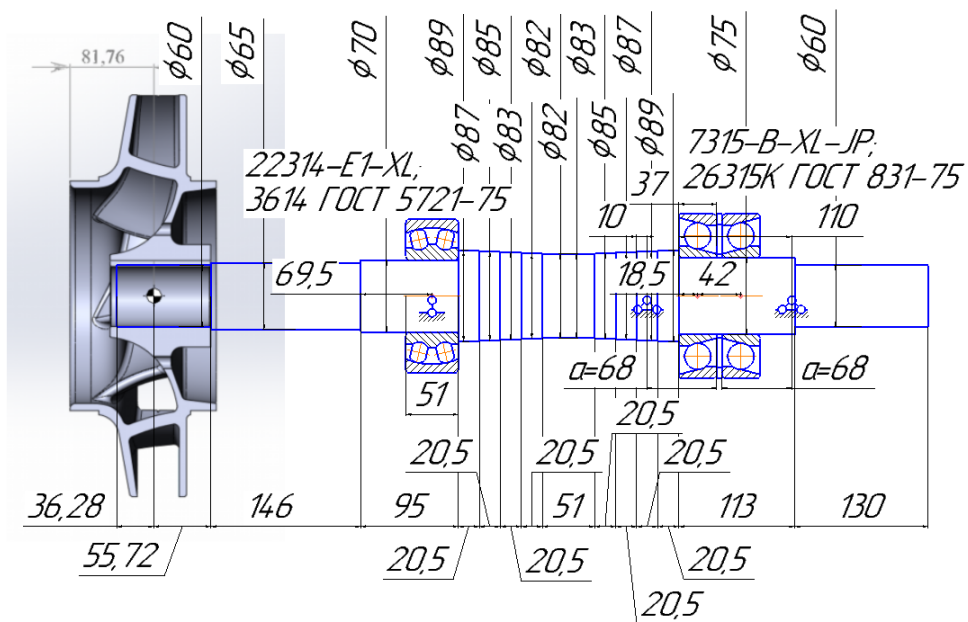


Рисунок 4.92 – Розрахункова схема коливань вала.

Вал моделюється балочним тривимірним елементом BEAM189 для моделювання прямих балочних конструкцій з помірним співвідношенням довжини до товщини, що побудований на основі моделі балки Тимошенко з урахуванням дотичних деформацій (деформацій зсуву). Поперечним перерізом кожної ділянки є коло відповідного до розрахункової схеми діаметра. Довжини та розміри ділянок вала вказано на рисунку 1. Матеріал вала Сталь 14X17H2 ГОСТ 5632-2014 з властивостями $E = 1,97 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu = 0,3$; $\rho = 7750$ кг/м³.

Робоче колесо модулюється елементом зосередженої маси MASS21, що розташовано в центрі свого тяжіння. Це елемент точки, яка має 6 ступенів

вільності – 3 переміщень уздовж вісей X, Y та Z і 3 поворотних навколо цих вісей. Інерційні характеристики робочого колеса прийнято за таблицею 4.7.

Таблиця 4.7 – Характеристики робочого колеса.

Назва характеристики	Позначення	Величина
маса колеса	m, кг	24,37
координата центру тяжіння	X, м	0,03628
	Y, м	0
	Z, м	0
осьові моменти інерції	I_{xx} , кг·мм ²	411200
	I_{yy} , кг·мм ²	390700
	I_{zz} , кг·мм ²	390700

Закріплення вала від лінійних переміщень відбувається у радіальному напрямку шарнірно рухомою опорою у центрі мас роликів сферичного підшипника 22314-E1-XL (3614 ГОСТ 5721-75) масою 4,284 кг, що моделюється елементом MASS21 з нульовими моментами інерції. Також від лінійних переміщень шарнірно нерухомими опорами для радіально-упорних кулькових підшипників 7315-B-XL-JP FAG (26315K ГОСТ 831-75) на відстані $a = 0,068$ м від товстої частини торця зовнішнього кільця (за даними виробника). Маси радіально-упорних підшипників по 3,3 кг розміщено в їх центрах мас і змодельовано аналогічно елементом MASS21 з нульовими моментами інерції.

Використано блоковий метод Block Lanczos для знаходження власних значень частот та форм коливань пружної системи, а метод розв'язання систем лінійних рівнянь – метод розріджених матриць. Форми та частоти коливань приведено на рисунку 4.95.

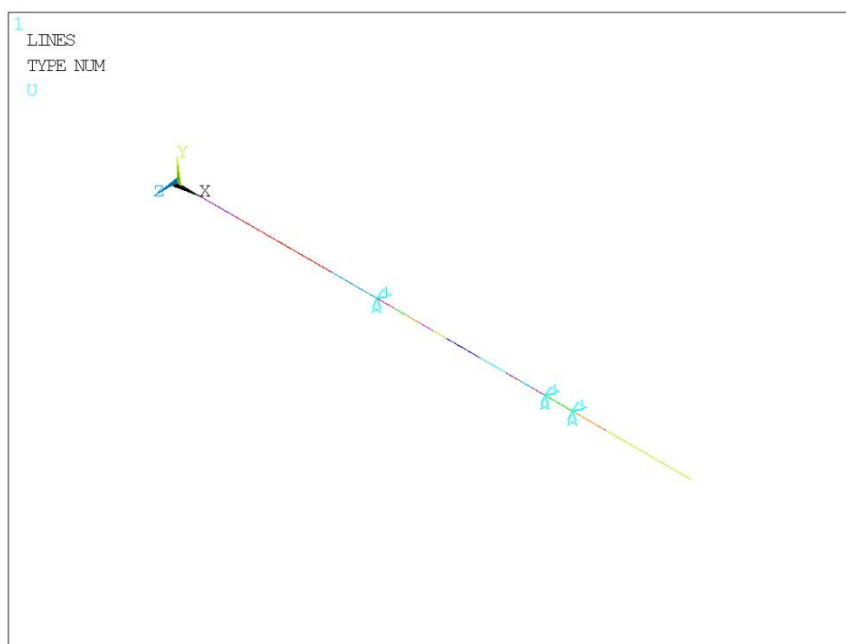


Рисунок 4.93 – Твердотільна модель коливань вала.

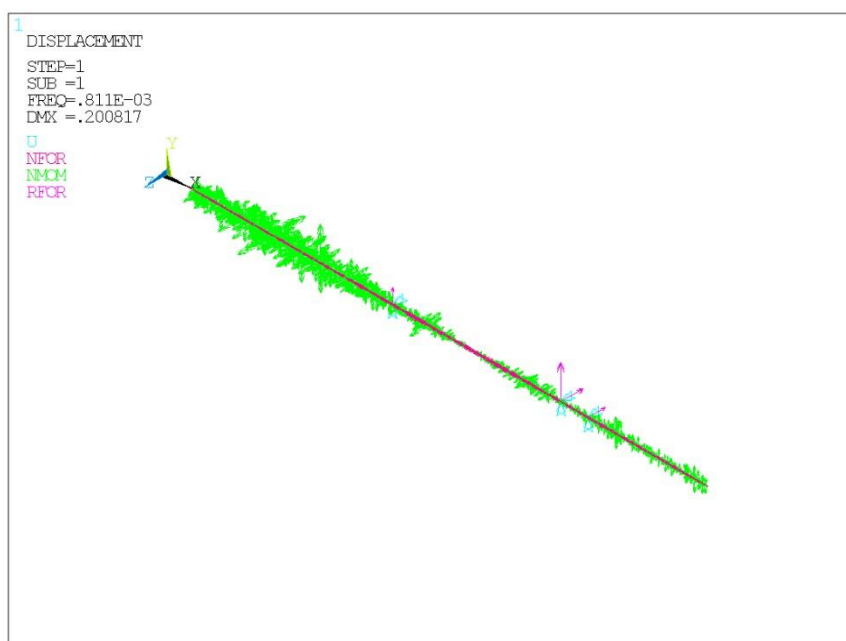
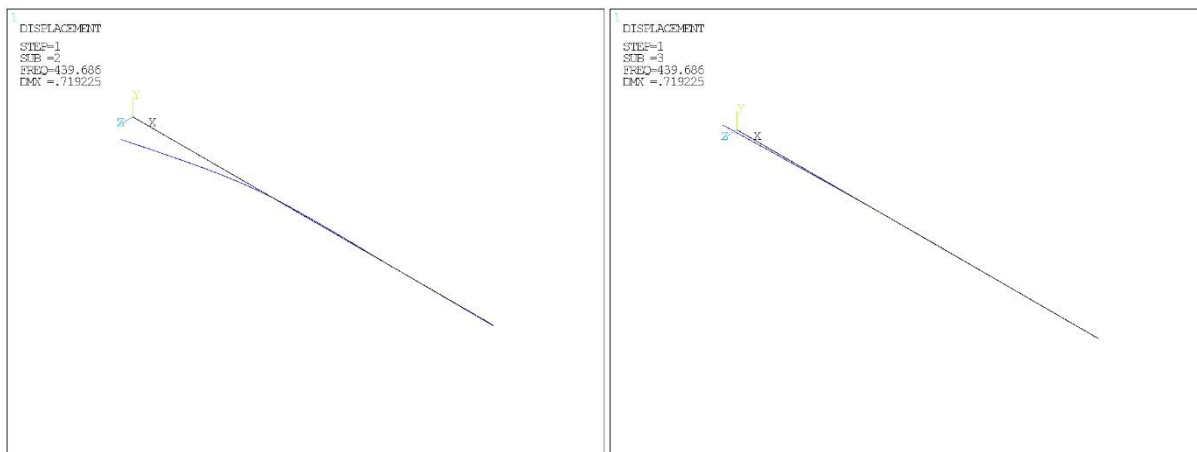
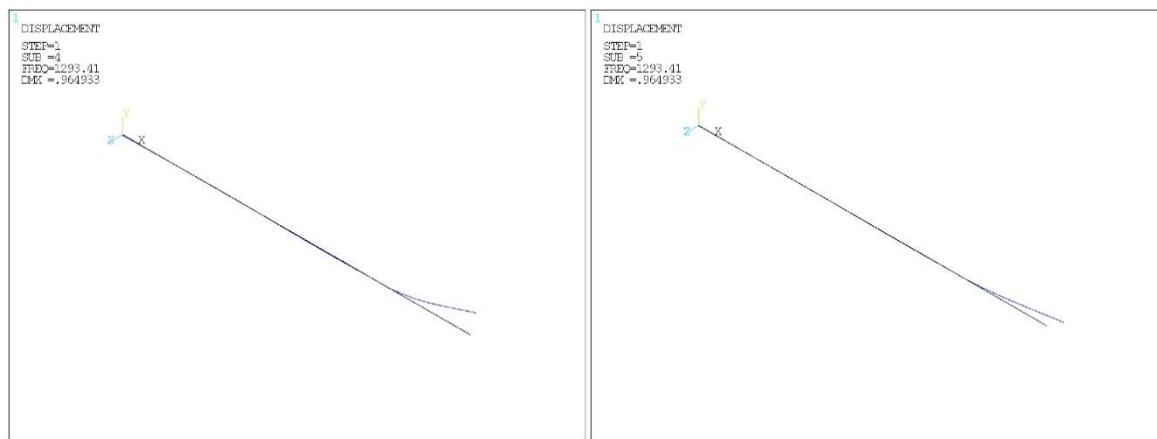


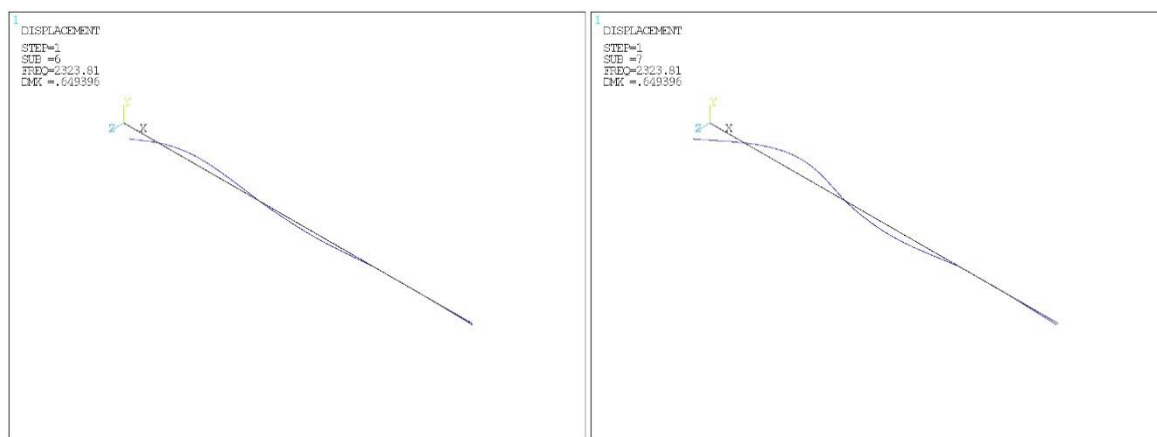
Рисунок 4.94 – Скінчено елементна модель коливань вала.



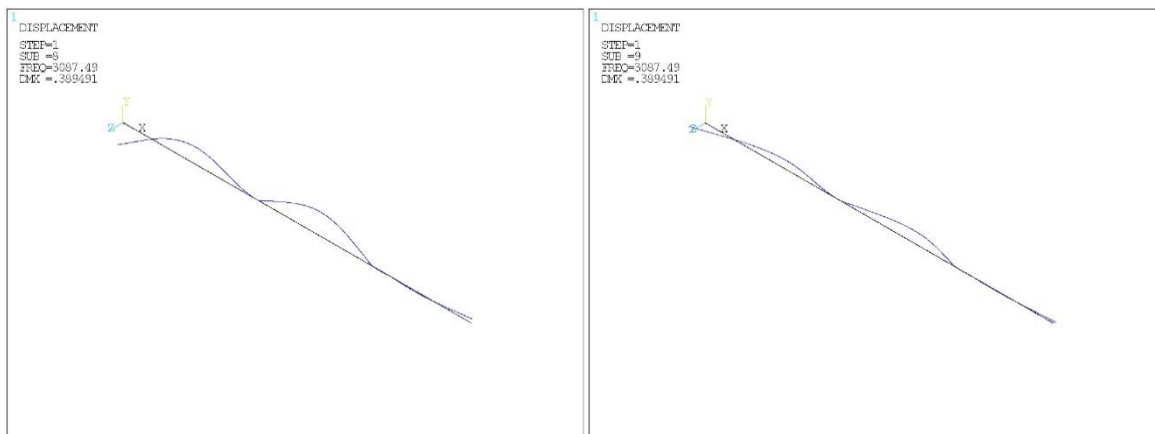
1 та 2 власні форми коливань з частотою 439,7 Гц



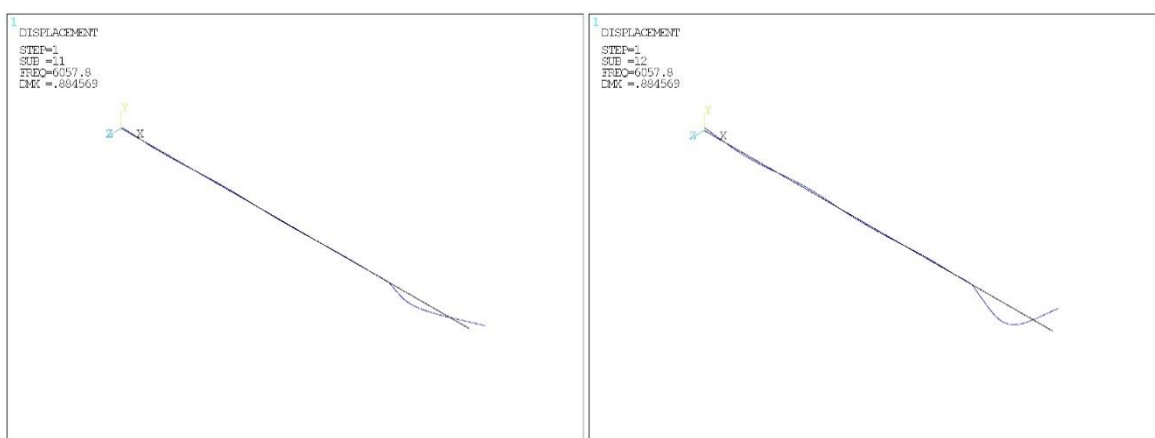
3 та 4 власні форми коливань з частотою 1293,4 Гц



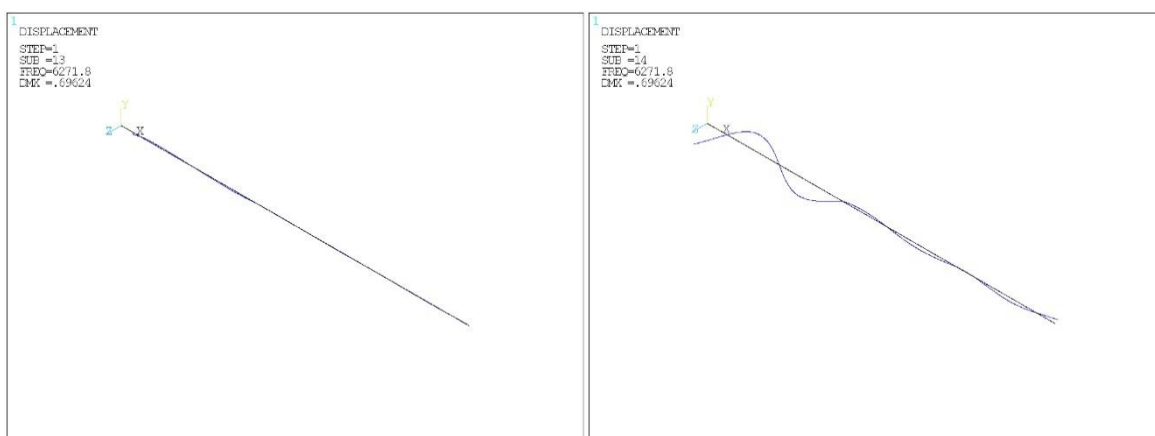
5 та 6 власні форми коливань з частотою 2323,8 Гц



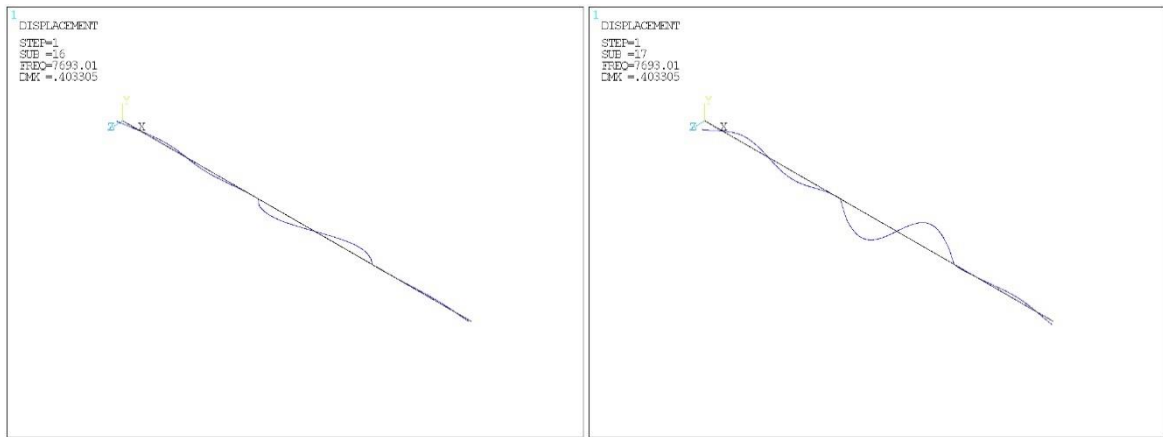
7 та 8 власні форми коливань з частотою 3087,5 Гц



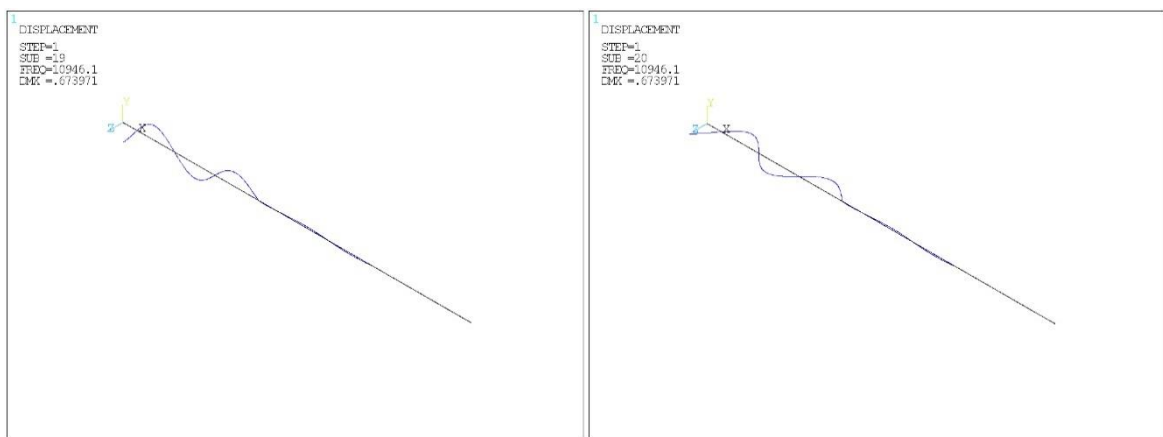
9 та 10 власні форми коливань з частотою 6057,8 Гц



11 та 12 власні форми коливань з частотою 6270,8 Гц



13 та 14 власні форми коливань з частотою 7693,0 Гц



15 та 16 власні форми коливань з частотою 10946,1 Гц

Рисунок 4.95 – Власні форми та частоти коливань.

Циклічно змінювана за часом вимушувальне навантаження породжує циклічно змінний відгук моделі. Проведено розрахунок чисто вимушених коливань вала під дією відцентрової сили, породженої дисбалансом робочого колеса.

Частота збуджувальної сили набагато нижча за першу власну (24,75 Гц \ll 439,7 Гц), і ротор є жорстким. Допустимий дисбаланс визначено за ISO 1940-1:2003 для класу точності балансування G2,5. Величину збуджувальної сили визначено за номограмою на рисунку 4 за обертовою частотою, що становить $n = 1485$ об/хв (24,75 Гц).

ГОСТ ИСО 1940-1—2007

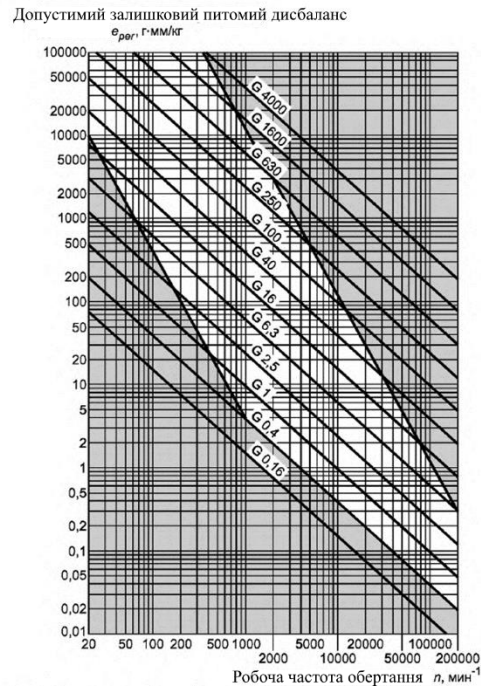


Рисунок 4.96 – Номограма залежності допустимого залишкового питомого дисбалансу від обертової частоти.

$$U_{рег} = e_{рег} \cdot m = 17 \cdot 24,37 \approx 414,29 \text{ г} \cdot \text{мм} \approx 4,1429 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м};$$

$$F_{рег} = U_{рег} \cdot \Omega^2 = U_{рег} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = 4,1429 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1485}{30} \right)^2 \approx 10,019 \text{ Н},$$

де $U_{рег}$ - допустимий залишковий дисбаланс, кг·м;

$e_{рег} = 17$ г·м/кг - допустимий залишковий питомий дисбаланс;

$m = 24,37$ кг – маса робочого колеса;

$F_{рег}$ – допустима відцентрова інерційна сила збудження вимушених коливань, Н;

Ω – обертова кутова швидкість вала, рад/с.

Через те, що частота збуджуваної сили менша за першу власну частоту коливань резонанс не досягається і у програмному комплексі ANSYS APDL замість гармонійного аналізу Harmonic – проводиться більш складне дослідження динамічних перехідних процесів Transient для розрахункової схеми вала (рис. 4.92) додатково навантаженою у центрі мас робочого колеса

гармонічною відцентровою силою з проекціями $F_{z\text{ per}} = F_{\text{per}} \cdot \cos(\Omega \cdot t)$ $F_{y\text{ per}} = F_{\text{per}} \cdot \sin(\Omega \cdot t)$. Для збереження статичної визначуваності розрахункової моделі і за припущення відсутності супутніх крутильних коливань вала крайню праву опору зафіксовано від провороту відносно вісі вала. Досліджується період часу встановлення коливань 4 повних обертів: $t_{\text{кін}} = 4 \cdot (60/n)$. Твердотільну модель приведено рисунку 4.97, скінчено елементну – на рисунку 4.98.

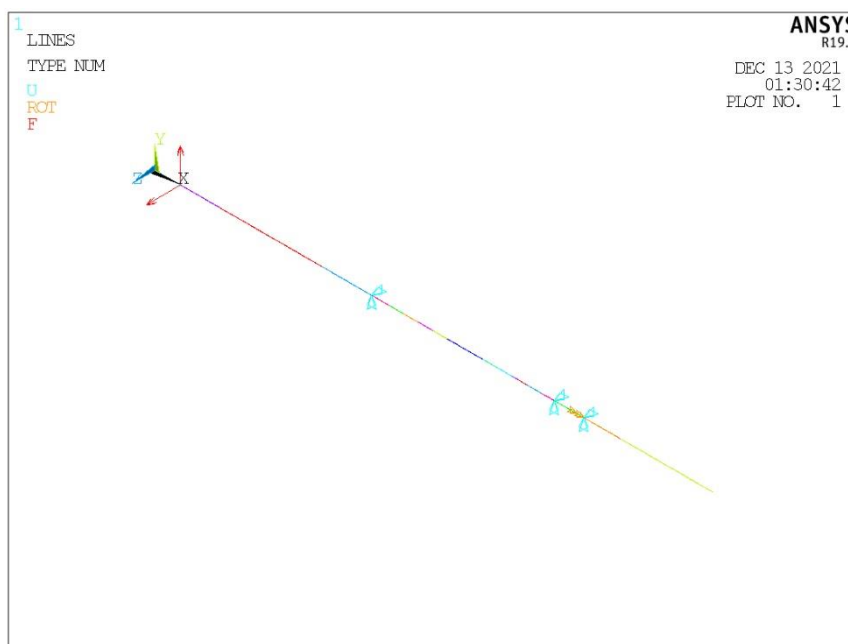


Рисунок 4.97 – Твердотільна модель коливань вала.

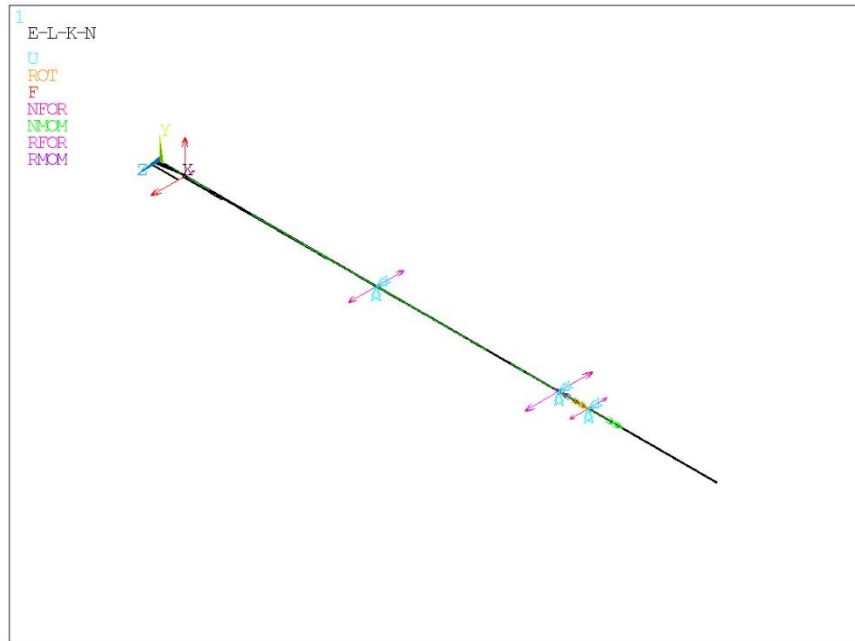
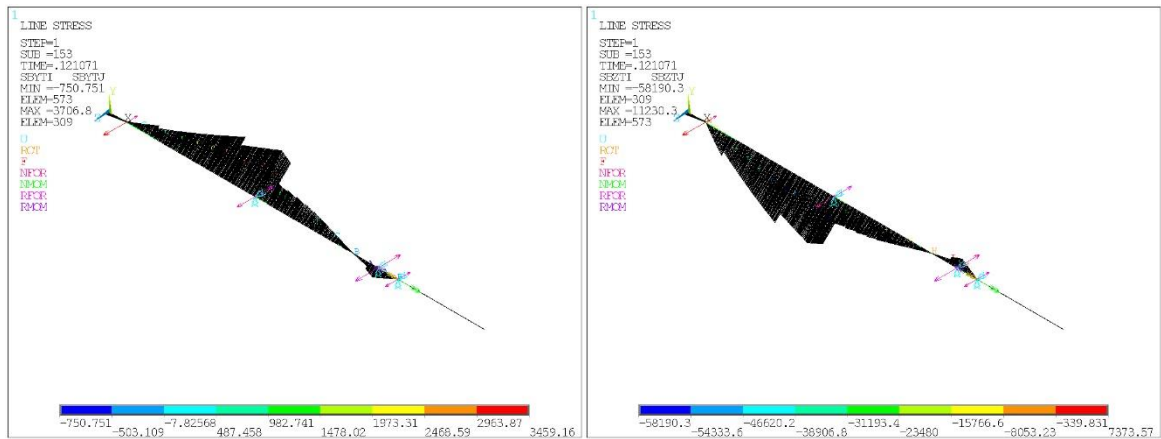
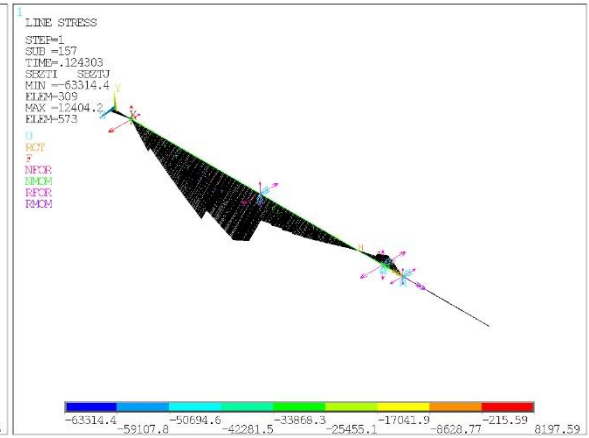
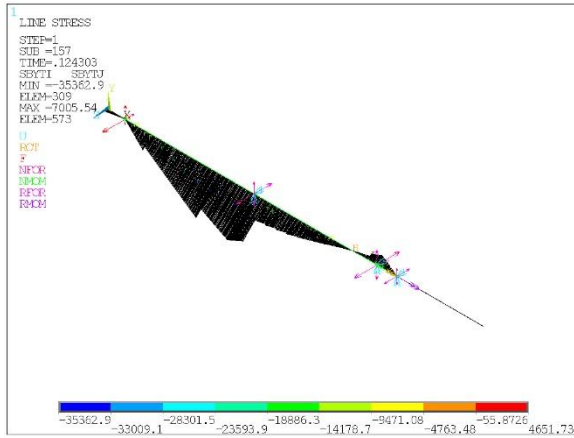


Рисунок 4.98 – Скінчено елементна модель коливань вала.

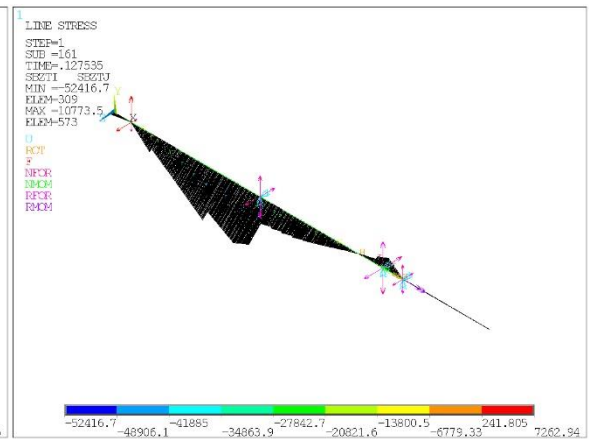
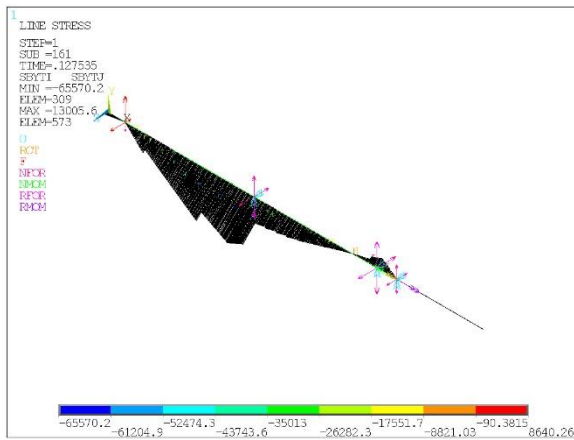
Результати у вигляді епюр максимальних нормальних напружень від інерційних згинальних моментів M_z та M_y подано на рисунку 4.99.



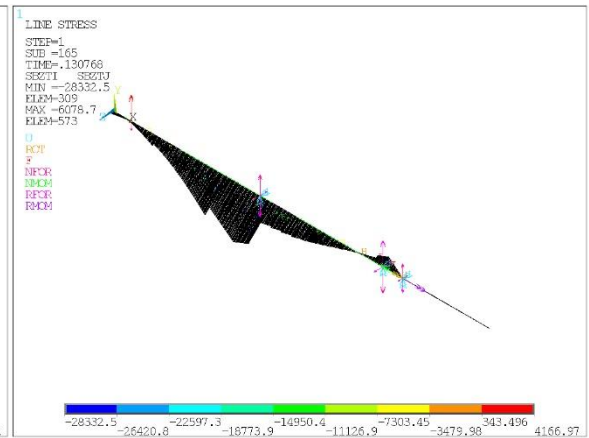
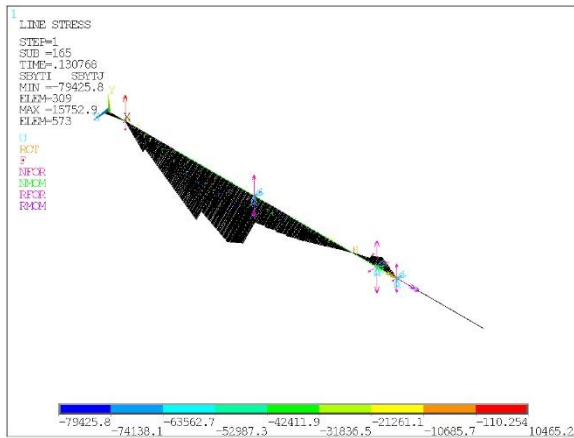
$\max \sigma_{M_y}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{M_z}, \text{Па}$ у $t = 0,121071$ с (153-й крок з 204)



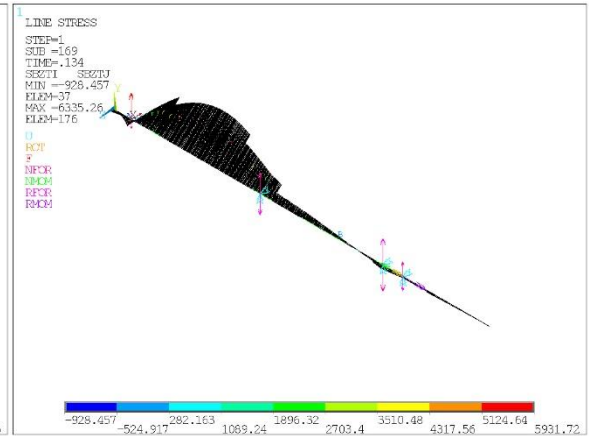
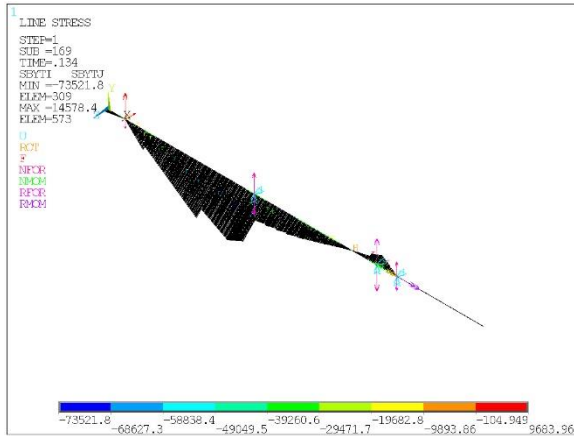
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,124303$ с (157-й крок з 204)



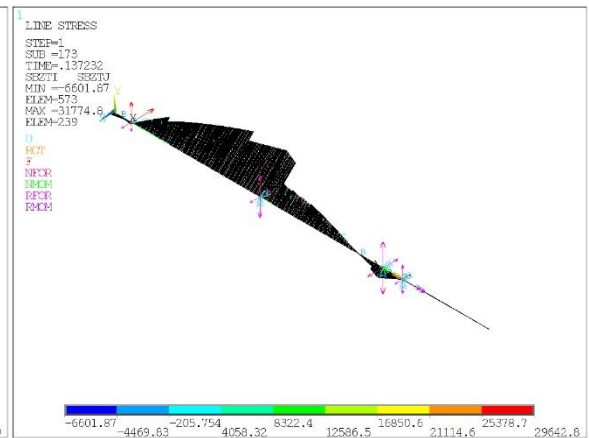
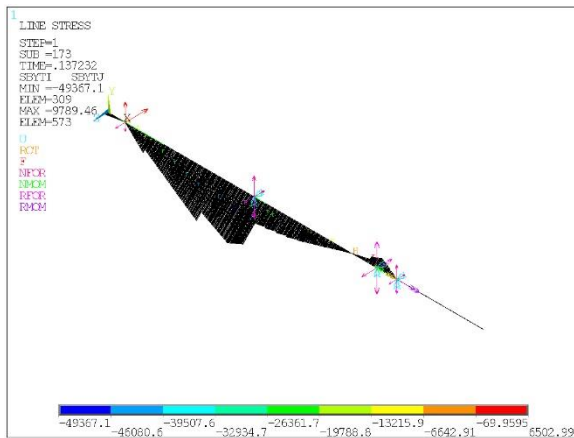
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,127535$ с (161-й крок з 204)



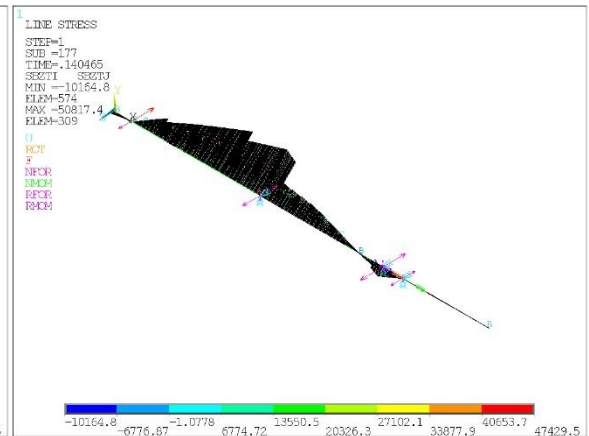
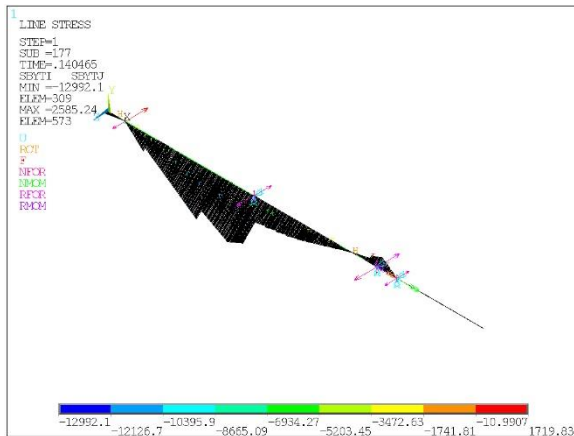
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,130768$ с (165-й крок з 204)



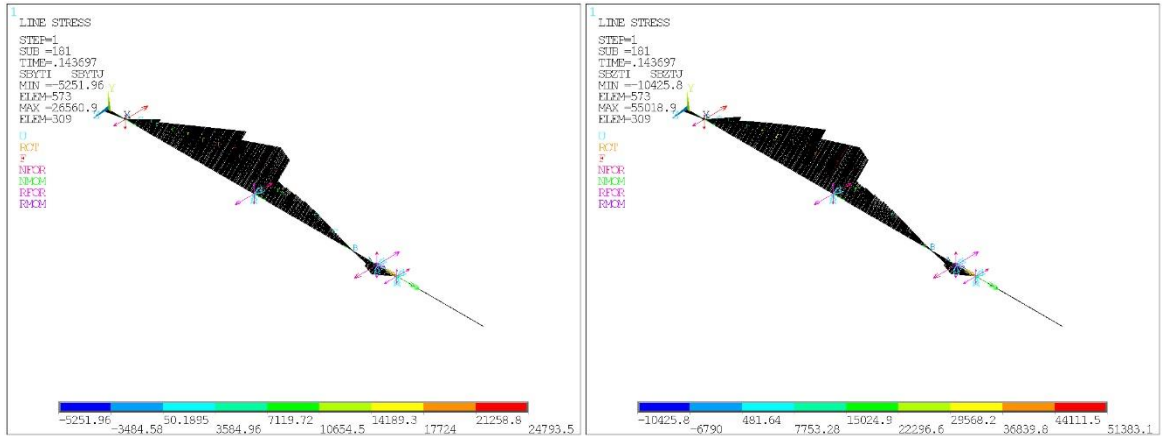
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,134$ с (169-й крок з 204)



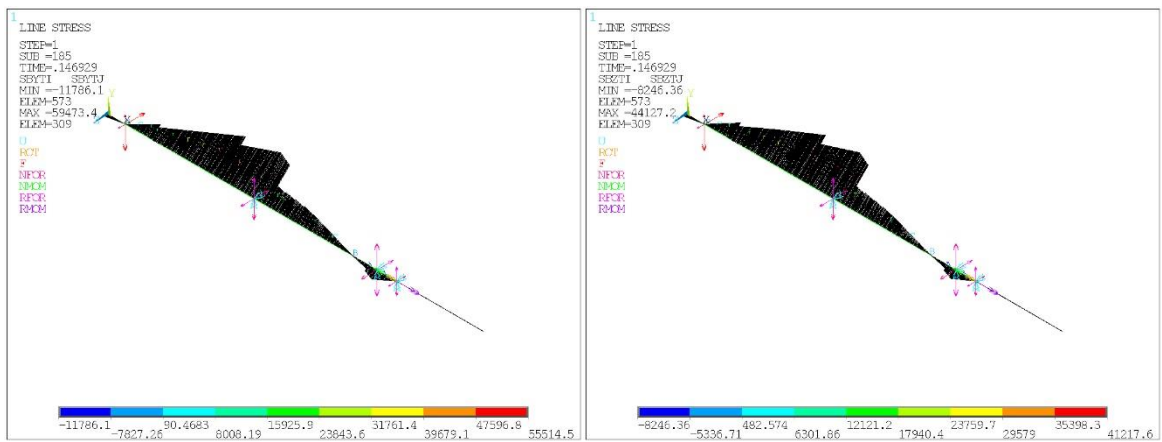
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,137232$ с (173-й крок з 204)



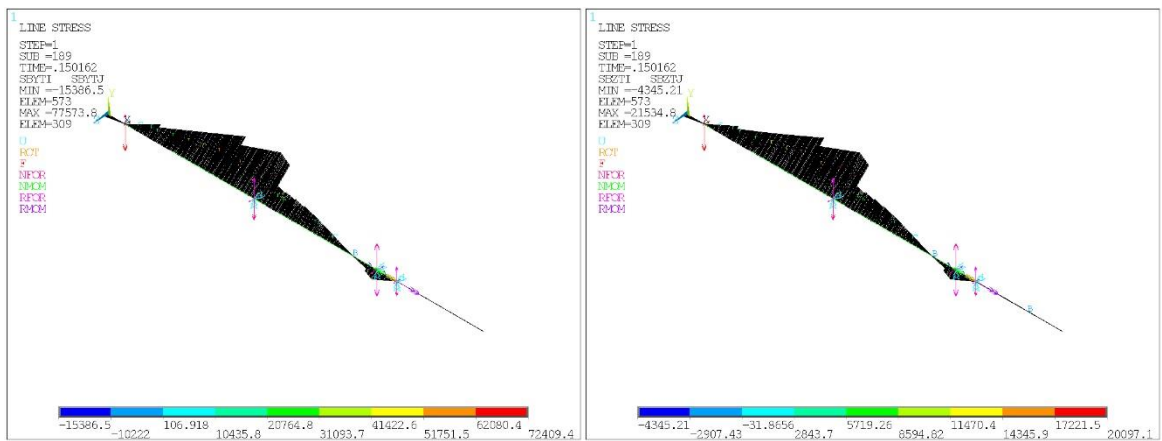
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,140465$ с (177-й крок з 204)



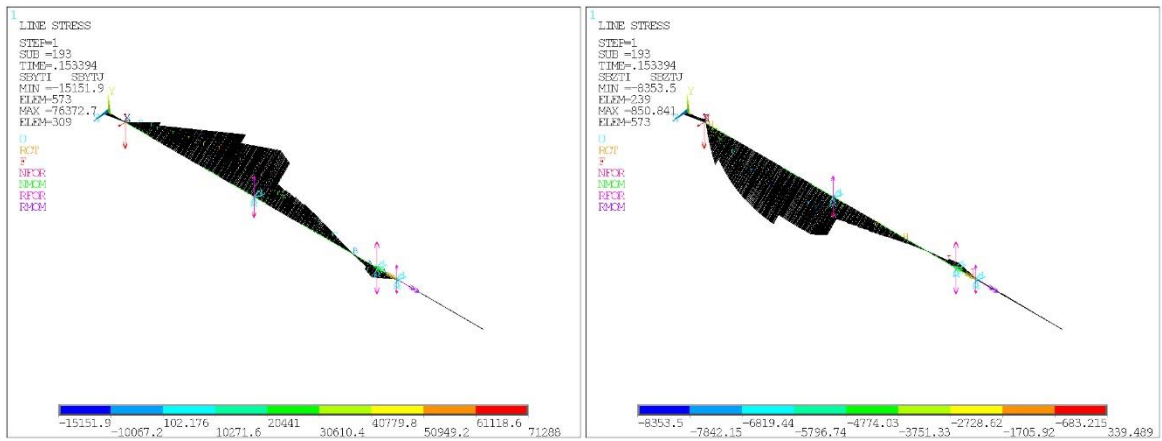
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,143697 \text{ с}$ (181-й крок з 204)



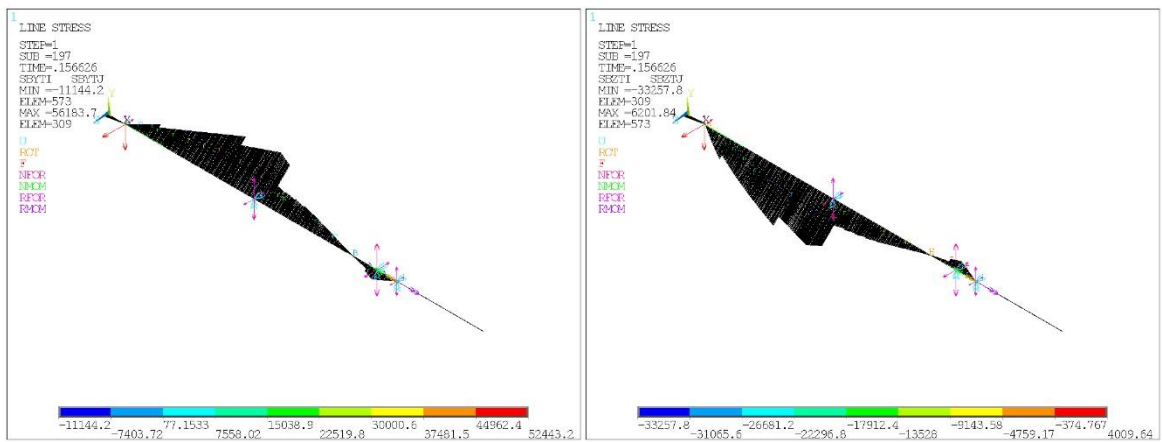
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,146929 \text{ с}$ (185-й крок з 204)



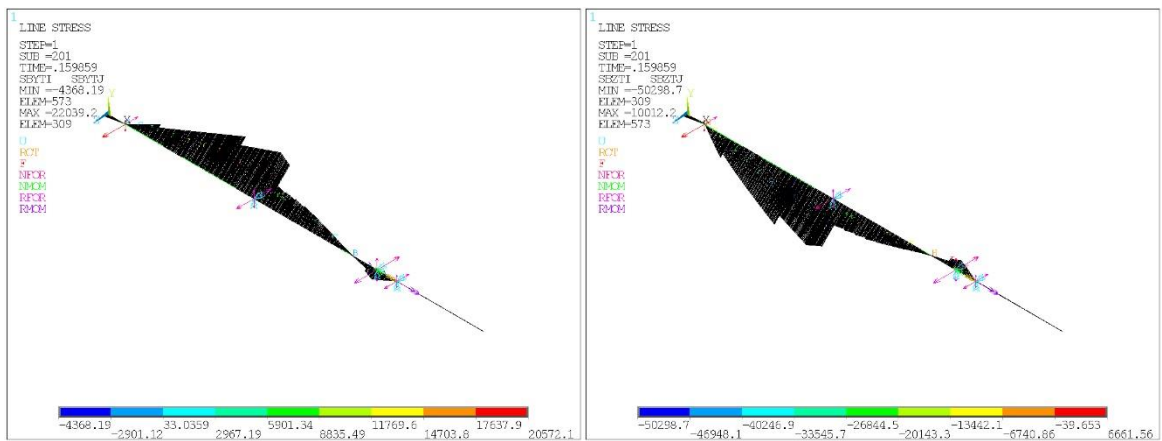
$\max \sigma_{My}, \text{Па}$ і $\max \sigma_{Mz}, \text{Па}$ у $t = 0,150162 \text{ с}$ (189-й крок з 204)



ма σ_{M_y} , Па і ма σ_{M_z} , Па у $t = 0,153394$ с (193-й крок з 204)



ма σ_{M_y} , Па і ма σ_{M_z} , Па у $t = 0,156626$ с (197-й крок з 204)



ма σ_{M_y} , Па і ма σ_{M_z} , Па у $t = 0,159859$ с (201-й крок з 204)

Рисунок 4.99 – Епюри максимальних нормальних напружень від інерційних згинальних моментів M_z та M_y , Па.

Максимальні напруження, як видно з графіків, майже завжди виникають у шарнірно рухомій опорі, утвореній сферичним роликотідишпником. Сумарні нормальні напруження визначено за формулою $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{(\max \sigma_{M_y})^2 + (\max \sigma_{M_z})^2}$ і подано на рисунку 4.100, де бралися найбільші епюрні значення без конкретизації належності до певного перерізу.

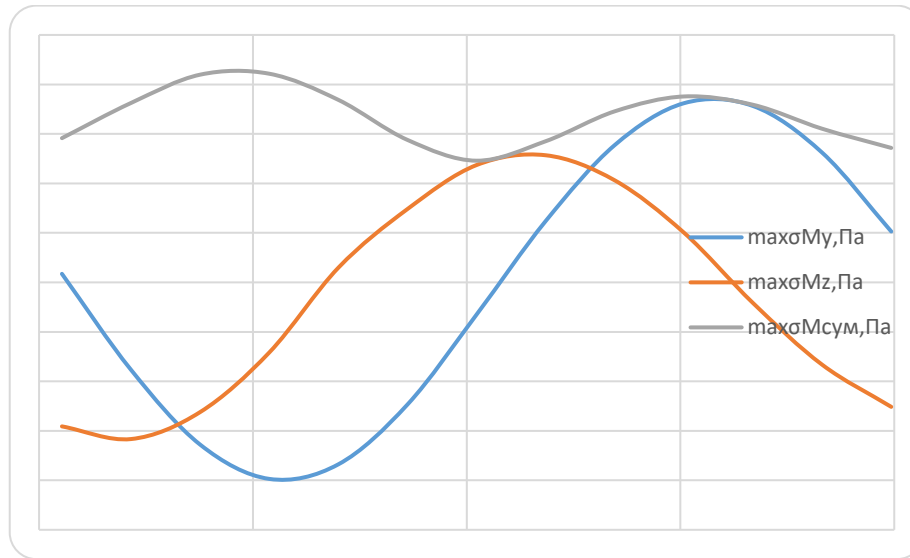


Рисунок 4.100 – Графік наближених максимальних напружень від моментів σ_{Mz} , σ_{My} та сумарне σ_{Σ} , Па в залежності від часу, с

4.7 Математична модель вимушених коливань ротора відцентрових насосів з урахуванням зовнішнього і внутрішнього тертя

Запропоновано наступну модель динаміки ротора у комплексній формі:

$$m_e \ddot{z} + c_e z = D \omega_0^2 e^{i(\omega_0 t + \varphi)} + F_c + F_b + F_q + F_z, \quad (1)$$

де $z = x + iy$ – комплексне переміщення центра мас;

x, y – компоненти переміщення центра мас у площині, перпендикулярній осі обертання, м;

D – допустимий залишковий дисбаланс, кг·м; ω_0 – робоча частота, рад/с;
 t – час, с;
 φ – зсув фази, рад;
 i – уявна одиниця.

Ця модель також містить гідродинамічні сили, що діють на робоче колесо:

- сила гідродинамічної жорсткості F_c , пропорційна переміщенню;
- демпфувальна сила F_b , пропорційна швидкості;
- циркуляційна сила F_q , пропорційна перехресним переміщенням:

$$F_c = -c_0 z; F_b = -b_0 \dot{z}; F_q = i q_0 z, \quad (2)$$

де c_0 – коефіцієнт гідродинамічної жорсткості, Н/м;
 b_0 – коефіцієнт демпфування, Н·с/м;
 q_0 – коефіцієнт циркуляційної сили, Н/м.

Також запропонована модель ураховує силу внутрішнього тертя, пропорційні відносній швидкості. Її значення в неінерційній та інерційній системах відліку такі:

$$F_{1\zeta} = -\zeta \dot{z}_1; F_\zeta = -\zeta (\dot{z} - i \omega_0 z), \quad (3)$$

де ζ – коефіцієнт внутрішнього тертя, Н·с/м.

Таким чином, початкове диференціальне рівняння динаміки ротора (1) набуває вигляду:

$$m_e \ddot{z} + (b_0 + \zeta) \dot{z} + [c_e + c_0 - i(q_0 + \zeta \omega_0)] z = D \omega_0^2 e^{i(\omega_0 t + \varphi)}. \quad (4)$$

Динамічна стійкість руху ротора досліджується за методом Раусса–Гурвіца. За такого підходу компоненти правої частини системи прирівнюються до нуля, а також вводиться оператор диференціювання p .

У проєкціях на осі координат x та y , можна одержати наступну систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} [m_e p^2 + (b_0 + \zeta)p + c_e + c_0]x + \frac{1}{2}(b_0 + 2\zeta)\omega_0 y = 0; \\ -\frac{1}{2}(b_0 + 2\zeta)\omega_0 x + [m_e p^2 + (b_0 + \zeta)p + c_e + c_0]y = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Відповідне характеристичне рівняння:

$$\sum_{j=0}^4 a_j p^{4-j} = 0, \quad (6)$$

де вводяться такі коефіцієнти:

$$\begin{aligned} a_0 &= m_e^2; a_1 = 2(b_0 + \zeta)m_e; a_2 = (b_0 + \zeta)^2 + 2(c_e + c_0)m_e; \\ a_3 &= 2(b_0 + \zeta)(c_e + c_0); a_4 = c^2 + (b_0 + \zeta)\zeta\omega_0^2 + \frac{1}{4}b_0^2\omega_0^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Нулі від'ємних частин коренів p_j визначають межу динамічної стійкості ротора. Відповідно до критерія Раусса–Гурвіца, динамічна стійкість ротора забезпечуватиметься за одночасного виконання усіх нерівностей:

$$\begin{cases} a_j > 0; \\ a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \\ (a_1 a_2 - a_0 a_3) a_3 - a_1^2 a_4 > 0. \end{cases} \quad (8)$$

Перші дві нерівності автоматично виконуються. Проте, останнє призводить до необхідності виконання наступної умови динамічної стійкості:

$$\omega_0 < 2 \frac{b_0 + \zeta}{b_0 + 2\zeta} \sqrt{\frac{c_e + c_0}{m_e}}. \quad (9)$$

Не зважаючи на те, що внутрішнє тертя не впливає на амплітуду вимушених коливань ротора, його негативний вплив на динамічну стійкість підтверджено у кількісному вимірі.

Таким чином, набула подальшого розвитку математична модель вимушених коливань ротора відцентрових насосів з урахуванням зовнішнього і внутрішнього тертя, що дозволило встановити межу динамічної стійкості системи «ротор – ущільнення».

5 ОПИС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВИРОБУ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ

5.1 Опис специфічних прийомів і способів роботи з виробом в режимах і умовах, передбачених технічним завданням

Усі агрегати повинні бути автоматизований в складі технологічних систем АЕС. Управління агрегатами і контроль технологічних параметрів повинні забезпечуватися системою управління енергоблоку.

У агрегаті повинні контролюватися такі параметри:

- а) температура двох підшипників насоса (по три датчика на кожному підшипнику);
- б) температура середовища, що перекачується на вході в насос;
- в) тиск середовища, що перекачується на вході в насос;
- г) тиск середовища, що перекачується на виході з насоса;
- д) подача середовища, що перекачується на виході з насоса;
- е) вібрація (контролюється за допомогою переносних засобів вимірювання).

Примітка – Первинні датчики вимірювання температури – відповідно до перерахуванню а) повинні поставлятися з обладнанням. Установка витратомірів, а також штуцерів на вході, виході з насоса і технологічних трубопроводах для відбору тиску і для установки термоперетворювача опору на вході в насос повинні бути передбачені в документації проекту АЕС.

Вимоги до датчиків, що поставляються комплектно з насосними агрегатами:

- датчики для формування захистів повинні бути резервовані, виходячи з умов виконання захисту 2 з 3;
- датчики стандартні, що відповідають умовам застосування на АЕС, в тому числі термоперетворювачі опору с НСХ 100П, W100=1,391.

У конструкції насосного агрегату повинні бути передбачені елементи для установки і приєднання КВП, в тому числі:

- з'єднувачі, розраховані на підключення зовнішнього контрольного кабелю з перетином жил від 0,5 до 1,5 мм²;
- кріпильні деталі елементів КВП.

5.1.1 Насоси систем розхолодження басейну витримки та промконтуру

Агрегати АЦНА 600-35 і АЦНА 600-35-1 повинні володіти стійкістю до робочих показників ЗВФ (зовнішніх впливових факторів) навколишнього середовища при нормальних умовах експлуатації, зазначеним в таблицях 5.1 і 5.2 відповідно.

Таблиця 5.1 – Робочі показники ЗВФ навколишнього середовища

Показник середовища	Значення показника
Температура, °С:	
– нижнє значення	5
– верхнє значення	40
Вологість, %, не більше	75
Барометричний тиск, кПа, не більше	101,3
Потужність еквівалентної дози випромінювання, мкЗв/год, не більше	60

Таблиця 5.2 – Узагальнені робочі показники ЗВФ навколишнього середовища

Показник середовища	Значення показника
Температура, °С:	
– нижнє значення	5
– верхнє значення	40
Вологість:	
– нижнє значення, %	5
– верхнє значення:	
а) при температурі від 15 до 30 °С, %	90
б) при температурі понад 30 °С і до 60 °С, г/м ³	32

Продовження таблиці 5.2

Показник середовища	Значення показника
Барометричний тиск, кПа	
– нижнє значення	86
– верхнє значення	108

Потужність поглиненої дози іонізуючого випромінювання, Гр/год, не більше	9·10 ⁻⁴
Масова концентрація корозійно-активних речовин, мг/м ³ , не більше: ¹⁾	
– діоксид сірки	10
– водень	10
– оксид азоту	10
– фтороводень	1
– хлороводень	1
– аміак	35
Масова концентрація пилу, мг/м ³ , не більше	1
¹⁾ Для групи умов експлуатації 1.2 можуть додатково визначатися верхні робочі значення масових концентрацій інших корозійно-активних речовин (азотно киснева суміш, пропан, ацетилен та ін.).	

Агрегати АЦНА 600-35-1 повинні володіти стійкістю до узагальнених робочих показників механічних ЗВФ (зовнішніх впливових факторів) зазначених в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Узагальнені робочі показники механічних ЗВФ

Показник середовища	Значення показника
Синусоїдальна вібрація (верхнє робоче значення):	
– амплітуди переміщення, мм	1,5
– амплітуди прискорення, м/с ²	5
– діапазон частот, Гц	150
– тривалість, %	100
– напрямок впливу	Z
Механічний удар (верхнє робоче значення):	
– пікового ударного прискорення, м/с ²	70
– тривалість ударного імпульсу, мс	50
– напрямок впливу	Z
Примітки:	
1 У таблиці прийнято умовне позначення Z – напрям уздовж вертикальної осі виробу.	
2 Частота переходу – від 9 до 10 Гц.	

Агрегати АЦНА 600-35-1 повинні володіти стійкістю до узагальнених робочих показників ВВФ навколишнього середовища при порушенні нормальних умов експлуатації (ПНУЕ), зазначених в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Узагальнені робочі показники ЗВФ навколишнього середовища при ПНУЕ

Показник середовища	Значення показника
Температура, °С, не більше	75
Швидкість зміни температури, °С/год, не більше	10
Вологість (верхнє значення при верхньому граничному значенні температури), г/м ³	30
Барометричний тиск, кПа, не більше	130
Тривалість, ч, не більше	5
Примітка – Причини порушення умов експлуатації, для яких визначені узагальнені граничні показники ЗВФ для групи умов експлуатації 1.2 – протікання технологічного обладнання.	

5.1.2 Насос системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП

Агрегати повинні володіти стійкістю до робочих показників ЗВФ (зовнішніх впливових факторів) навколишнього середовища при нормальних умовах експлуатації, зазначеним в таблиці 5.5

Таблиця 5.5 – Робочі показники ЗВФ навколишнього середовища

Показник середовища	Значення показника
Температура, °С:	
– нижнє значення	5
– верхнє значення	40
Вологість, %, не більше	75
Барометричний тиск, кПа, не більше	101,3

5.1.3 Насос подачі на очистку аварійного розчину бору

Агрегати повинні володіти стійкістю до робочих показників ЗВФ (зовнішніх впливових факторів) навколишнього середовища при нормальних умовах експлуатації, зазначеним в таблиці 5.6

Таблиця 5.5 – Робочі показники ЗВФ навколишнього середовища

Показник середовища	Значення показника
Температура, °С:	
– нижнє значення	15
– верхнє значення	60
Вологість, %	10 – 90
Барометричний тиск, кПа, не більше	101,3

5.2 Опис порядку та способів упакування, транспортування, монтажу, зберігання виробу та введення його в дію на місці експлуатації

У комплект поставки агрегату повинні входити:

- агрегат в зібраному вигляді згідно НЕЦ.150111-01.03.000.00, що складається з
 - а) насос в зібраному вигляді (в тому числі відповідні фланці на вхідному і напірному патрубках з кріпильними виробами для їх установки на насос і прокладками) 1 шт.
 - б) двигун і його комплектуючі вироби 1 шт.
 - в) фундаментна рама (загальна під насос і двигун) 1 шт.
 - г) муфта 1 шт.
 - д) захисний кожух 1 шт.
- монтажні підкладки, болти фундаментні з гайками та шайбами для кріплення рами агрегату на фундаменті, регулюючі гвинти 1 компл.
- запасні частини (на гарантійний період) згідно з додатком Е 1 компл.
- інструмент і пристосування згідно з додатком Є 1 компл.
- експлуатаційна, ремонтна та технічна документація згідно з додатком Ж 1 компл.

Агрегати повинні мати чітке та міцне маркування на табличці за прийнятою на підприємстві-виробнику системою, яка містить в обов'язковому порядку згідно СОУ НАЕК 158:2020 такі дані:

- товарний знак або найменування підприємства-виробника;
- умовне позначення агрегату;
- заводський номер;
- подача, напір, частота обертання валу насоса;
- маса агрегату;
- рік виготовлення;
- розрахунковий тиск;
- розрахункова температура;
- тиск гідравлічних випробувань;
- напис «Зроблено в Україні»;
- клеймо служби технічного контролю;
- знак відповідності Технічному регламенту обладнання, що працює під тиском.

Місце кріплення таблички вказується в кресленнях.

Знаки маркування на табличці повинні бути виконані способами, що забезпечують чіткість і збереження написів на період експлуатації насоса.

На базовій деталі насоса – корпусі повинен бути нанесений ударним способом порядковий номер насоса. Місце нанесення порядкового номера насоса вказується на складальному кресленні насоса.

Складальні одиниці і деталі насоса повинні мати маркування відповідно до вимог креслень, що дозволяє ідентифікувати їх в процесі виготовлення.

Запасні частини, що входять в комплект поставки насоса, повинні мати маркування, що містить позначення креслення, на деталі або на бирці.

На насосі, на видному та доступному для огляду місці, має бути вказано стрілкою напрямком обертання ротора. Стрілка повинна бути пофарбована в колір, контрастний кольору насоса.

Місце і спосіб нанесення стрілки, що забезпечує її збереження на період експлуатації до капітального ремонту, встановлюється підприємством-виробником і вказується в кресленнях.

Транспортне маркування повинне відповідати вимогам ГОСТ 14192-96 і вказівкам в кресленнях на упаковку підприємства-виробника з урахуванням вимог договору (контракту) на постачання.

Перед упакуванням нефарбовані металеві поверхні агрегату повинні бути законсервовані на період їх транспортування і зберігання.

Консервація і упаковка комплектуючих агрегати виробів повинна виконуватися відповідно до інструкції НЕЦ.150111-01.03.000.00 И.

Варіанти тимчасового протикорозійного захисту і упакування встановлюються підприємством-виробником, з урахуванням умов і термінів транспортування і зберігання, згідно з ДСТУ 2733-94 і вказуються в кресленнях і експлуатаційної документації.

Термін дії консервації агрегату повинен бути не менше 3 років з дня їх відвантаження підприємством-виробником.

Дата проведення консервації повинна бути вказана в паспортах агрегатів. Методи консервації поверхні проточної частини насосів і застосовувані для цього матеріали повинні забезпечувати розконсервацію без розбирання насоса.

Після консервації вхідний і напірний патрубків насоса, всі отвори і приєднувальні фланці насоса та комплектуючих агрегат виробів повинні бути закриті пробками або заглушками. Відповідальні роз'єми, отвори вхідного і напірного патрубків повинні бути опломбовані. Вид, кількість та місця установки гарантійних і консерваційних пломб вказуються в технічній документації.

Кромки контрфланців, підготовлені до зварювання, на відстані 20 мм від краю кромки не фарбуються, але повинні бути захищені від будь-якого впливу, тобто від механічних пошкоджень і впливів кліматичних факторів зовнішнього середовища. Для фланця на лінії відводу витоків з торцевого ущільнення насоса допускається зменшення відстані від кромки до 10 мм.

Насос і інші складові частини і комплекти, що входять в поставку агрегату, перед відправкою Замовнику повинні бути упаковані в щільні дерев'яні ящики, виготовлені відповідно до технічної документації.

Упаковування спільно з консервацією повинно забезпечувати збереження виробів при їх транспортуванні.

Технічна документація, що відправляється з агрегатом, повинна бути герметично упакована в водонепроникний пакет відповідно до ДСТУ ISO 6590-2:2006 і вложена в транспортне місце, на якому повинен бути зроблений напис "Документація тут".

Допускається відправка технічної документації окремим транспортним місцем.

Агрегат повинен допускати транспортування в упаковці підприємства-виробника будь-яким видом транспорту у відповідності з правилами перевезень вантажів, що діють на даному виді транспорту.

Умови транспортування агрегату в частині впливу кліматичних факторів – за групою 8 (ОЖЗ), тип атмосфери II згідно ГОСТ 15150-69.

Час транспортування не більше 10% від часу зберігання.

Умови зберігання агрегату – по групі 3 (ЖЗ) ГОСТ 15150-69, ЗЧ з гуми – по групі 1.2, тип атмосфери II згідно ГОСТ 15150-69.

Термін зберігання агрегату в упаковці підприємства-виробника з урахуванням часу транспортування – 3 роки.

При зберіганні агрегату понад терміну дії консервації (п. 3.13.5) Замовник повинен зробити переконсервацію згідно ДСТУ 2733-94 і вказівкам в експлуатаційній документації.

При навантаженні і вивантаженні агрегату строповку слід проводити за місця, зазначені на упаковці, а розпаковані насоси – відповідно до вказівок в технічній документації.

На транспортній тарі, що не допускає штабелювання, має бути зазначене відповідне маркування.

5.3 Оцінка експлуатаційних даних виробу

При планово-попереджувальних ремонтах, пуску, роботі і обслуговуванні насоса небезпечними і шкідливими виробничими факторами можуть бути:

- ураження електричним струмом;
- обертові елементи ротора насоса;
- підвищений рівень шуму і вібрації
- підвищена температура поверхонь обладнання.

Джерела небезпеки:

- електричний струм, що підводиться для живлення двигуна;
- відкриті ділянки ротора насоса;
- шум і вібрація, збуджувані працюючим агрегатом
- нагріті вище 45 °С поверхні насоса та трубопроводів.

Загальні вимоги безпеки повинні відповідати ДСТУ EN 809:2015 та ДСТУ ISO 6309:2007.

При експлуатації та ремонті насоса необхідно дотримуватися вимог до безпеки відповідно до НП 306.2.141-2008, ПРБ АС-89, «ПУЕ», СОУ НАЕК 158:2020, НПАОП 0.00-1.69-13.

Вимоги безпеки при вантажно-розвантажувальних роботах згідно НПАОП 0.00-1.75-15.

Конструкція насоса повинна бути передбачати можливість їх стропування при транспортуванні і ремонті. Місця і схеми стропування повинні бути вказані в технічній документації.

Матеріали, що застосовуються в насосі, не повинні виділяти отруйних речовин.

При експлуатації насос повинен бути заземлений.

Вимоги з електробезпеки – згідно ГОСТ 12.2.007.1-75.

При проведенні ремонту насоса на місці його установаження, заміна запасних частин насоса повинна виконуватися при відключеному від мережі електродвигуні.

До початку ремонту з корпусу насоса повинна бути злита рідина. Насос повинен бути підданий дезактивації. При роботі з розчинами для дезактивації застосовувати засоби індивідуального захисту згідно з інструкціями, що діють на АЕС.

Загальні вимоги до системи забезпечення пожежної безпеки – відповідно до ГОСТ 12.1.004-91.

Насос або складальні одиниці і деталі насоса, що вийшли з ладу і відпрацювали ресурс, повинні бути піддані дезактивації з подальшою утилізацією відповідно до норм діючих на АЕС.

Підготовка до монтажу, монтаж і налагодження, технічне обслуговування та експлуатація агрегату повинні проводитися відповідно до його експлуатаційної документації та його комплектуючих виробів.

Монтаж і налагодження агрегату повинні проводитися відповідно до інструкції з експлуатації.

Експлуатація агрегату повинна проводитися в робочому інтервалі продуктивності відповідно до характеристик, наведених в додатку Б.

Запуск і робота незаповненого насоса середовищем, що перекачується не допускається.

Пуск насоса проводиться на закриту засувку на напірному трубопроводі. Допускається пуск насоса на відкриту засувку, але подача при цьому повинна знаходитися в робочому інтервалі. Робота насоса на закриту засувку на напірному трубопроводі допускається не більше 1 хв.

Забороняється включення в роботу агрегату без підключення та функціонування системи автоматики.

Експлуатація агрегату не вимагає постійної присутності обслуговуючого персоналу. Обслуговування насоса – періодичне відповідно до регламенту експлуатуючої організації.

Призначений ресурс до капітального ремонту – не менше 10 років (на гумовотехнічні і швидко зношувані деталі – не більше 5 років).

Під час експлуатації агрегат може піддаватися планово-попереджувальним, поточним і капітальним ремонтам. Планово-попереджувальні та капітальні ремонти повинні проводитися відповідно до чинних регламентів, поточні ремонти – згідно з вказівками в експлуатаційній документації.

Контроль виготовлення, випробування та приймання насоса повинні проводитися службою технічного контролю підприємства-виробника згідно з вимогами технічної документації, що діє на підприємстві.

Куплені та одержувані по кооперації вироби, основні і зварювальні матеріали повинні бути піддані вхідному контролю за методикою підприємства-виробника насоса з урахуванням вимог СОУ НАЕК 158:2020, СОУ НАЕК 160:2020.

При вхідному контролі повинні бути перевірені маркування, супровідна документація, комплектність, а також відповідність сертифікатних даних вимогам стандартів і технічних умов.

Крім того, при вхідному контролі основних матеріалів для деталей, на які поширюються правила СОУ НАЕК 158:2020, повинні бути проведений суцільний візуальний контроль.

Для кріпильних деталей з легованих сталей:

- суцільний візуальний контроль;
- суцільний стилоскопічний контроль (тільки для матеріалу для кріпильних виробів з легованої сталі).

Деталі та складальні одиниці повинні бути піддані контролю на відповідність вимогам креслень в частині контролю маркування, геометричних параметрів (розмірів, допусків відхилень форм і розташування), якості поверхонь (шерехатості), а також повинна бути виконана перевірка документації щодо контролю зварних з'єднань корпусів насосів.

Контролю повинні піддаватися кожна з виготовлених деталей і складальних одиниць.

Деталі та складальні одиниці корпусу насоса, які працюють під тиском середовища, що перекачується, повинні бути піддані гідравлічним випробуванням на міцність і щільність відповідно до СОУ НАЕК 158:2020 і вказівками в кресленнях.

Інші деталі, що працюють під тиском, повинні піддаватися гідравлічним випробуванням відповідно до вимог креслень.

Вода для гідравлічних випробувань не повинна мати шкідливого впливу на матеріали та повинна відповідати наступним показникам:

- водневий показник – 6,5 ... 7,5 од. рН;
- жорсткість загальна – не більше 10 мг экв/дм³;
- вміст хлоридів – не більше 300 мг/дм³.

Агрегати та насоси в їх складі повинні бути піддані таким видам випробувань:

- попередніми;
- приймальним;
- приймально-здавальним.

Крім того, на майданчику кінцевого користувача агрегати повинні бути піддані:

- вхідному контролю;
- попередніми комплексним і приймальним (міжвідомчим)

випробувань в складі ядерної установки (ЯУ).

Агрегати перед відправкою Замовнику на підприємстві-виробнику повинні бути піддані випробуванням на стенді, виконаному згідно ДСТУ ГОСТ 6134:2009 на воді з характеристиками відповідно до ДСТУ ГОСТ 6134:2009 при частоті струму (50±2,5) Гц.

Обсяг и методика випробувань – відповідно до «Програми та методики випробувань» НЕЦ.150111-01.03.000.00 ПМ. Форма та правила виконання програми випробувань – згідно з ГОСТ 2.106-96.

Випробування проводяться з метою контролю відповідності насосів (агрегатів) вимогам технічної документації при постановці на виробництво, в процесі виробництва і при поставці Замовнику:

– – попередні випробування - контрольні випробування, які проводяться з метою перевірки відповідності показників якості і характеристик головного зразка (першого з виготовлених) насоса (агрегату) вимогам технічної документації і вирішення питання про можливість пред'явлення його на приймальні випробування;

– – приймальні випробування проводяться з метою визначення відповідності головного зразка насоса (агрегату) вимогам проекту технічних умов, конструкторської і технологічної документації, рішення про можливість постановки на виробництво партії насосів (агрегатів), а також прийняття рішення про допустимість використання агрегатів за призначенням;

– – приймально-здавальні випробування проводяться з метою перевірки відповідності насоса (агрегату) вимогам технічної документації і вирішення питання про можливість поставки його Замовнику (кінцевому користувачеві).

Попереднім і приймальним випробуванням повинен бути підданий головний зразок агрегату з виготовленої вперше для поставки Замовнику партії насосів згідно ДСТУ 8634:2016.

Приймально-здавальним випробуванням піддаються всі насоси (агрегати), що поставляються Замовнику.

Попередні випробування проводяться комісією, призначеної наказом керівника підприємства-виробника. До складу комісії повинні входити представники підприємства-виробника з обов'язковою участю представника служби технічного контролю.

При проведенні попередніх випробувань допускається вносити зміни в конструкцію окремих деталей (складальних одиниць), спрямовані на доведення характеристик і показників насоса до вимог технічної документації.

Приймальні випробування проводять комісією, що складається з представників підприємства-виробника, представників Замовника і Кінцевого користувача, а також представника Держатомрегулювання (за узгодженням).

У роботі комісії, при необхідності, можуть взяти участь представники інших зацікавлених організацій (підприємства-виробника двигуна та інші.).

Приймально-здавальні випробування проводяться комісією, призначеної наказом керівника підприємства-виробника. До складу комісії повинні входити представники підприємства-виробника з обов'язковою участю представника служби технічного контролю.

Вхідний контроль, попередні комплексні і приймальні (міжвідомчі) випробування в складі ЯУ проводяться за програмами і процедурам Кінцевого користувача.

На випробування пред'являється агрегат підданий необхідним перевіркам і випробуванням, а також прийнятий службою технічного контролю підприємства-виробника.

До початку випробувань на головному зразку повинні бути проконтрольовані маса насоса (агрегату) та його габаритні розміри.

Перед випробуваннями кожного агрегату має бути візуально проконтрольована наявність і надійність закріплення кришки ввідного пристрою та заземлення двигуна.

Перед початком випробувань кожен агрегат повинен бути підданий обкатуванню.

При попередніх випробуваннях насоса (агрегату) повинні бути визначені наступні характеристики:

- напірна;
- енергетична;
- кавітаційна;
- вібраційна;
- шумова.

При цьому повинні бути проконтрольовані на номінальному режимі (з відхиленням по подачі не більше $\pm 3\%$) наступні показники:

- подача;
- напір;
- частота обертання;

- ККД;
- допустимий кавітаційний запас;
- зовнішній витік через кінцеве ущільнення валу;
- вібрація;
- шум;
- температура кронштейна в зоні розташування підшипників насоса – контролюється періодично при всіх видах випробувань.

Випробування по визначенню кавітаційної характеристики повинні проводитися з встановленим сальниковим ущільненням, інші випробування, в тому числі контроль необхідного надкавітаційного напору на вході – з встановленим торцевим ущільненням.

Приймальні випробування включають в себе випробування по визначенню характеристик і контролю показників і додатково проведена перевірка працездатності протягом не менше 24 годин в робочому інтервалі подачі. За рішенням приймальної комісії в обсяг часу з перевірки працездатності може враховуватися час при обкатуванні та випробуваннях.

За рішенням приймальної комісії за результати приймальних випробувань можуть бути прийняті результати випробувань, проведених в обсязі попередніх, або проведені випробування в повному або скороченому обсязі.

Результати, отримані при приймальних випробуваннях по визначенню шумової характеристики, а також контролю маси і габаритних розмірів поширюються на всі агрегати, виготовляються за цим технічним завданням.

Після проведення приймальних випробувань слід провести ревізію насоса – розбирання з метою визначення стану складальних одиниць і деталей насоса.

У разі виявлення пошкоджень або зносу деталей проводиться їх дефектація з проведенням вимірювального контролю, ремонтом деталей (заміною на нові) і проведення повторних випробувань.

Грунтуючись на результатах проведених випробувань і ревізії насоса, приймальною комісією робиться висновок про відповідність основних показників якості і характеристик насоса вимогам технічного завдання.

При проведенні приймально-здавальних випробувань наступних насосів повинні бути визначені напірна і енергетична характеристики, проконтрольовані на номінальному режимі (відхилення по подачі не більше $\pm 3\%$) наступні показники:

- подача;
- напір;
- частота обертання;
- ККД;
- допустимий кавітаційний запас;
- вібрація.

Також на номінальному режимі роботи (відхилення по подачі не більше $\pm 3\%$) повинна бути виміряні зовнішні витоки через торцеве ущільнення валу насоса, проконтрольована температура підшипників насоса.

При позитивних результатах приймально-здавальних випробувань оформляється протокол, що є підставою для прийняття рішення про відвантаження насоса Замовнику.

Всі випробування насоса повинні проводитися до нанесення захисних покриттів.

Після випробувань насос повинен піддаватися консервації та нанесенню захисних покриттів згідно з вимогами креслень.

Перед відправкою Замовнику служба технічного контролю підприємства-виробника насоса повинна проконтролювати:

- якість захисних покриттів;
- якість консервації;
- комплектність;
- надійність кріплення и якість упакування;
- обсяг і правильність написів на тарі;
- наявність, комплектність і правильність оформлення супровідної документації.

Після випробувань і приймання в паспорті агрегату повинні бути проставлені підпис і печатка відповідального керівника служби технічного контролю підприємства-виробника.

На табличці агрегату керівник служби технічного контролю підприємства-виробника повинен поставити відповідне клеймо.

Перелік експлуатаційної, ремонтної і технічної документації, що комплектно постачається з агрегатом, розробленої в номенклатурі обов'язкових документів по ГОСТ 2.102-68, зазначений в додатку Ж.

Також з агрегатом постачається документація з якості:

- програму забезпечення якості при проектуванні – Покас (Р) розроблену відповідно до НП 306.1.190-2012;

- план якості оформлений, погоджений і затверджений відповідно до СОУ НАЕК 039:2013 і СОУ НАЕК 072:2014 на виріб згідно договору (контракту) на постачання, якщо продукція підлягає оцінці відповідності представниками замовника;

- сертифікат якості підприємства-виробника;

- сертифікати підприємств-постачальників на матеріали і напівфабрикати, використовувані в якості заготовок при виготовленні ЗЧ, а також при необхідності акти (протоколи) випробувань та досліджень, які підтверджують повну відповідність матеріалів вимогам стандартів і технічних умов;

В завданні на фундамент повинні бути вказані навантаження на будівельні конструкції (в тому числі від ПЗ) і вузли кріплення до них.

На монтажному кресленні агрегату повинні бути приведені схеми стропування агрегату, двигуна і насоса із зазначенням масогабаритних характеристик, центрів мас, прив'язок місць стропування, мінімальної відстані від опорної поверхні рами агрегату, насоса і двигуна до низу гака вантажопідіймального механізму.

У керівництві з експлуатації агрегату повинні бути вказані (при необхідності) схеми стропування складальних одиниць насоса із зазначенням масогабаритних характеристик, центрів мас, прив'язок місць стропування.

Технічне завдання і програму і методику випробувань насоса (агрегату) погоджують:

- ДЯР України;
- ДП «НАЕК« ЕНЕРГОАТОМ »»;
- ВП «Запорізька АЕС», ВП «Хмельницька АЕС», ВП «Южно-Українська АЕС», ВП «Рівненська АЕС»

Кількість примірників технічної документації, документації з якості відповідно до договору (контракту) на постачання.

Технічні умови на ремонт насоса повинні бути узгоджені з АЕС.

Монтажні креслення, завдання на фундамент і схема гідравлічна направляються на розгляд на АЕС.

Гарантійний термін експлуатації повинен становити не менше 24 місяців з дня введення в експлуатацію, але не більше 36 місяців з дня відвантаження з підприємства-виробника, якщо інше не обумовлено договором (контрактом) на постачання.

Якщо протягом гарантійного терміну виявлено невідповідність запасних частин вимогам цього ТЗ та конструкторської документації, підприємство-виробник зобов'язаний усунути виявлені невідповідності за свій рахунок.

Гарантійний термін консервації ЗЧ – 3 роки.

6 ОЧІКУВАНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

6.1 Економічні показники та необхідні розрахунки, орієнтовний розрахунок ціни виробу

Розрахунок цінових показників насосних агрегатів виконано у відповідності до «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості», затверджених наказом Міністерства промислової політики України від 09.07.2007 року №373 та чинних положень бухгалтерського обліку.

Розрахунок планової собівартості проведено за умови організації індивідуального виробництва продукції.

Застосований спосіб розрахунку - нормативний спосіб розрахунку кошторису з застосуванням елементів способу розрахунку за прямими ознаками.

Об'єктом обліку та розрахунку визначено насосні агрегати: АЦНА 600-35, АЦНА 600-35-1, АЦНА 8-60, АЦНА 45-90.

Вихідними показниками щодо розрахунків прийнято конструкторську документацію їх технічних проектів. Попередня маршрутна технологія та попереднє технічне нормування виконано на основі конструкторських специфікацій та основних технічних вимог технічного завдання на проєктування, програми та методики проведення параметричних випробувань насосних агрегатів, технічних вимог креслень.

Аналітичний облік витрат на виробництво насосних агрегатів виконано згідно розроблених попередніх маршрутних технологій та проведеного на базі них попереднього нормування використаних основних та допоміжних матеріалів.

Для розрахунку трудових витрат, витрат на утримання та експлуатацію обладнання прийнято умову застосування універсальних металорізальних верстатів, термічного обладнання.

Нормативні показники щодо врахування витрат енергозабезпечення, зворотних відходів, втрат від браку та інших визначено як середньозважені серед промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС).

Цінові показники вартості матеріалів, теплової та електричної енергії, рівень заробітної плати (вартість нормо-години трудомісткості виробництва) прийнято до розрахунку, виходячи з ринкових цін та тарифів на 01.11.2021 року.

Основними статтями витрат, за якими сформовано кошторис є:

- Сировина та матеріали. До витрат, які обліковані за цією статтею, увійшла загальна кількість та вартість використаних основних і допоміжних матеріалів у процесі виготовлення, комплектування, випробування насосних агрегатів. Вони включені прямим розрахунком.

- Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств та організацій. До витрат, які обліковані за цією статтею увійшли витрати на закупівлю комплектуючих виробів з'єднувальних муфт, вузлів кінцевих ущільнень, метизів, приводних електродвигунів, підшипників підшипникових опор, комплектуючих виробів системи змащення підшипникових опор, а також витрати на проведення вхідного контролю якості. Ці витрати враховано прямим розрахунком.

- Паливо та енергія на виробничі цілі. Витрати за цією статтею обраховано за нормативними осередненими показниками, виходячи з переліку використаного обладнання, його установлені електричної потужності, трудомісткості технологічних операцій, а також нормативів використання виробничої площі, чинних на 1.11.2021 року тарифів на теплову енергію, нормативів її споживання, чинних тарифів на електроенергію. Зазначені витрати враховано у відповідній пропорції до розрахункової трудомісткості виробів.

- Зворотні відходи. У зворотні витрати за цією статтею включено вартість витрат щодо збору та утилізації відходів від виконання технологічних

операцій. Їх обраховано як різницю між витратами на збір та утилізацію відходів металу та доходу, отриманого від його продажу як металолому. Зазначені витрати враховано прямим розрахунком.

- Основна заробітна плата виробничих працівників. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з чинного на 1.11.2021 року законодавства, що регулює показники та умови формування заробітної плати працівників, визначеного попередніми маршрутними технологіями кваліфікаційного розряду роботи, а також фактично досягнутого осередненого рівня тарифної ставки 1-го розряду на промислових підприємствах Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Зазначені витрати враховано прямим розрахунком як сума добутків трудомісткості операції, тарифного коефіцієнта розряду робіт та тарифної ставки 1-го розряду.

- Додаткова заробітна плата. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з чинного на 1.11.2021 року законодавства, що регулює показники та умови формування структури заробітної плати працівників, визначеного умовами наказів та положеннями чинних колективних договорів промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Витрати за цією статтею розраховано у відповідній пропорції до розрахункового обсягу статті «Основна заробітна плата» за кожним насосним агрегатом.

- Відрахування на соціальне страхування. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з чинного на 1.11.2021 року законодавства, що регулює соціальний захист та соціальні гарантії найманих працівників. Зазначені витрати розраховано як обсяг додаткового нарахування на заробітну плату та враховано відповідною пропорцією до розрахункового сумарного обсягу статті 06 та 07 за кожним насосним агрегатом.

- Витрати на утримання та експлуатацію обладнання. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» та

середньозважених статистичних показників. промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Витрати за цією статтею розраховано прямим розрахунком за кожним насосним агрегатом.

- Загальновиробничі витрати. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» та середньозважених статистичних показників промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Витрати за цією статтею розраховано у відповідній пропорції до розрахункового обсягу статті «Основна заробітна плата» за кожним насосним агрегатом.

- Витрати від браку. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» та середньозважених статистичних показників промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Витрати за цією статтею розраховано прямим розрахунком за кожним насосним агрегатом.

- Супутна продукція. Витрати за цією статтею мали б бути розраховані виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» та середньозважених статистичних показників промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Однак, розрахунок витрат за цією статтею не проводився і такі витрати не враховано у кошторисі.

- Виробнича собівартість. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості». Витрати за цією статтею

розраховано з урахуванням розрахункових витрат за статтями 01...11 за виразом: $[(01+02+03) - 04] + (05+06+07+08+09+10) - 11$.

- Адміністративні витрати. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» та середньозважених статистичних показників промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Витрати за цією статтею розраховано у відповідній пропорції до розрахункового обсягу статті «Виробнича собівартість» за кожним насосним агрегатом.

- Витрати на збут. Витрати за цією статтею розраховано виходячи з положень «Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» та середньозважених статистичних показників промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Витрати за цією статтею розраховано у відповідній пропорції до розрахункового обсягу статті «Виробнича собівартість» за кожним насосним агрегатом.

- Прибуток. Величину прибутку розраховано, виходячи з середнього рівня норми рентабельності машинобудівної продукції за середньозваженими статистичними показниками промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС). Норму рентабельності прийнято 20 %.

- Відпускна ціна. Величина відпускної ціни має формуватися, виходячи з середньої ринкової ціни. Зважаючи, що зазначені насосні агрегати мають вироблятися та поставлятися на заміну тих насосних агрегатів, які експлуатуються на атомних блоках Українських АЕС, а підприємства-виробники розташовані на території РФ та Казахстану, доцільним є у ціні аналога враховувати всі складові ціноутворення імпортової продукції та спиратися на її величину з урахуванням цих складових і транспортних витрат.

Ціна розрахована з урахуванням розрахункових витрат за кошторисом та рівнем рентабельності 20 % для кожного насосного агрегату.

Результати розрахунків собівартості та цінових показників за кожним насосним агрегатом наведено у таблицях 6.1, - 6.4.

Таблиця 6.1. Розрахунковий кошторис та ціна серійного зразка насосного агрегату АЦНА 600-35

Шифр статті	Найменування статті	Од. виміру	Сума, грн
1	2	3	4
01	Сировина та матеріали	грн	189734
02	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств		186745
03	Паливо та енергія на виробничі цілі	грн	5860
04	Зворотні відходи	грн	800
05	Основна заробітна плата виробничих працівників	грн	28 563
06	Додаткова заробітна плата	грн	2570
07	Відрахування на соціальне страхування	грн	6849
08	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	грн	3260
09	Загальновиробничі витрати	грн	77835
1	2	3	4
10	Втрати від браку	грн	0
11	Супутна продукція	грн	0
12	Виробнича собівартість	грн	500883
13	Адміністративні витрати	грн	110194
14	Витрати на збут	грн	15026
15	Прибуток	грн	125220
16	Відпускна ціна	грн	751326

Таблиця 6.2. Розрахунковий кошторис та ціна серійного зразка насосного агрегату АЦНА 600-35-1

Шифр статті	Найменування статті	Од. виміру	Сума, тис. грн
1	2	3	4
01	Сировина та матеріали	грн	185244
02	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств		186745
03	Паливо та енергія на виробничі цілі	грн	5980
04	Зворотні відходи	грн	800
05	Основна заробітна плата виробничих працівників	грн	28 563
06	Додаткова заробітна плата	грн	2570
07	Відрахування на соціальне страхування	грн	6849
08	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	грн	3260
09	Загальновиробничі витрати	грн	75887
10	Втрати від браку	грн	0
11	Супутна продукція	грн	0
12	Виробнича собівартість	грн	498734
13	Адміністративні витрати	грн	109721
14	Витрати на збут	грн	14962
15	Прибуток	грн	124683
16	Відпускна ціна	грн	748100

Таблиця 6.3. Розрахунковий кошторис та ціна серійного зразка насосного агрегату АЦНА 8-60

Шифр статті	Найменування статті	Од. виміру	Сума, тис. грн
1	2	3	4
01	Сировина та матеріали	грн	37820
02	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств		38900
03	Паливо та енергія на виробничі цілі	грн	4320
04	Зворотні відходи	грн	500
05	Основна заробітна плата виробничих працівників	грн	18047
06	Додаткова заробітна плата	грн	1624
1	2	3	4
07	Відрахування на соціальне страхування	грн	4327
08	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	грн	2890
09	Загальновиробничі витрати	грн	49177
1	2	3	4
10	Втрати від браку	грн	0
11	Супутна продукція	грн	0
12	Виробнича собівартість	грн	156605
13	Адміністративні витрати	грн	31321
14	Витрати на збут	грн	4698
15	Прибуток	грн	38524
16	Відпускна ціна	грн	231148

Таблиця 6.4. Розрахунковий кошторис насосного агрегату АЦНА 45-90

Шифр статті	Найменування статті	Од. виміру	Сума, тис. грн
1	2	3	4
01	Сировина та матеріали	грн	79653
02	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств		82292
03	Паливо та енергія на виробничі цілі	грн	5230
04	Зворотні відходи	грн	650
05	Основна заробітна плата виробничих працівників	грн	23967
06	Додаткова заробітна плата	грн	2157
07	Відрахування на соціальне страхування	грн	5747
08	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	грн	3120
09	Загальновиробничі витрати	грн	65310 154882
10	Втрати від браку	грн	0
11	Супутна продукція	грн	0
12	Виробнича собівартість	грн	220192
13	Адміністративні витрати	грн	48442
14	Витрати на збут	грн	6605
15	Прибуток	грн	55047
16	Відпускна ціна	грн	330286

Цінові показники дослідного зразка розраховуються з урахуванням витрат на підготовку його виробництва.

У витрати щодо підготовки виробництва включено витрати на створення комплекту технологічної документації, що включає розробку технологічних процесів, матеріальне та трудове нормування, проектування та виготовлення спеціального інструменту, верстатного приладдя; підготовчих робіт, пов'язаних з атестацією технології зварювання та її проведенням, розробки проектів та виготовлення модельної оснастки для подальшого виготовлення заготовок методом литва, додаткову розробку планів якості, додаткових витрат з контролю і усунення дефектів литва.

Додатковими витратами є витрати на проектування стенду для параметричних випробувань насосних агрегатів, його побудову; проведення випробувань згідно програми та методики випробувань.

При розрахунках використано поточні цінові показники матеріалів, поточний рівень заробітної плати працівників, які визначено за

середньозваженими статистичними показниками промислових підприємств Сумського регіону насособудівного спрямування (у т. ч. і таких, що виробляють продукцію для потреб АЕС).

Сумарні додаткові витрати, які мають бути враховані при визначенні орієнтовної ціни дослідних зразків насосних агрегатів АЦНА 600-35, АЦНА 600-35-1, АЦНА 8-60, АЦНА 45-90 визначено у табл. 6.5.

Таблиця 6.5. Додаткові витрати, які мають бути враховані при визначенні орієнтовної ціни дослідних зразків насосних агрегатів

Марка насосного агрегату	Додаткові витрати	Орієнтовний обсяг витрат, грн
АЦНА 600-35, АЦНА 600-35-1	Розробка ТД	123 000
	Виготовл. спец інструм.	82 000
	Пров. атестації техн. зварювання	43 000
	Додатков. контроль якості виготовл. деталей та усунення дефектів литва	21 000
	Побудова випроб. стенду, провед. випробувань	74 000
АЦНА 8-60	Розробка ТД	73 000
	Виготовл. спец інструм.	43 000
	Пров. атестації техн. зварювання	22 000
	Додатков. контроль якості виготовл. деталей та усунення дефектів литва	18 000
	Доопрацюв. випроб. стенду, провед. випробувань	36 000
АЦНА 45-90	Розробка ТД	103 000
	Виготовл. спец інструм.	64 000
	Пров. атестації техн. зварювання	36 000
	Додатков. контроль якості виготовл. деталей та усунення дефектів литва	21 000
	Доопрацюв. випроб. стенду, провед. випробувань	39 000

Орієнтовні розрахункові поточні витрати на експлуатацію зазначених насосних агрегатів (включаючи заробітну плату ремонтного персоналу, витрати на додаткові матеріали) мають становити:

- Для насосного агрегату АЦНА 600-35, АЦНА 600-35-1 48 000 грн/рік,
 - Для насосного агрегату АЦНА 8-60 12 000 грн/рік,
- Для насосного агрегату АЦНА 45-90 34 00 грн/рік.

7 ІНФОРМАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНОЇ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ НАЗЕМНИХ ПРИРОДНИХ ТА ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ

7.1 Сучасний стан і тенденції розроблення автономних безпілотних літальних апаратів

Удосконалення засобів радіоелектронної боротьби обумовлює необхідність розроблення кіберзахисених автономних бортових систем безпілотного літального апарату (БПЛА). Однією із важливих функцій автономної бортової системи є розпізнавання наземних природних та інфраструктурних об'єктів. Основним шляхом вирішення цієї надскладної проблеми є застосування ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів. В теперішній час існують всі технічні можливості для оброблення і оперативного аналізу цифрових зображень регіону. Але основним стримуючим фактором впровадження автономних БСР є науково-методологічні ускладнення, обумовлені такими причинами:

- довільні початкові умови формування зображень об'єктів на місцевості, що розпізнаються, обумовлених різними ракурсами аерофотозйомки, висотами літального апарату, положенням і місцезнавеликий обсяг аходженням об'єкту;
- перетин класів розпізнавання, що характеризують зображення об'єктів, в просторі ознак розпізнавання;
- багатовимірність словника ознак і алфвіту класів розпізнавання;
- вплив неконтрольованих факторів, пов'язаних, наприклад, із зміною погодних умов, освітленості, маскуванннм тощо.

Тому актуальною проблемою, на вирішення якої спрямовано науково-технічну розробку (НТР), що виконується на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету, є підвищення функціональної ефективності машинного навчання автономної БСР.

Досягнення поставленої мети в НТР здійснюється шляхом подальшого розвитку створеної в Сумському державному університеті так званої інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності БСР в процесі машинного навчання

Особливо актуальною тема проекту є для України, де існує високий попит на багатофункціональні безпілотні авіаційні комплекси з боку військових, правоохоронних, природоохоронних прикордонних та інших державних структур.

Третій розділ згідно з календарним планом НТР присвячено розробленню власної так званої інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЄІТ) машинного навчання БСР БПЛА для розпізнавання наземних природних та інфраструктурних об'єктів.

Результати наукових досліджень, одержаних виконавцями проекту, опубліковано в працях [7–12].

Безпілотний авіаційний комплекс (БАК) включає безпілотний літальний апарат (БПЛА) та наземні пункти керування (НПК) з необхідними радіоканалами керування та контролю безпілотника. Цей комплекс може охоплювати декілька БПЛА, здійснюючи їх ройове керування.

БПЛА мають різне призначення, зокрема їх широко використовують у військовій справі для проведення розвідки, для корегування ударів по наземних цілях і безпосередньо як ударні.

У праці [14] представлена бортова система технічного зору для автономної посадки квадранотора. Посадочна площадка з різними розмірами оптичних маркерів ретельно розроблена для надійного розпізнавання на різних відстанях. Для забезпечення надійної інформації про посадочну площадку при відмовленні глобальної системи позиціонування GPS реалізований алгоритм комп'ютерного зору Дескриптор SIFT, який виявляє локальні характеристики зображення. Ознаки, що отримані із зображення, можна використовувати для розпізнавання об'єктів на тестовому зображенні,

яке містить інші об'єкти. Для точного розпізнавання потрібно, щоб ознаки які були отримані з початкового зображення можна було розпізнати при зміні освітлення, масштабу зображення та наявності шуму. Такі точки знаходяться на високо контрастних ділянках зображення, наприклад, на межах об'єкту .

Дескриптори на основі SIFT перевершують за продуктивністю інші дескриптори в випадку текстурованих або структурованих зображень, які зазнали зміни масштабу в відношенні від 2 до 2.5 або при повороті від 30 до 45 градусів. SIFT можна використовувати для зшивання зображення для повністю автоматизованого зшивання панорами із декількох зображень.

Як детектори особливих точок часто використовуються алгоритми Harris-Laplace, Hessian-Laplace, Fast Hessian, SUSAN та DoG, серед яких найбільшою оперативністю характеризується Fast Hessian [15]. При цьому фрагменти зображення для більш компактного подання описують числовим вектором, який називають дескриптором локальної ознаки. З точки зору відношення точності та оперативності найбільш ефективними є алгоритми SURF та FREAK. Проте досі не існує формалізованих правил щодо вибору значень порогових параметрів, що відповідають за врахування чи відкидання локальних ознак, та параметрів, що впливають на формування глобального дескриптора зображення.

Відомий досвід застосування автономного БПЛА для обприскування агрокультур, що є важливим для точного застосування пестицидів. Наприклад, у праці [16] розглядається система машинного навчання БПЛА, яка має переваги високої обчислювальної швидкості та відносно високої точності для розпізнавання ділянок розпилення та нерозпилення для обприскувачів. Система машинного навчання була розроблена із використанням методу взаємного підпростору (MSM) для зображень, отриманих за результатами авіарозвідки з використанням БПЛА. Зображення були зібрані з низьких (5 м) і великих (15 м) висот для посівів та садів відповідно. Польові експерименти проводились у цільових районах для навчання та тестування системи за допомогою комерційного БПЛА із вбудованою камерою 4К. В автономній

системі розпізнавання було отримано 74,4% точності для класифікаторів при розпізнаванні розпорошених та нерозпилюваних ділянок для посівів. Час обчислень для системи онлайн-розпізнавання був в середньому 0,0031 с для розпізнавання класифікатора..

Успіхи в розпізнаванні морських об'єктів різко зросли, особливо за останнє десятиліття. У праці [17] наведено огляд застосування методів глибокого машинного навчання нейромереж для розпізнавання БПЛА як надводних, так і підводних об'єктів. Для машинного навчання використано згорткові нейронні мережі (CNN), мережі глибоких переконань (DBN) та автокодер (AE) тощо. Відповідно ретельно збираються набори популярних / базових даних для розпізнавання морських об'єктів і всебічно аналізуються методології глибокого навчання з інтенсивним порівнянням.

У праці [18] розглянуто приклади застосування БПЛА для управління активами цивільної інфраструктури. Кілька прикладів включають планові інспекції мостів, управління катастрофами, спостереження за лініями електропередач та обстеження руху. В праці детально описано процедуру машинного навчання згорткових нейронних мереж (CNN) на наборі аерофотознімків для ефективного та автоматизованого розпізнавання об'єктів. Результати розпізнавання об'єктів показують, що, вибравши належний набір параметрів, CNN може виявляти та класифікувати об'єкти з високим рівнем точності (97,5%) та обчислювальною ефективністю.

Безпілотні літальні апарати широко використовують у військовій справі для проведення розвідки, для корегування ударів по наземних цілях і безпосередньо як ударні [19]. Розглянемо характеристики БАК основних світових виробників. Зовнішній вигляд розвідувально-ударного БПЛА MQ-9 Reaper (США) показано на рисунку 7.1 [20].



Рисунок 7.1 – Зовнішній вигляд БПЛА MQ-9 Reaper

Безпілотник може знаходитися в повітрі до 27 годин, підійматися на висоту до 15 000м, розвивати швидкість понад 400 кілометрів на годину і має вантажопідйомність до 1700кг. Оптично електрична система спостереження та наведення AN/AAS-52 має в своєму складі оптичну камеру видимого діапазону та камеру інфрачервоного діапазону, телевізійну систему на основі фотомноження і лазерний дальномір-цілевказівник, призначений для наведення систем озброєння. Присутній також радар із синтезованою апертурою, призначений для наведення керованих бомб типу JDAM і датчик руху мети.

Зовнішній вигляд турецького розвідувально-ударного безпілотного апарату Байрактар ТБ2, розробленого компанією Baykar Makina, зображено на рис. 7.2 [21].



Рисунок 7.2 – Зовнішній вигляд БПЛА Байрактар ТБ2

Керування апаратом і використанням зброї відбувається з наземної станції. Апарат оснащений двигуном внутрішнього згорання потужністю 100 к.с. і має максимальну швидкість польоту 222 км/год, максимальну висоту до 8200 м, вантажопідйомність 55 кг і радіус дії 150 км. Апарат має декілька відеокамер і систему спостереження, що дозволяє використовувати його як розвідника. Крім того, він може нести на борту дві керовані протитанкові ракети і боєприпаси з лазерним наведенням

Як відомо в теперішній час в США розробляється перспективний БАК з умовною назвою GS-2, основною перевагою якого буде наявність автономної БСР. Завершення цього проекту планується в 2030 році. Цей факт підтверджує актуальність розроблення автономних БСР на основі машинного навчання та розпізнавання образів.

Розпізнавання наземних рухомих і нерухомих об'єктів в праці [22] вирішується у два етапи. Спочатку бортова система розпізнавання (БСР) за оптико-електронним каналом визначає кадр зони інтересу, в якому з великою ймовірністю може знаходитися об'єкт, який розшукується. Такою зоною інтересу, наприклад, для виявлення наземного транспортного засобу звичайно є автомагістраль або інша дорога. На другому етапі кожний об'єкт, який

знаходиться в кадрі зони інтересу, порівнюється з об'єктами, сформованими на етапі машинного навчання БСР. При цьому функціональна ефективність машинного навчання БСР, основними складовими якої є достовірність і оперативність вирішальних правил, суттєво залежить від метода машинного навчання БСР.

Оскільки при аналізі цифрових зображень виникає необхідність оброблення великих обсягів даних, то в праці [23] розглядається розпізнавання наземних об'єктів із застосуванням екстракторів даних, побудованих на згорткових нейронних мережах. Ідея застосування екстракторів полягає в розбитті структурованих вхідних даних на приблизно однакові за обсягом групи. Дані із кожної групи подаються на згорткові нейронні мережі – екстрактори, які здійснюють кодування відповідних груп даних і утворені кодові комбінації подають на входи наступного шару екстракторів і так до тих пір, поки на вхід бортового класифікатора не поступить розрахований для нього обсяг даних. Такий підхід дозволяє зменшити потужність словника ознак розпізнавання на вході бортової системи розпізнавання, але призводить до втрати інформації при її стисканні.

Застосування традиційних методів інтелектуального аналізу даних Data Mining, включаючи штучні нейронні мережі [24], для інформаційного синтезу БСР для пошуку об'єктів на місцевості не завжди забезпечує успішне розв'язання задачі через такі науково-методологічні обмеження:

- довільні початкові умови формування зображень об'єктів на місцевості, що розпізнаються, обумовлених різними ракурсами аерофотозйомки, висотами літального апарату, положенням і місцезналезнам об'єкту;
- перетин класів розпізнавання, що характеризують зображення об'єктів, в просторі ознак розпізнавання;
- багатовимірність словника ознак і алфавіту класів розпізнавання;
- вплив неконтрольованих факторів, пов'язаних, наприклад, із зміною погодних умов, освітленості, маскуванню тощо.

Одним з перспективних підходів до аналізу та синтезу БСР об'єктів на місцевості є використання ідей та методів вітчизняної так званої інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології), яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її машинного навчання [25, 26]. Основна ідея методів ІЕІ-технології як і в штучних нейронних мережах полягає в адаптації в процесі машинного навчання вхідного математичного опису до максимальної повної ймовірності прийняття правильних класифікаційних рішень. Але основна перевага методів інформаційно-екстремального машинного навчання полягає в тому, що вони на відміну від нейроподібних структур розробляються в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів, притаманних людині при формуванні та прийнятті класифікаційних рішень, тобто безпосередньо моделюють природний механізм прийняття рішень. Такий підхід на відміну від структурних методів дозволяє методам інформаційно-екстремального машинного навчання надати гнучкість при перенавчанні системи через розширення алфавіту класів розпізнавання. Крім того, побудова в рамках геометричного підходу вирішальних правил практично вирішує проблему багатовимірності словника ознак розпізнавання, оскільки сучасні комп'ютери здатні обробляти структуровані вектори, які складаються з 2^{85} ознак розпізнавання.

Таким чином, можна зробити висновки:

1. Сучасні БПЛА провідних у світі розробників все ще використовуються як транслятори зображень наземних об'єктів, які аналізуються операторами наземних станцій керування з метою розв'язання відповідних задач.

2. Орієнтація на глобальні і локальні мережі GPS робить БПЛА слабо захищеним від засобів радіоелектронної протидії і створює сприятливі умови для організації вторгнень і кібератак, що гостро потребує вирішення проблеми надання бортовим системам властивості автономного функціонування.

3. З метою розширення функціональних можливостей БАК та їх захищеності актуальною задачею є створення автономних БСР наземних природних, інфраструктурних та інших малогабаритних об'єктів на основі сучасних методів інтелектуального аналізу даних. Крім того, розв'язання цієї задачі дозволить підвищити функціональну ефективність бортової системи для розпізнавання навігаційних перешкод і повітряних загроз.

7.2 Аналіз методів машинного навчання

Для розв'язання задач розпізнавання зображень широко використовуються штучні нейронні мережі (ШНМ) [27, 28]. На рисунку 7.3 показано типову структуру ШНМ із зворотного поширення помилки (Back propagation), побудованої на базі багатошарового перцептрона з одним прихованим шаром,

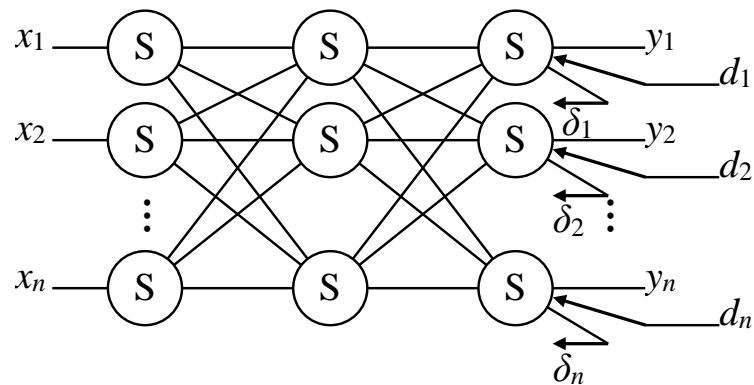


Рисунок 7.3 – Структурна схема нейромережевої системи розпізнавання

Результати, наведені нижче, відповідають методиці, запропонованій у роботі [29]. Зокрема, на рисунку 7.3 нульовий шар виконує розподільні функції. Вхідний сигнал проходить через нього до нейронів прихованого шару. Кожен нейрон наступних шарів видає сигнали y_i і помилки $\delta_i = y_i - d_i$, де d_i ідеальне значення вихідного сигналу. Нейронна мережа добре апроксимує нелінійні залежності і стійка до шумів в навчальних даних. Кількість нейронів

вихідного шару визначалася кількістю діагностичних ознак, вихідного шару – кількістю діагностованих технічних станів. Згідно із загальноприйнятим евристичним правилом, початкова кількість нейронів в прихованому шарі дорівнює напівсумі числа вхідних і вихідних нейронів мережі [30].

Машинне навчання ШНМ здійснюється за концепцією навчання з учителем. На основі вбудованих знань учитель формує і передає ШНМ бажаний відгук, який відповідає цьому вхідному сигналу. Цей результат представляє собою оптимальні дії, які повинна виконати ШНМ. Після закінчення навчання концепцію вчителя відключають, і нейронна мережа працює самостійно. Машинне навчання здійснювалося за алгоритмом зворотного поширення помилки. При цьому синаптичні ваги налаштовувалися з метою максимального наближення вихідного сигналу мережі до бажаного. Активаційна функція - експоненціальна сигмоїда, що відповідає вимозі диференціації функції.

Недоліками розпізнавання зображень є те що, ШНМ за умов варіативної невизначеності може давати різну збіжність, нездатність вирішувати задачі на обчислення і приймати рішення у декілька етапів. Але головний недолік нейроподібних структур полягає в залежності їх функціональної ефективності, основними складовими якої є достовірність і оперативність, від багатовимірності простору діагностичних ознак і алфавіту класів розпізнавання, що має місце при функціональному діагностуванні. Крім того, ШНМ притаманний для структурних методів розпізнавання недолік – негнучкість при перенавчанні системи при розширенні словника діагностичних ознак і алфавіту класів розпізнавання.

Одним з напрямків підвищення достовірності та оперативності розпізнавання технічного стану об'єкта є використання технології нечітких систем [31–34]. Але при цьому варто зазначити, що областю застосування нечітких методів подання та виведення знань є системи з якісними шкалами виміру діагностичних ознак. При функціональному діагностуванні в основному використовуються кількісні шкали виміру. Оскільки функція

належності Заде є аналогом функції щільності ймовірностей, то методи багатовимірного статистичного аналізу є більш придатними для використання в задачах діагностування через їх добре розвинений математичний апарат

Аналіз існуючих методів штучного інтелекту, як нечітка логіка та генетичні алгоритми показав, що вони носять модельний характер, оскільки не враховуються реальні умови експлуатації та перетин класів розпізнавання в просторі діагностичних ознак.

Одним із перспективних шляхів аналізу та синтезу здатних навчатися систем розпізнавання є використання ідей і методів так званої інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІТ) аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи розпізнавання в процесі її машинного навчання [25, 26]. Основна ідея машинного навчання у рамках ІЕІ-технології полягає в трансформації апріорного у загальному випадку нечіткого розбиття простору ознак у чітке розбиття шляхом оптимізації параметрів функціонування системи розпізнавання за інформаційним критерієм. Особливістю методів ІЕІ-технології є те, що трансформація вхідного нечіткого розподілу реалізацій образів в чітке здійснюється в процесі оптимізації системи контрольних допусків, що приводить до цілеспрямованої зміни значень ознак розпізнавання і дозволяє побудувати безпомилкові за багатовимірною навчальною матрицею вирішальні правила. Одночасно на кожному кроці машинного навчання відбувається відновлення в радіальному базисі бінарного простору ознак контейнерів класів розпізнавання. Методи ІЕІТ і нейроподібні структури мають однакову парадигму – адаптація вхідного математичного опису до максимальної повної достовірності прийняття правильних класифікаційних рішень. Принципова відмінність полягає в тому, що алгоритми методів інформаційно-екстремального машинного навчання розробляються в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів, притаманних людині при формуванні та прийнятті класифікаційних рішень. Цей факт забезпечує системам розпізнавання, синтезованим на основі

інформаційно-екстремального машинного навчання, властивості адаптивності до реальних умов формування вхідного математичного опису і гнучкості перенавчання при розширенні алфавіту класів розпізнавання. Оскільки вирішальні правила, сформовані за результатами інформаційно-екстремального машинного навчання, будуються в рамках геометричного підходу, то вони є практично інваріантними до багато вимірності простору діагностичних ознак. Крім того, такі вирішальні правила характеризуються мінімальною обчислювальною трудомісткістю, що дозволяє приймати класифікаційні рішення в реальному темпі часу.

7.3 Формалізована постановка задачі інформаційного синтезу автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів

Розглянемо формалізовану постановку завдання інформаційного синтезу здатної навчатися БСР в рамках ІЕІТ. Нехай дано алфавіт $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$ класів розпізнавання, що характеризують можливі наземні об'єкти, і навчальну матрицю типу «об'єкт – властивість» $\|y_{m,i}^{(j)}\|, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}$, де N, n – кількість ознак розпізнавання та структурованих векторів ознак класів розпізнавання відповідно. Водночас рядок матриці $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$ визначає j -у реалізацію, а стовпчик $\{y_{m,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$ – навчальну випадкову вибірку значень i -ї ознаки. Відомо, що концепція ІЕІ-технології полягає в перетворенні вхідної навчальної матриці Y на робочу бінарну матрицю X , яка способом допустимих перетворень у процесі машинного навчання адаптується до максимальної повної ймовірності прийняття правильних класифікаційних рішень. Тому для бінарного простору Хеммінга задамо множину $\{g_m\}$ структурованих векторів параметрів функціонування, що впливають на функціональну ефективність машинного навчання БСР. У подальшому такі параметри функціонування будемо

називати параметрами машинного навчання. Вектор параметрів машинного навчання бортової системи розпізнавати реалізації класу X_m^o наведемо у вигляді структури

$$g = \langle g_1, \dots, g_{\xi_1}, \dots, g_{\Xi_1}, f_1, \dots, f_{\xi_2}, \dots, f_{\Xi_2} \rangle, \quad \Xi_1 + \Xi_2 = \Xi, \quad (7.1)$$

де $\langle g_1, \dots, g_{\xi_1}, \dots, g_{\Xi_1} \rangle$ – генотипні параметри функціонування, що впливають на параметри розподілу реалізацій класу розпізнавання;
 $\langle f_1, \dots, f_{\xi_2}, \dots, f_{\Xi_2} \rangle$ – фенотипні параметри функціонування, що впливають на геометрію контейнерів класів розпізнавання, відновлюваних в радіальному базисі простору ознак.

Водночас відомі обмеження на відповідні параметри машинного навчання:

$$R_{\xi_1}(g_1, \dots, g_{\xi_1}, \dots, g_{\Xi_1}) \leq 0, \quad R_{\xi_2}(f_1, \dots, f_{\xi_2}, \dots, f_{\Xi_2}) \leq 0.$$

Необхідно:

1) визначити оптимальні значення параметрів машинного навчання (9) $\{g_{\xi}^* \mid \xi = \overline{1, \Xi_1 + \Xi_2}\}$, що забезпечують максимум усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{G_E \cap \{k\}} E_m^{(k)}, \quad (7.2)$$

де $E_m^{(k)}$ – інформаційний критерій оптимізації параметрів машинного навчання бортової системи розпізнавати реалізації класу X_m^o , значення якого обчислено на k -му кроці машинного навчання;
 G_E – допустима область визначення функції інформаційного критерію оптимізації, що далі називатимемо робочою областю;

$\{k\}$ – упорядкована множина кроків машинного навчання (відновлення контейнерів класів розпізнавання в радіальному базисі бінарного простору ознак);

2) для апріорно класифікованого нечіткого розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ побудувати шляхом допустимих перетворень у субпарацептуальному бінарному просторі ознак розпізнавання Хеммінга оптимальне (тут і далі в роботі в інформаційному розумінні) чітке розбиття класів розпізнавання $\mathfrak{R}^{|M|}$, на основі якого сформувані безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила;

3) на етапі екзамену для перевірки функціональної ефективності машинного навчання прийняти рішення про належність реалізації образу, що розпізнається, до одного з класів заданого алфавіту $\{X_m^o\}$.

Таким чином, завдання інформаційного синтезу здатної навчатися БСР зводиться до оптимізації в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання параметрів функціонування (9) за інформаційним критерієм (10) та прийняття в режимі екзамену класифікаційного рішення за побудованими на етапі навчання вирішальними правилами.

7.4 Основні положення інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних

Ідея інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання образів полягає в адаптації вхідного математичного опису до максимальної достовірності класифікації біосигналів з метою формування відповідних керуючих команд для виконуючих пристроїв. При цьому трансформація вхідного апріорно нечіткого розподілу реалізацій образів в чітке здійснюється під час оптимізації за інформаційним критерієм параметрів машинного навчання, які впливають на точнісні характеристики

класифікаційних рішень. Оптимальні геометричні параметри контейнерів, одержані в процесі машинного навчання дозволяють на екзамені приймати рішення за відносно простими детермінованими вирішальними правилами, що важливо при реалізації алгоритмів прийняття рішень в реальному темпі часу.

Основним етапом формування вхідного математичного опису, здатної навчатися за ІЕІ-технологією, системи керування біонічною кінцівкою руки є створення тривимірної навчальної матриці $\| y_{m,i}^{(j)} / m = \overline{1, M}; i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n} \|$ типу «об'єкт-властивість». При цьому необхідно визначити:

- 1) словник ознак і алфавіт класів розпізнавання;
- 2) мінімальний обсяг репрезентативної навчальної матриці;
- 3) нормовані допуски на ознаки розпізнавання, які задають область значень для системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання;
- 4) сформувані робочу бінарну навчальну матрицю $\| x_{m,i}^{(j)} \|$, яка в процесі машинного навчання адаптується до максимальної повної ймовірності прийняття правильних класифікаційних рішень;
- 5) визначити нормоване поле допусків δ_H на яскравості ознак розпізнавання, яке визначає область значень поля контрольних допусків;
- 6) визначити рівень селекції ρ_m координат усередненого двійкового вектора-реалізації класу розпізнавання X_m^o , який є рівнем квантування реалізацій вхідної навчальної матриці. За замовчуванням звичайно приймається $\rho_m = 0,5$.

Згідно з принципом відкладених рішень побудова вирішальних правил в рамках ІЕІ-технології здійснюється за багатоциклічною ітераційною процедурою пошуку максимального граничного, усередненого за алфавітом $\{ X_m^o | m = \overline{1, M} \}$ інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання:

$$g_{\xi}^* = \arg \max_{G_{\xi}} \{ \max_{G_{\xi-1}} \{ \dots \{ \max_{G_1 \cap G_E} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M E_m \} \dots \} \}, \quad (7.3)$$

де E_m – інформаційний критерій оптимізації параметрів машинного навчання;

G_{ξ} – допустима область значень ξ -го параметра машинного навчання;

G_E – робоча (допустима) область визначення функції інформаційного критерію.

У процедурі (7.2) внутрішній цикл реалізує так званий базовий алгоритм, призначенням якого є:

- 1) обчислення на кожному кроці машинного навчання інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання ;
- 2) пошук глобального максимуму функції інформаційного критерію (10)
- 3) визначення оптимальних геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання, які відновлюються в радіальному базисі простору ознак.

На алгоритм машинного навчання (7.2) накладаються наступні обмеження [25]:

$$\begin{aligned} & (\forall X_m^o \in \mathfrak{R}^{|M|}) [X_m^o \neq \emptyset]; \\ & (\exists X_m^o \in \mathfrak{R}^{|M|}) (\exists X_c^o \in \mathfrak{R}^{|M|}) [X_m^o \neq X_c^o \rightarrow X_m^o \cap X_c^o \neq \emptyset]; \\ & (\forall X_m^o \in \mathfrak{R}^{|M|}) (\forall X_c^o \in \mathfrak{R}^{|M|}) [X_m^o \neq X_c^o \rightarrow \text{Ker} X_m^o \cap \text{Ker} X_c^o = \emptyset]; \\ & (\forall X_k^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}) (\forall X_l^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}) [X_k^o \neq X_l^o \rightarrow (d_k^* < d(x_k \oplus x_l)) \& (d_l^* < d(x_k \oplus x_l))]; \\ & X_m^o / m \neq c; m, c = \overline{1, M}, \end{aligned} \quad (7.4)$$

де $\mathfrak{R}^{|M|}$ – в загальному випадку нечітке розбиття простору ознак на класи розпізнавання;

$\text{Ker} X_m^o, \text{Ker} X_c^o$ – ядра класів X_m^o і X_c^o , які є найближчими сусідами;

d_k^* – оптимальний радіус контейнера класу розпізнавання X_k^o ;

d_l^* – оптимальний радіус контейнера найближчого сусіднього класу розпізнавання X_l^o .

Таким чином, умови (7.4) допускають перетин класів розпізнавання, але не допускають перетину їх ядер, щоб не було поглинання одним класом розпізнавання найближчих своїх сусідів.

У бінарному просторі ознак Ω формою оптимального контейнера класу розпізнавання є гіперпаралелепіпед. З метою узагальнення та зручності побудови такого контейнера припускається існування “псевдогіперсфери”, яка описує гіперпаралелепіпед, тобто містить усі його вершини. Це дозволяє далі розглядати такі параметри оптимізації контейнера в радіальному базисі простору ознак Ω , як усереднений вектор x_m ознак класу розпізнавання X_m^o , вершина якого визначає геометричний центр контейнера, і радіус псевдосферичного контейнера, котрий визначається у просторі Хеммінга за формулою

$$d_m = \sum_{i=1}^N (x_{m,i} \oplus \lambda_i), \quad (7.5)$$

де $x_{m,i}$ – i -та координата усередненого вектора x_m ;

λ_i – i -та координата деякого вектора λ , вершина якого належить контейнеру класу розпізнавання X_m^o .

За ІЕІТ відновлення в радіальному базисі простору ознак контейнера класу розпізнавання X_m^o здійснюється шляхом цілеспрямованого збільшення його радіусу d_m на кожному кроці машинного навчання.

Алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання полягає в реалізації багатоциклічної ітераційної процедури оптимізації структурованих просторово-часових параметрів функціонування системи керування шляхом пошуку глобального максимуму усередненого за алфавітом $\{X_m^o\}$ значення інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання. При цьому внутрішні цикли оптимізують фенотипні параметри навчання, які безпосередньо впливають на геометричну форму контейнерів класів розпізнавання та їх положення в бінарному просторі Хеммінга. Приклад таких параметрів – це радіуси гіперсферичних контейнерів, та усереднені вектори реалізації класу розпізнавання, вершини яких визначають геометричні центри контейнерів. До генотипних відносять параметри навчання, які прямо впливають на розподіл реалізацій класу (наприклад, контрольні допуски на ознаки розпізнавання, рівні селекції координат еталонних двійкових векторів, параметри оптимізації словника ознак, плану навчання, параметри впливу середовища тощо).

Оптимізація кожного із цих параметрів дозволяє збільшувати максимальне значення інформаційного критерію оптимізації параметрів навчання, що підвищує повну ймовірність правильного прийняття рішень на екзамені.

Обов'язковою процедурою алгоритму навчання за ІЕІ-технологією є оптимізація контрольних допусків, величина яких безпосередньо впливає на значення відповідних ознак розпізнавання, а так само і на параметри розподілу реалізацій образу.

Детерміновані вирішальні правила будуються на основі одержаних в процесі інформаційно-екстремального навчання оптимальних, в інформаційномірному розумінні, геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання.

Таким чином, інформаційно-екстремальне машинне навчання може розглядатися як процес дефазифікації вхідного нечіткого подання даних. Використання на екзамені побудованих в рамках геометричного підходу

вирішальних правил дозволяє приймати високо достовірні рішення в реальному темпі часу. При цьому повна достовірність класифікатора наближається до максимальної асимптотичної, яка визначає функціональну ефективність машинного навчання.

7.5 Оцінка функціональної ефективності інформаційно-екстремального машинного навчання

Центральним питанням інформаційного синтезу здатної навчатися системи розпізнавання є оцінювання функціональної ефективності процесу машинного навчання, основними критеріями якої є достовірність та оперативність класифікаційних рішень. Як критерії оптимізації параметрів машинного навчання в методах ІЕІТ можуть використовувати різні критерії, що задовольняють такі властивості інформаційної міри:

- інформаційна міра є дійсна і знакододатна функція від ймовірності;
- кількість інформації для детермінованих подій ($p_i = 1$ або $p_i = 0$) дорівнює нулю;

- інформаційна міра має екстремум за значення ймовірності $p_i = \frac{1}{m}$, де

m – кількість якісних ознак розпізнавання;

- сумісна інформаційна міра двох незалежних повідомлень дорівнює сумі їх відповідних інформаційних мір.

Серед інформаційних мір для оцінювання функціональної ефективності машинного навчання системи розпізнавання перевагу варто віддавати статистичним логарифмічним критеріям, що дозволяють працювати з порівняно малими навчальними вибірками. Серед таких критеріїв найчастіше використовуються ентропійні міри Шеннона та інформаційна міра Кульбака.

Представимо нормований ентропійний критерій оптимізації параметрів машинного навчання системи розпізнавати реалізації класу X_m^o у вигляді

$$E_m^{(k)} = \frac{I_m^{(k)}}{I_{\max}^{(k)}} = \frac{H_m^{(k)} - H_m^{(k)}(\gamma)}{H_m^{(k)}}, \quad (7.6)$$

де $I_m^{(k)}$ – кількість умовної інформації, оброблюваної на k -му кроці машинного навчання системи розпізнавати вектори ознак класу X_m^o ;
 $I_{\max}^{(k)}$ – максимальна кількість умовної інформації, одержаної на k -му кроці машинного навчання;

$$H_m^{(k)} = -\sum_{l=1}^M p(\gamma_{l,k}) \log_2 p(\gamma_{l,k}) - \quad (7.7)$$

апостеріорна (безумовна) ентропія, яка характеризує невизначеність на k -му кроці машинного навчання системи розпізнавати вектори ознак класу X_m^o ;

$$H_m^{(k)} = -\sum_{l=1}^M \sum_{m=1}^M p(\gamma_{l,k}) p(\mu_{m,k} / \gamma_{l,k}) \log_2 p(\mu_{m,k} / \gamma_{l,k}) - \quad (7.8)$$

апостеріорна (умовна) ентропія, що характеризує залишкову невизначеність після k -го кроку навчання системи розпізнавати вектори ознак розпізнавання класу X_m^o ;

$p(\gamma_{l,k})$ – безумовна ймовірність прийняття на k -му кроці машинного навчання гіпотези $\gamma_{l,k}$;

$p(\mu_{m,k} / \gamma_{l,k})$ – апостеріорна ймовірність прийняття на k -му кроці машинного навчання рішення $\mu_{m,k}$ за умови, що прийнята гіпотеза $\gamma_{l,k}$.

Для двохальтернативної системи оцінювань ($M = 2$) і рівноймовірних гіпотез, що характеризує згідно з принципом Бернуллі – Лапласа найбільш

важкий у статистичному розумінні випадок прийняття рішень, після відповідної підстановки ентропій (7.6) і (7.7) у вираз (7.6) та заміни за формулою Байєса відповідних апостеріорних ймовірностей на апіорні критерій (7.6) набуває вигляду

$$\begin{aligned}
 E_m^{(k)} = 1 + \frac{1}{2} & \left(\frac{\alpha_m^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{\alpha_m^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} + \right. \\
 & + \frac{\beta_m^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \log_2 \frac{\beta_m^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} + \\
 & + \frac{D_{1,m}^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \log_2 \frac{D_{1,m}^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} + \\
 & \left. + \frac{D_{2,m}^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{D_{2,m}^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \right), \quad (7.9)
 \end{aligned}$$

де $\alpha_m^{(k)}(d)$ – помилка першого роду прийняття рішення на k -му кроці машинного навчання;

$\beta_m^{(k)}(d)$ – помилка другого роду;

$D_{1,m}^{(k)}(d)$ – перша достовірність;

$D_{2,m}^{(k)}(d)$ – друга достовірність;

d – дистанційна міра, яка визначає радіуси гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, побудованих в радіальному базисі бінарного простору Хеммінга.

Оскільки точнісні характеристики є функціями відстані роздільної гіперповерхні від геометричних центрів контейнерів відповідних класів розпізнавання, то критерій (14) потрібно розглядати як нелінійний і взаємно-неоднозначний функціонал від точнісних характеристик, що потребує

перебування в процесі машинного навчання робочої (допустимої) області його визначення.

Розглянемо процедуру обчислення в практичних задачах критерію (7.9). Оскільки інформаційний критерій є функціоналом від точнісних характеристик, то за репрезентативного обсягу навчальної вибірки необхідно користуватися їх оцінками:

$$\begin{aligned} D_{1,m}^{(k)}(d) &= \frac{K_{1,m}^{(k)}(d)}{n_{\min}}; & \alpha_m^{(k)}(d) &= \frac{K_{2,m}^{(k)}(d)}{n_{\min}}; \\ \beta_m^{(k)}(d) &= \frac{K_{3,m}^{(k)}(d)}{n_{\min}}; & D_{2,m}^{(k)}(d) &= \frac{K_{4,m}^{(k)}(d)}{n_{\min}}, \end{aligned} \quad (7.10)$$

де $K_{1,m}^{(k)}(d)$ – кількість подій, які означають належність “своїх” векторів

ознак розпізнавання класу X_m^o ;

$K_{2,m}^{(k)}(d)$ – кількість подій, які означають неналежність “своїх” векторів

ознак розпізнавання класу X_m^o ;

$K_{3,m}^{(k)}(d)$ – кількість подій, які означають належність “чужих” векторів

ознак розпізнавання класу X_m^o ;

$K_{4,m}^{(k)}(d)$ – кількість подій, які означають неналежність “чужих” векторів

ознак розпізнавання класу X_m^o ;

n_{\min} – мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки, який визначається за методом, запропонованим у праці авторів [25].

Після підставлення відповідних позначень (7.10) у вираз (7.9) одержимо робочу формулу для обчислення в рамках ІЕІТ ентропійного критерію

оптимізації параметрів машинного навчання системи розпізнавати структуровані вектори ознак класу X_m^o :

$$\begin{aligned}
 E_m^{(k)} = 1 + \frac{1}{2} & \left(\frac{K_{1,m}^{(k)}(d)}{K_{1,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{K_{1,m}^{(k)}(d)}{K_{1,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d)} + \right. \\
 & + \frac{K_{2,m}^{(k)}(d)}{K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{4,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{K_{2,m}^{(k)}(d)}{K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{4,m}^{(k)}(d)} + \\
 & + \frac{K_{3,m}^{(k)}(d)}{K_{1,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{K_{3,m}^{(k)}(d)}{K_{1,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d)} + \\
 & \left. + \frac{K_{4,m}^{(k)}(d)}{K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{4,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{K_{4,m}^{(k)}(d)}{K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{4,m}^{(k)}(d)} \right). \quad (7.11)
 \end{aligned}$$

У праці авторів проекту [25] запропоновано модифікацію диференціальної інформаційної міри Кульбака, яка подається як добуток відношення правдоподібності на міру відхилень відповідних розподілів імовірностей. Для двохальтернативних апріорно рівноймовірних рішень модифікований критерій Кульбака, який обчислюється на k -му кроці машинного навчання системи розпізнавати реалізації класу X_m^o , має вигляд

$$E_m^{(k)} = \log_2 \left(\frac{2 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d))}{\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \right) * \left[1 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)) \right]. \quad (7.12)$$

Нормована форма критерію (7.12) має вигляд

$$E_{K,m}^{(k)} = \frac{E_{K,m}^{(k)}}{E_{K,\max}^{(k)}}, \quad (7.13)$$

де $E_{K_{\max}}^{(k)}$ – значення інформаційного критерію () при

$$D_{1,m}^{(k)}(d) = D_{2,m}^{(k)}(d) = 1 \quad \text{і} \quad \alpha_m^{(k)}(d) = \beta_m^{(k)}(d) = 0.$$

Робоча модифікація критерію (7.11) після відповідного підставлення оцінок (7.10) набуває вигляду

$$E_m^{(k)} = \frac{[n - (K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d))]}{n} \log_2 \left\{ \frac{2n + 10^{-r} - [K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d)]}{[K_{2,m}^{(k)}(d) + K_{3,m}^{(k)}(d)] + 10^{-r}} \right\}, \quad (7.14)$$

де 10^{-r} – достатньо мале число, яке вводиться для уникнення поділу на нуль;
 r – число, яке рекомендується на практиці вибирати з інтервалу
 $1 < r \leq 3$.

Розглянемо схему обчислення змінних $K_1^{(k)} - K_4^{(k)}$ у формулах (7.11) і (7.14). Нехай навчальна матриця складається з векторів реалізацій двох найближчих сусідніх класів розпізнавання: $\{x_1^{(j)}\} \in X_1^o$ і $\{x_2^{(j)}\} \in X_2^o$.

Алгоритм обчислення змінних $K_1^{(k)} - K_4^{(k)}$ має такий вигляд у предикатній формі:

$$\begin{aligned} & (\forall X_1^o \in \mathfrak{R}^{|\Lambda|}) (\forall X_2^o \in \mathfrak{R}^{|\Lambda|}) [\text{if } x_1^{(j)} \in X_1 \text{ then} \\ & \quad K_1(j) := K_1(j-1) + 1 \text{ else } K_2(j-1) + 1], \\ & (\forall X_1^o \in \mathfrak{R}^{|\Lambda|}) (\forall X_2^o \in \mathfrak{R}^{|\Lambda|}) [\text{if } x_2^{(j)} \in X_1 \text{ then} \\ & \quad K_3(j) := K_3(j-1) + 1 \text{ else } K_4(j) := K_4(j-1) + 1]. \end{aligned}$$

Водночас визначення належності, наприклад, вектора $x_m^{(j)}$ до свого класу здійснюється за таким правилом

1) обчислюється кодова відстань $d[x_m \oplus x_m^{(j)}]$;

2) якщо

$$d[x_m \oplus x_m^{(j)}] \leq d_m,$$

то $x_m^{(j)} \in X_m^o$, інакше – $x_m^{(j)} \notin X_m^o$.

Таким чином, інформаційні критерії (7.9) і (7.12) є функціоналами як від точнісних характеристик класифікаційних рішень, так і від дистанційних критеріїв, що дозволяє їх вважати загальними критеріями валідності машинного навчання, оскільки вони є узагальненням відомих статистичних і детермінованих (дистанційних) критеріїв близькості.

7.6 Формування вхідного математичного опису автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів

Вхідний математичний опис БСР складається із:

- 1) словника ознак розпізнавання;
- 2) алфавіту класів розпізнавання, потужність якого визначається кількістю об'єктів розпізнавання;
- 3) вхідної тривимірної навчальної матриці яскравості пікселів рецепторного поля кадрів зображення $\| y_{m,i}^{(j)} \| m = \overline{1, M}; i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n} \|$;
- 4) робочої бінарної навчальної матриці $\| x_{m,i}^{(j)} \|$, яка в процесі машинного навчання адаптується до максимальної повної ймовірності прийняття правильних класифікаційних рішень;
- 5) нормованого поля допусків δ_H на яскравості ознак розпізнавання, яке визначає область значень параметра δ поля контрольних допусків;
- 6) заданого рівня селекції ρ_m координат усередненого двійкового вектора-реалізації класу розпізнавання X_m^o , який є рівнем квантування

реалізацій вхідної навчальної матриці. За замовчуванням приймається $\rho_m = 0,5$.

Вхідний математичний опис системи розпізнавання залежить від глибини інформаційно-екстремального машинного навчання. Мінімальна структура вхідного математичного опису представляється у вигляді теоретико-множинної структури

$$I_B = \langle G, T, \Omega, Z, Y, X; f_1, f_2 \rangle, \quad (7.15)$$

де G – множина факторів, які впливають на БСР;

T – множина моментів часу одержання інформації;

Ω – простір ознак розпізнавання;

Z – простір станів системи, (алфавіт класів розпізнавання);

Y – вхідна навчальна матриця яскравості пікселів кадру зображення;

X – робоча бінарна навчальна матриця;

f_1 – оператор формування вхідної навчальної матриці Y ;

f_2 – оператор перетворення матриці Y в робочу бінарну матрицю X .

Декартовий добуток множин $G \times T \times \Omega \times Z$ задає джерело інформації.

Як вихідне розглядається зображення, отримане за результатами аерофотозйомки регіону, а як класи розпізнавання обираються кадри різних об'єктів цифрового зображення регіону. Зображення кадрів природних об'єктів, як правило, відносяться до типу “текстура”, а зображення, наприклад, кадру автомобільної дороги є нестационарним за яскравістю. Крім того, дорога може займати довільне положення в різних кадрах. Тому з метою забезпечення інваріантності вирішальних правил до зсуву і повороту об'єктів в рамках кадрів формування вхідної навчальної матриці здійснювалося шляхом оброблення зображень у полярній системі координат. При цьому усереднена яскравість пікселів кожного кола зчитування, побудованого навколо

геометричного центру кадру, обчислювалася за запропонованою авторами проекту формулою

$$\Theta_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \theta_i, \quad (7.16)$$

де Θ_j – усереднене значення яскравості пікселів, що входять у коло зчитування j -го радіусу, $j = \overline{0, R}$;

θ_i – значення яскравості RGB-складової в i -му пікселі рецепторного поля зображення кадру;

N_j – загальна кількість пікселів в j -му колі зчитування;

R – радіус кола зчитування.

На рисунку 7.4 показано схематично оброблення кадрів цифрової карти регіону в полярних координатах за формулою (7.15).

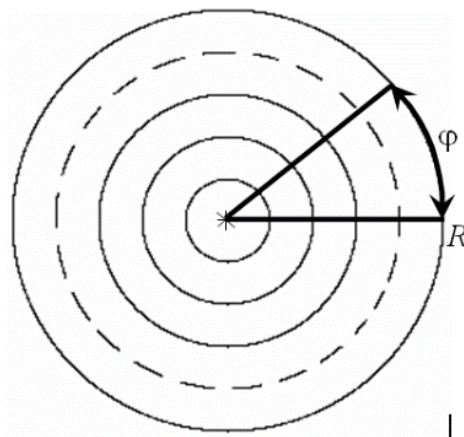


Рисунок 7.4 – Схема оброблення зображення в полярних координатах

Визначення геометричного центру кадру здійснюється за формулою

$$i_c = \text{round} \left(\frac{1 + N^2}{2} \right),$$

де N – кількість пікселів у стороні квадратного кадру.

За обчисленими за формулою (7.15) усередненими яскравостями кіл зчитування були сформовані структуровані реалізації вхідної навчальної матриці для показаних на рис. 7.4 кадрів зображення регіону.

Згідно з концепцією ІЕІТ обов'язковою процедурою машинного навчання є оптимізація системи контрольних допусків (СКД) на ознаки розпізнавання, яка відіграє роль рівня квантування при перетворенні на кожному кроці машинного навчання вхідної евклідової навчальної матриці в робочу бінарну навчальну матрицю. При цьому постає задача вибору базового класу розпізнавання, відносно якого буде створюватися СКД. Було висунуто робочу гіпотезу, що обирати базовий клас розпізнавання доцільно за найбільшою дисперсією навчальної матриці яскравості ознак розпізнавання. Обґрунтування цієї гіпотези полягає в тому, що клас розпізнавання, який має найбільший розкид яскравості ознак, є найближчим до всіх класів із заданого алфавіту. Для експериментального підтвердження гіпотези середнє вибіркоче $\bar{\Theta}_m$ значення яскравості ознак вхідної навчальної матриці класу розпізнавання визначалося за формулою

$$\bar{\Theta}_m = \frac{1}{N^2} \sum_{l=1}^{N^2} \theta_l,$$

де θ_i – значення яскравості RGB-складової в i -му пікселі рецепторного поля кадру гістологічного зображення класу розпізнавання X_m^o .

Дисперсія σ_m^2 обчислюється як міра відхилення яскравості l -ої ознаки від середнього значення яскравості $\bar{\Theta}_m$:

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{(N \times n) - 1} \sum_{l=1}^{N \times n} (\Theta_l - \bar{\Theta}_m)^2.$$

Гіпотеза була експериментально підтверджена при реалізації базового алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання, в процесі якого кожний клас розпізнавання приймався за базовий і для нього обчислювалося максимальне усереднене за алфавітом значення інформаційного критерію (7.2) при значенні параметра поля контрольних допусків $\delta = 20$ градацій яскравості.

7.7 Інформаційно-екстремальне машинне навчання бортової системи розпізнавання наземних об'єктів з оптимізацією базового класу розпізнавання

Функціональна ефективність системи розпізнавання в режимі інформаційно-екстремального машинного навчання залежить від заданої системи контрольних допусків на ознаки, яка формується відносно базового класу розпізнавання. На практиці за базовий прийнято вважати клас, що є найбільш бажаним для особи, яка приймає рішення про функціональну ефективність системи. Але в методах інформаційно-екстремального машинного навчання вибирати базовий клас доцільно з міркувань досягнення максимальної інформаційної спроможності системи, яка визначає максимальну повну ймовірність прийняття класифікаційних рішень. Тому розглянемо алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання, який визначає базовий клас розпізнавання за максимальним усередненим за алфавітом $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$ значень інформаційного критерію (7.2). Алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання БСР з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання представимо у вигляді двох циклічної ітераційної процедури

пошуку глобального максимуму інформаційного критерію в робочій області визначення його функції:

$$\{\delta_{K,i}^* \mid i = \overline{1, N}\} = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E \cap \{k\}} \bar{E}^{(k)} \}, \quad (7.17)$$

де G_δ – область допустимих значень контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

Якщо значення ознак розпізнавання мають однакову шкалу виміру, то доцільно реалізувати алгоритм машинного навчання з паралельною оптимізацією системи контрольних допусків, за якою на кожному кроці машинного навчання контрольні допуски змінюються для всіх ознак розпізнавання одночасно.

Вхідною інформацією для алгоритму машинного навчання є масив навчальної матриці $\{y_{m,i}^{(j)}\}$ і система полів нормованих допусків $\{\delta_{H,i}\}$ на ознаки розпізнавання, яка задає область значень відповідних контрольних допусків.

Розглянемо основні етапи реалізації алгоритму машинного навчання системи розпізнавання за процедурою (7.17) з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання:

- 1) ініціалізація лічильника класів розпізнавання: $m=m+1$;
- 2) виконується оптимізація системи контрольних допусків за процедурою (7.17);
- 3) пошук найбільшого усередненого значення інформаційного критерію (7.2) в межах робочої області;
- 4) якщо $m \leq M$, то виконується перехід до пункту 1, інакше – до пункту 5;

5) вибір базового класу шляхом пошуку найбільшого усередненого значення критерію (2) для класів розпізнавання заданого алфавіту:

$$m^* = \arg \max_{\{m\}} \bar{E}^* ;$$

б) визначаються оптимальні параметри машинного навчання структурованого вектора (7.1):

$\{x_m^* | m = \overline{1, M}\}$ – оптимальні усередненні вектори ознак класів розпізнавання із заданого алфавіту;

$\{d_m^* | m = \overline{1, M}\}$ – оптимальні радіуси контейнерів класів розпізнавання;

δ^* – оптимальний параметр поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання;

7) за параметром δ^* обчислюються нижні $\{A_{HK,i}^* | i = \overline{1, N}\}$ і верхні $\{A_{BK,i}^* | i = \overline{1, N}\}$ оптимальні контрольні допуски на ознаки розпізнавання:

$$A_{HK,i}^* = y_{m^*} - \delta^* \text{ і } A_{BK,i}^* = y_{m^*} + \delta^* ;$$

8) ЗУПИН.

Крім того, визначення базового класу розпізнавання може здійснюватися на підготовчому етапі за так званим базовим алгоритмом інформаційно-екстремального машинного навчання.

7.8 Базовий алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання

Базовий інформаційно-екстремальний алгоритм оптимізації просторово-часових параметрів функціонування СВА реалізується у внутрішньому циклі процедури машинного навчання (7.3), що й обумовило його назву.

Призначенням базового алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання є:

- оптимізація геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання;
- обчислення інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання системи;
- пошук глобального максимуму інформаційного критерію в робочій (допустимій) області визначення його функції.

Категорійну модель інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання за базовим алгоритмом представимо у вигляді спрямованого графа відображення операторами одна на одну відповідних множин, які застосовуються в процесі машинного навчання. Вхідний математичний опис здатної навчатися системи розпізнавання подамо у вигляді структури (7.15).

Категорійну функціональну модель інформаційно-екстремального машинного навчання БСР за базовим алгоритмом показано на рисунку 7.5.

На рисунку 7.5 терм-множина E , яка складається із обчислених на кожному кроці машинного навчання значень інформаційного критерію, є загальною для всіх контурів оптимізації параметрів. Оператор $r: E \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ в процесі машинного навчання відновлює в радіальному базисі бінарного простору ознак контейнери класів розпізнавання, які утворюють розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$. Оператор θ відображає розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ на нечіткий розподіл апріорно класифікованих двійкових векторів ознак класів розпізнавання.

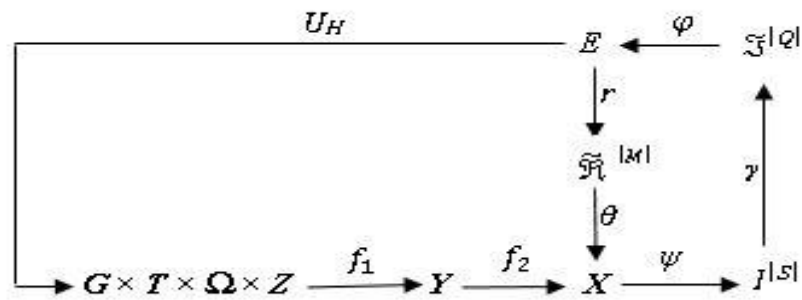


Рисунок 7.5 – Категорійна функціональна модель машинного навчання за базовим алгоритмом

Оператор $\psi: X \rightarrow I^{|S|}$, де $I^{|S|}$ – множина гіпотез, перевіряє основну статистичну гіпотезу $\gamma_1: x_m^{(j)} \in X_m^o$. Оператор γ визначає множину точнісних характеристик $S^{|Q|}$, де $Q = S^2$, а оператор φ обчислює множину значень E інформаційного критерію оптимізації, якій є функціоналом від точнісних характеристик. Контур оптимізації контрольних допусків замикається через терм-множину D , елементами якої є значення контрольних допусків на ознаки розпізнавання. Оператор u регламентує процес машинного навчання.

Згідно з принципом відкладених рішень О. Г. Івахненка для максимізації інформаційної спроможності системи може бути необхідною оптимізація інших параметрів, які впливають на функціональну ефективність машинного навчання. У цьому разі категорійна модель буде мати додаткові контури оптимізації цих параметрів. Крім того, згідно з принципом повної композиції контури оптимізації повинні мати загальну терм-множину E , елементи якої обчислюються на кожному кроці машинного навчання.

Вхідною інформацією для навчання за базовим алгоритмом є тривимірний масив реалізацій класів розпізнавання $\{y_{m,i}^{(j)} \mid m = \overline{1, M}; i = \overline{1, N}; j = \overline{1, n}\}$; значення параметра поля контрольних допусків δ на ознаки розпізнавання і рівні селекції (квантування) $\{\rho_m\}$

координат усереднених двійкових векторів ознак класів розпізнавання, які за замовчуванням дорівнюють 0,5 для всіх класів розпізнавання.

За базовий беруть клас розпізнавання X_m^o , який характеризує найбільшу функціональну ефективність інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання і стосовно якого визначаються контрольні допуски.

Розглянемо етапи реалізації алгоритму:

1. Обчислюється для навчальної матриці класу розпізнавання X_1^o усереднений вектор ознак $\{y_{1,i} \mid i = \overline{1, N}\}$.

2. Формується масив $\{x_{1,i}^{(j)}\}$ двійкових векторів ознак класу розпізнавання X_1^o за правилом

$$x_1^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{if } y_{1,i} - \delta \leq y_{1,i}^{(j)} \leq y_{1,i} + \delta, \\ 0, & \text{if else.} \end{cases} \quad (7.18)$$

3. Формується масив усереднених структурованих двійкових векторів ознак розпізнавання $\{x_{m,i} \mid m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}\}$, елементи яких визначаються за правилом

$$x_{m,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{m,i}^{(j)} > \rho_m, \\ 0, & \text{if else,} \end{cases}$$

де ρ_m – рівень селекції координат двійкового вектора $x_m \in X_m^o$.

4. Розбиття множини усереднених векторів ознак на пари найближчих «сусідів» $\mathcal{R}_m^{[2]} = \langle x_m, x_l \rangle$, де x_l – усереднений вектор ознак сусіднього класу X_l^0 , за такою схемою:

а) структурують множини векторів $\{x_m\}$, починаючи з вектора x_1 базового класу X_1^0 , що характеризує нормальний стан функціонування системи розпізнавання;

б) будують матрицю розмірності $M \times M$ кодових відстаней між усередненими векторами ознак усіх класів розпізнавання;

в) для кожного рядка матриці кодових відстаней обчислюють мінімальний елемент, який належить стовпчику вектора, найближчого до вектора, що визначає рядок. За наявності декількох однакових мінімальних елементів вибирають з них будь-який, оскільки вони є рівноправними;

г) формують структуровану множину елементів попарного розбиття $\{\mathcal{R}_m^{[2]} \mid m = \overline{1, M}\}$, яка задає план машинного навчання.

5. Здійснюють оптимізацію кодової відстані d_m , яка змінюється за заданим законом. У цьому разі беруть $E_m(0) = 0$.

6. Процедура закінчується в разі знаходження максимуму інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання в робочій області визначення його функції.

Таким чином, базовий алгоритм навчання є ітераційною процедурою пошуку глобального максимуму інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання в робочій області визначення його функції:

$$d_m^* = \arg \max_{G_E \cap \{d\}} E_m^*(d). \quad (7.19)$$

На рисунку 7.6 показано геометричну інтерпретацію реалізації базового алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання системи

розпізнавання на прикладі побудови оптимального гіперсферичного контейнера класу розпізнавання X_1^o .

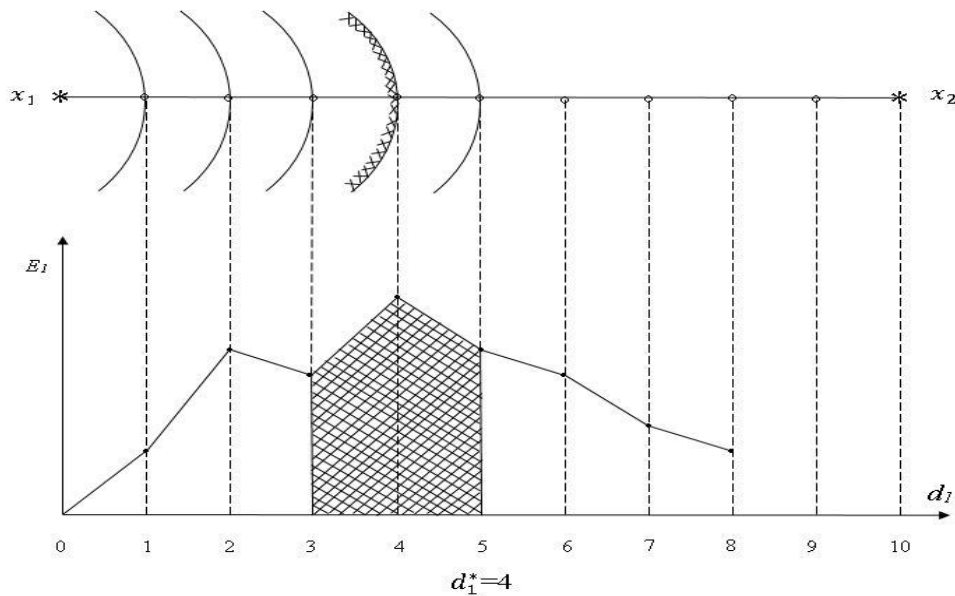


Рисунок 7.6 – Схема реалізації базового алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання

На рисунку 7.6 показано в бінарному просторі Хеммінга вершини усередненого двійкового вектора x_1 класу розпізнавання X_1^o й усередненого двійкового вектора x_2 класу розпізнавання X_2^o , який є найближчим сусідом для класу розпізнавання X_1^o . На схемі кодова відстань Хеммінга між векторами x_1 і x_2 дорівнює $d = (x_1 \oplus x_2) = 11$. У процесі машинного навчання за базовим алгоритмом здійснюється покрокове збільшення радіуса d_1 контейнера класу розпізнавання X_1^o на одну кодову одиницю. Водночас згідно з умовою (7) на величину радіуса d_1 накладається обмеження

$$d_1 < d(x_1 \oplus x_2) - 1.$$

На кожному кроці машинного навчання обчислюється значення інформаційного критерію E_1 оптимізації радіуса контейнера класу розпізнавання X_1^o . Як оптимальний радіус беруть екстремальне значення глобального максимуму критерію E_1 , обчислене в робочій (допустимій) області визначення функції інформаційного критерію. На рисунку 7.5 робоча область обчислення інформаційного критерію позначена заштрихованою ділянкою. Для двохальтернативних рішень робоча область існує за умови, що їх перша і друга достовірності перевищують відповідно помилки першого та другого родів. Аналіз рисунка 7.5 засвідчує, що максимальне значення критерію E_1^* одержане на четвертому кроці машинного навчання, тобто оптимальний радіус контейнера класу розпізнавання X_1^o дорівнює $d_1^* = 4$ (тут і далі в кодових одиницях).

Таким чином, основною функцією базового алгоритму машинного навчання в рамках ІЕІТ є обчислення на кожному кроці навчання інформаційного критерію та організація пошуку його глобального максимуму в робочій області визначення функції критерію з метою визначення оптимальних геометричних параметрів розбиття простору ознак на класи розпізнавання. При гіперсферичному контейнері класів розпізнавання такими параметрами при інформаційно-екстремальному машинному навчанні за базовим алгоритмом є оптимальні кодові відстані $\{d_m^*\}$ і оптимальні усереднені вектори-реалізації $\{x_m^*\}$ для заданого алфавіту $\{X_m^o\}$.

7.9 Функціонування автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів в режимі екзамену

За одержаними в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання оптимальними геометричними параметрами контейнерів класів

розпізнавання будуються вирішальні правила, які в продукційній формі подамо у вигляді

$$(\forall X_k^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|})(\forall X_l^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}) \left(f [(\mu_m > 0) \& (\mu_m = \max_{\{m\}} \{\mu_m\})] \right. \\ \left. \text{then } x^{(j)} \in X_m^o \text{ else } x^{(j)} \notin X_m^o \right), \quad (7.20)$$

де $x^{(j)}$ – вектор, що розпізнається;

μ_m – функція належності вектора $x^{(j)}$ контейнеру класу розпізнавання X_m^o .

У виразі (7.20) функція належності для гіперсферичного контейнера класу розпізнавання X_m^o визначається за формулою

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x^{(j)})}{d_m^*}, \quad (7.21)$$

де x_m^* – оптимальний усереднений структурований двійковий вектор ознак;

d_m^* – оптимальний радіус гіперсферичного контейнера

Таким чином, при функціонуванні системи розпізнавання в режимі екзамену визначається за вирішальними правилами (7.20) належність структурованого екзаменаційного вектора ознак, до одного з класів із заданого алфавіту. Водночас вирішальні правила через малу обчислювальну трудомісткість відрізняються високою оперативністю.

Оцінювання функціональної ефективності інформаційно-екстремального машинного навчання здійснюється під час функціонування

системи розпізнавання в режимі екзамену, алгоритм якого аналогічний алгоритму функціонування системи безпосередньо в робочому режимі.

У рамках ІЕІТ категорійну модель у вигляді орієнтованого графа відображень множин, що застосовуються на етапі екзамену, показано на рисунку 7.7.

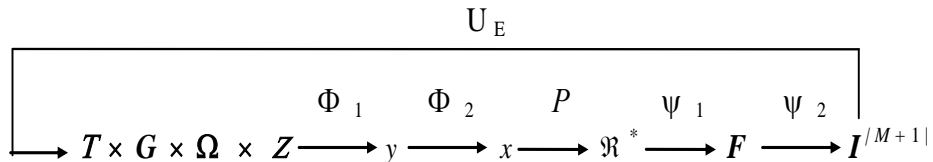


Рисунок 7.7 – Категорійна модель функціонування системи трозпізнавання в режимі екзамену

У категорійній моделі (рис. 7.7) оператор Φ_1 формує екзаменаційний вектор ознак y класу, що розпізнається, аналогічний за структурою вектору z навчальної матриці. Оператор Φ_2 за заданими на етапі машинного навчання контрольними допусками формує двійковий вектор x , а оператор P відображає цей вектор на побудоване на етапі машинного навчання оптимальне розбиття \mathfrak{R}^* класів розпізнавання. Оператор Ψ_1 для кожного вектора ознак, що розпізнається, обчислює значення побудованих на етапі машинного навчання вирішальних правил і формує терм-множину F , а оператор Ψ_2 за максимальним значенням вирішального правила відносить вектор x , до одного з класів заданого алфавіту $\{X_m^o\}$. У цьому разі множина гіпотез $I^{|M+1|}$ містить додаткову гіпотезу γ_{M+1} , що характеризує неклассифіковане рішення, тобто вектор, який розпізнається, не належить до жодного класу із заданого алфавіту класів розпізнавання. Призначенням оператора U_E є регламентація процесу екзамену.

Розглянемо схему реалізації алгоритму екзамену:

- 1) ініціалізація лічильника класів розпізнавання $m := 0$;

- 2) $m := m + 1$;
- 3) ініціалізація лічильника кількості реалізацій $j := 0$;
- 4) $j := j + 1$;
- 5) обчислення функції належності (7.21);
- 6) порівняння: якщо $j \leq n$, то виконується пункт 4, інакше – пункт 7;
- 7) обчислення усередненого значення функції належності (7.21):

$$\bar{\mu}_m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_{m,j}; \quad (7.22)$$

- 8) порівняння: якщо $m \leq M$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 9;
- 9) обчислення максимального значення функції (25)

$$\bar{\mu}_m^* = \max_{\{m\}} \bar{\mu}_m;$$

- 10) визначення класу розпізнавання за максимальним значенням функції (7.22);
- 11) якщо для всіх класів розпізнавання максимальні значення функції (7.22) від'ємні, то екзанаційна реалізація не класифікується;
- 12) зупин.

Таким чином, побудовані в процесі машинного навчання в рамках геометричного підходу вирішальні правила є чіткими і відрізняються незначною обчислювальною трудомісткістю і тому характеризуються високою оперативністю, що є важливим фактором під час виявлення атак.

Розглянуті вище категорійні функціональні моделі відбивають притаманні людині перетворення інформації та інформаційні потоки та механізми, які мають місце в когнітивних процесах формування та прийняття класифікаційних рішень. Оскільки категорійні моделі на відміну від

нейроподібних структур розробляються в рамках функціонального підходу до моделювання механізму когнітивних процесів природного інтелекту, то їх можна розглядати як узагальнені структурні схеми функціонування бортової системи розпізнавання в режимах інформаційно-екстремального машинного навчання та екзамену.

7.10 Інформаційно-екстремальне машинне навчання бортової системи розпізнавання наземних об'єктів з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання

У рамках ІЕІ-технології адаптація вхідного математичного опису здатної навчатися системи до її максимальної інформаційної спроможності здійснюється шляхом оптимізації параметрів машинного навчання за інформаційним критерієм. Реалізація базового алгоритму машинного навчання в загальному випадку не гарантує високої достовірності розпізнавання зображень наземних об'єктів у разі функціонування БСР в режимі екзамену, оскільки стартові контрольні допуски на ознаки розпізнавання зазвичай є неоптимальними. Таким чином, виникає необхідність збільшення глибини машинного навчання за допомогою оптимізації системи контрольних допусків, які істотно впливають як на геометричні параметри контейнерів класів розпізнавання, так і на точнісні характеристики класифікаційних рішень. Нехай задано вектор параметрів машинного навчання для алфавіту класів розпізнавання $\{X_m^o\}$

$$g_m = \langle x_m, d_m, \delta \rangle, \quad (7.23)$$

де x_m – усереднений структурований вектор ознак класу розпізнавання X_m^o ;

d_m – радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання X_m^o , який

відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання;

δ – параметр поля контрольних допусків на ознаку розпізнавання.

Параметр δ дорівнює половині симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, як це показано на рисунку 7.7.

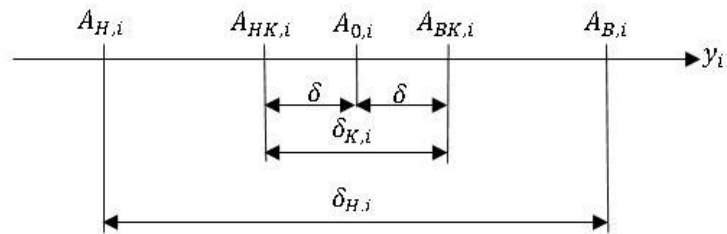


Рисунок 3.7 – Поле допусків на ознаку розпізнавання

На рисунку 7.7 взято такі позначення: $A_{0,i}$ – номінальне значення ознаки y_i ; $A_{H,i}$ – нижній нормований (експлуатаційний) допуск; $A_{B,i}$ – верхній нормований допуск; $A_{HK,i}$ – нижній контрольний допуск; $A_{BK,i}$ – верхній контрольний допуск; $\delta_{K,i}$ – поле контрольних допусків; $\delta_{H,i}$ – поле нормованих допусків. .

Двобічне симетричне поле контрольних допусків через параметр δ визначається за формулою

$$\delta_{K,i} = 2\delta \frac{A_{B,i} - A_{H,i}}{a}, \quad (7.24)$$

де a – кількість градацій контрольного поля допусків, яка для всіх ознак розпізнавання є однаковою.

Область значень радіуса контейнера класу розпізнавання X_m^o задається нерівністю

$$d_m < d(x_m \oplus x_c), \quad (7.25)$$

де $d(x_m \oplus x_c)$ – міжцентрова відстань найближчих класів розпізнавання X_m^o і X_c^o , яка визначається як кодова відстань між відповідними векторами ознак x_m і x_c .

На практиці при $a=100$ параметр δ може визначатися як кількість відсотків відхилення i -ї ознаки розпізнавання від її номінального значення $A_{0,i}$.

Категорійну модель інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання з урахуванням моделі базового алгоритму навчання показано на рисунку 7.8.

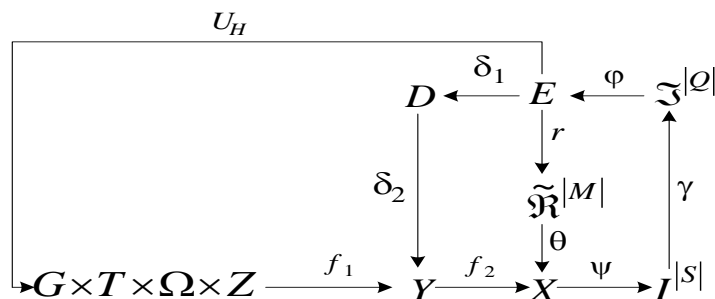


Рисунок 7.8 – Категорійна модель машинного навчання з оптимізацією контрольних допусків

Категорійна модель (рис. 7.8) порівняно з моделлю машинного навчання за базовим алгоритмом (рис. 7.5) містить додатковий контур операторів оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання, який замикається через терм-множину D допустимих значень системи контрольних допусків. Водночас оператор δ_1 на кожному кроці машинного навчання змінює контрольне поле, а оператор δ_2 оцінює залежність ознак розпізнавання заданому контрольному полю допусків.

Алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання системи розпізнавання з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання згідно з категорійною моделлю (рис. 7.8) має вигляд

$$\{\delta_{K,i}^* \mid i = \overline{1, N}\} = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E \cap \{k\}} \bar{E}^{(k)} \}, \quad (7.26)$$

де $\bar{E}^{(k)} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M E_m^{(k)}$ – усереднене за алфавітом класів розпізнавання значення

інформаційного критерію оптимізації, обчислене на k -му кроці машинного навчання;

G_δ – область допустимих значень контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

Оптимізація контрольних допусків на ознаки розпізнавання може здійснюватися за такими основними схемами:

- 1) алгоритм паралельної оптимізації, за яким контрольні допуски оптимізуються для всіх ознак одночасно;
- 2) алгоритм послідовної оптимізації, за яким контрольні допуски оптимізуються послідовно для кожної ознаки розпізнавання за фіксованих (стартових) значень інших ознак;
- 3) алгоритм оптимізації за зведеним полем допусків, який доцільно застосовувати як послідовно-паралельний алгоритм за наявності різних шкал вимірювання для окремих груп ознак розпізнавання.

Перевагою паралельного алгоритму оптимізації контрольних допусків є висока оперативність реалізації алгоритму, але він не дозволяє одержати точне значення глобального максимуму інформаційного критерію в робочій області визначення його функції. Тому екстремальні значення параметрів функціонування БСР, одержані в процесі їх оптимізації за паралельним алгоритмом, є квазіоптимальними.

Алгоритми послідовної оптимізації системи контрольних допусків дозволяють обчислювати точні значення глобального максимуму інформаційного критерію в робочій області, але характеризуються низькою оперативністю. З метою поєднання переваг цих алгоритмів оптимізацію контрольних допусків доцільно здійснювати за паралельно-послідовним алгоритмом. При цьому реалізація паралельного алгоритму дозволяє визначити стартові контрольні допуски, які є вхідними для алгоритму послідовної оптимізації. Це дозволяє підвищити оперативність послідовного алгоритму, оскільки стартові квазіоптимальні контрольні допуски вже знаходяться в робочій області визначення функції інформаційного критерію.

Структурований алгоритм послідовної оптимізації поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання має вигляд

$$\delta_{K,i}^* = \arg \left[\bigotimes_{l=1}^L \max_{G_{\delta}} \{ \max_{G_E \cap G_d} \bar{E}_l^{(i)}(d, \delta) \} \right], \quad (7.27)$$

де $\bar{E}_l^{(i)}(d, \delta)$ – усереднене значення інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання системи розпізнавання, обчислене під час оптимізації контрольних допусків i -ї ознаки розпізнавання на l -му прогоні ітераційної процедури оптимізації системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання;

G_{δ_i} – область допустимих значень поля контрольних допусків для i -ї ознаки розпізнавання;

G_E – робоча область визначення функції інформаційного критерію оптимізації;

G_d – область допустимих значень кодової відстані d , яка визначає радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання;

\otimes – символ операції повторення;

L – кількість прогонів ітераційної процедури оптимізації системи

контрольних допусків на ознаки розпізнавання;

N – кількість ознак розпізнавання.

Необхідно на етапі машинного навчання БСР оптимізувати параметри вектора (7.23), які забезпечують максимальне значення інформаційного критерію оптимізації (7.2) в робочій (допустимій) області визначення його функції.

Розглянемо інформаційно-екстремальне машинне навчання системи розпізнавання з гіперсферичним класифікатором, в якому відновлення контейнерів класів розпізнавання відбувається шляхом паралельної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання. Вхідною інформацією для алгоритму навчання є масив навчальної матриці $\{y_{m,i}^{(j)}\}$ і система полів нормованих допусків $\{\delta_{H,i}\}$ на ознаки розпізнавання, яка задає область значень відповідних контрольних допусків.

Розглянемо основні етапи реалізації алгоритму машинного навчання БСР з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання, за якою на кожному кроці навчання змінюються контрольні допуски для всіх ознак розпізнавання одночасно:

1) ініціалізація лічильника кроків зміни параметра δ поля контрольних допусків: $\delta := 0$;

2) $\delta := \delta + 1$;

3) обчислюються для всіх ознак розпізнавання нижні $A_{HK,i}$ і верхні $A_{BK,i}$ контрольні допуски на ознаки розпізнавання:

$$A_{HK,i} = \bar{y}_i - \delta; \quad A_{BK,i} = \bar{y}_i + \delta. \quad (7.28)$$

4) реалізується базовий алгоритм, за яким для кожного значення параметра δ визначаються згідно з процедурою (7.22) оптимальні значення радіусів контейнерів класів розпізнавання;

- 5) якщо $\delta < \delta_H / 2$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 6;
- 6) обчислюється усереднене за алфавітом класів розпізнавання максимальне значення інформаційного критерію \bar{E}^* ;
- 7) визначається оптимальний параметр поля контрольних допусків, який забезпечує максимальне значення усередненого критерію \bar{E}^* :

$$\delta^* = \arg \bar{E}^* ;$$

- 8) обчислюються за формулами (7.28) відповідні оптимальні контрольні допуски на ознаки розпізнавання

$$A_{HK,i}^* = \bar{y}_i - \delta^* ; A_{BK,i}^* = \bar{y}_i + \delta^* ;$$

- 9) у базі знань запам'ятовуються оптимальні параметри машинного навчання (7.23);
- 10) зупин.

Визначені на етапі паралельної оптимізації контрольні допуски на ознаки розпізнавання є квазіоптимальними, оскільки вони були обчислені за однаковою кількістю кроків навчання для всіх ознак. Для визначення оптимальних контрольних допусків на ознаки розпізнавання в методах інформаційно-екстремального машинного навчання здійснюється їх послідовна оптимізація. Водночас визначені на етапі паралельної оптимізації контрольні допуски беруться як стартові для алгоритму послідовної оптимізації. Оскільки під час оптимізації i -ї ознаки інші наступні ознаки мають неоптимальні контрольні допуски, то послідовна оптимізація потребує у цьому разі проведення ітераційних прогонів до того часу, поки значення інформаційного критерію оптимізації не буде змінюватися. Це призводить до зменшення оперативності алгоритму машинного навчання. Але завдяки тому, що стартовими обрано квазіоптимальні контрольні допуски, то під час послідовної оптимізації

обчислені на кожному кроці навчання значення інформаційного критерію оптимізації будуть перебувати постійно в робочій області визначення його функції. Тому на практиці оперативність алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання з паралельно-послідовною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання вже за кількості ознак $N \geq 10$ перевершує оперативність послідовної оптимізації.

Розглянемо основні етапи алгоритму (7.27) послідовної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання:

- 1) Ініціалізація лічильника прогонів процедури оптимізації параметрів машинного навчання: $s := 0$.
- 2) $s := s + 1$.
- 3) Ініціалізація лічильника ознак розпізнавання: $i := 0$.
- 4) $i := i + 1$.
- 5) Визначення екстремального значення параметра поля контрольних допусків за процедурою (7.27)
- 6) Порівняння: якщо $i \leq N$, то виконується крок 4, інакше – крок 7.
- 7) Обчислюється усереднене за алфавітом класів розпізнавання значення інформаційного критерію $\bar{E}^{(s)}$.
- 8) Якщо $\left| \bar{E}^{(s-1)} - \bar{E}^{(s)} \right| \leq \varepsilon$, де ε – будь-яке мале додатне число, то виконується крок 9, інакше – крок 2.
- 9) Обчислюються оптимальні параметри поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання шляхом операції присвоювання

$$\{\delta_i^* := \delta_i^{(s)} \mid i = \overline{1, N}\},$$

- 10) За формулами (7.28) обчислюються оптимальні нижні та верхні контрольні допуски.

11) Запам'ятовуються оптимальні координати структурованого вектора (7.25).

$\{x_m^* | m = \overline{1, M}\}$ – оптимальні усередненні вектори ознак класів розпізнавання із заданого алфавіту;

$\{d_m^* | m = \overline{1, M}\}$ – оптимальні радіуси контейнерів класів розпізнавання;

$\{A_{HK,i}^* | i = \overline{1, N}\}, \{A_{BK,i}^* | i = \overline{1, N}\}$ – оптимальні верхні

контрольні допуски на ознаки розпізнавання..

12. Зупин.

Таким чином, одержані за результатами інформаційно-екстремального машинного навчання оптимальні параметри функціонування БСР дозволяють побудувати в просторі ознак розпізнавання вирішальні правила (7.20) для прийняття класифікаційних рішень.

7.11 Структура, функції та засоби створення випробувально-налагоджувального стенду для машинного навчання автономної бортової системи розпізнавання наземних об'єктів

Призначенням випробувально-налагоджувального стенду (ВНС) є моделювання в лабораторних умовах процесу машинного навчання бортової системи розпізнавання наземних стаціонарних і рухомих об'єктів. Для формування навчальної матриці було використано симулятор, здатний відтворювати рельєф заданого регіону і наземні об'єкти розпізнавання, 3D-зображення яких за оптико-електронним каналом спостереження передаються на відеокарту бортової системи розпізнавання для формування навчальної матриці і реалізації машинного навчання з метою побудови вирішальних правил. Машинне навчання здійснюється за так званим інформаційно-екстремальним методом, розробленим науковою школою кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету. Основна перевага цього методу у порівнянні з нейроподібними структурами полягає в тому що

він розроблений в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів природнього інтелекту при формуванні та прийнятті класифікаційних рішень. Такий підхід дозволяє на відміну від штучних нейронних мереж забезпечити адаптивність системи до довільних умов формування зображень, практичну інваріантність системи до багатовимірності словника ознак розпізнавання і гнучкість при перенавчанні системи через розширення алфавіту класів розпізнавання.

Випробувально-налагоджувальний стенд має подвійне призначення і може використовуватися на стадії ескізного проектування бортових систем безпілотних авіаційних комплексів для різних галузей соціально-економічної сфери українського суспільства у тому числі для створення автономних кіберзахисених розвідувальних і ударних безпілотників.

Машинне навчання автономної БСР здійснюється на наземному пункті керування. Розроблення, налагоджувння та верифікація програмного забезпечення БПЛА здійснювалося на створеному в Сумському державному університеті ВНС, який складається із інфокомунікаційної системи, роль якої виконує реальна бортова система БПЛА, оснащена пристроями радіокерування і автопілотом із виходом в глобальну мережу GPS, наземного пункту керування із серверною та іншою інфраструктурою, необхідною для аналізу ретрансльованих зображень та керування БПЛА, та з симулятора 3D-зображень наземних природних, інфраструктурних об'єктів, які формують за оптико-електронною системою спостереження навчальну матрицю, та безпосередньо БПЛА;

Об'єктами моделювання було обрано квадрокоптер Thor від компанії Elbit та та інфраструктурні споруди. Вимогою до моделі квадрокоптера є наявність лопатей, які зможуть крутитись. Для цього вони були зроблені окремо від корпусу.

Нижче наведено результати моделювання за методикою, висвітленою у праці [35]. Зокрема, моделювання починається зі створення корпусу коптера, який має особливу форму (рис. 7.9). Таким чином, треба підготувати

малополігональну версію для подальшого збільшення полігонів. Корпус має форму розтягнутого куба, позаду якого кришка для доступу до батареї, модуля керування тощо. Розділений він впродовж периметру посередині, для ремонту більш серйозних поломок. Створено куб та змінена довжина, після чого розрізано на дві частини шляхом виділення вершин та видалення за допомогою клавіші X, в контекстному меню обрано Vertices. Після видалення залишиться половина, після чого для зручності увімкнути модифікатор Mirror, який генерує дзеркальне відображення половини. Використовуючи LoopCut, розрізано фігуру та із вершин сформований корпус.

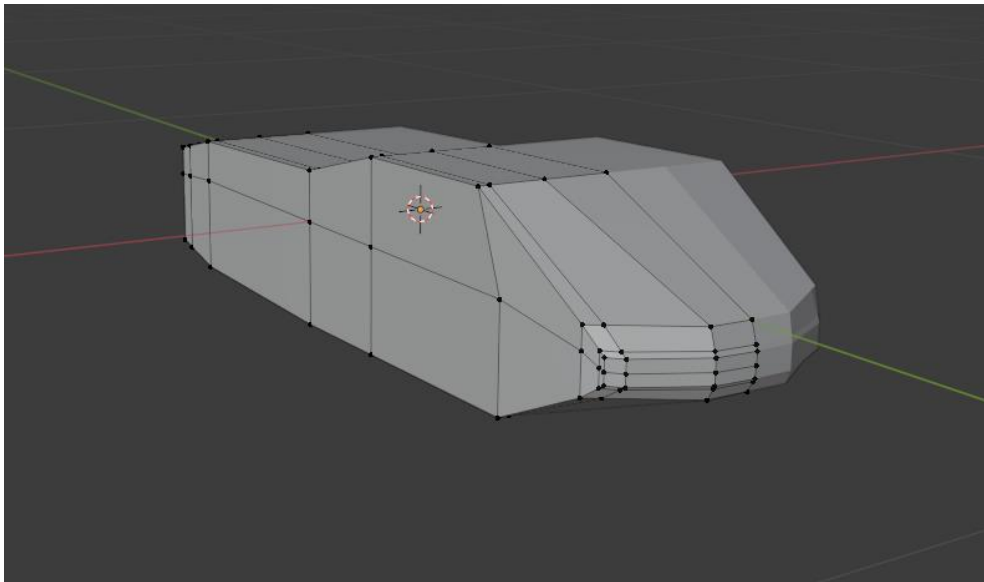


Рисунок 7.9 – Корпус літального апарату в режимі Edit Mode

На рисунку 7.9 видно гострі кути корпусу дрона, але реально корпус є гладким. У цьому випадку було застосовано модифікатор Subdivision Surface. Його суть в збільшенні кількості полігонів та згладжуванні гострих кутів. У вікні модифікатора треба обрати Levels ViewPort, який відповідає за кількість додаткових полігонів та згладжування. Між Catmull-Clark та Simple є одна відмінність, перший параметр множить полігони з їх подальшим округленням.

Після створення основи квадрокоптера за допомогою модифікатора Boolean реалізована виїмка від з'єднання верхньої та нижньої частини

(рис. 7.10). Позаду є кілька полігонів, які можна екструдувати (Extrude) всередину.

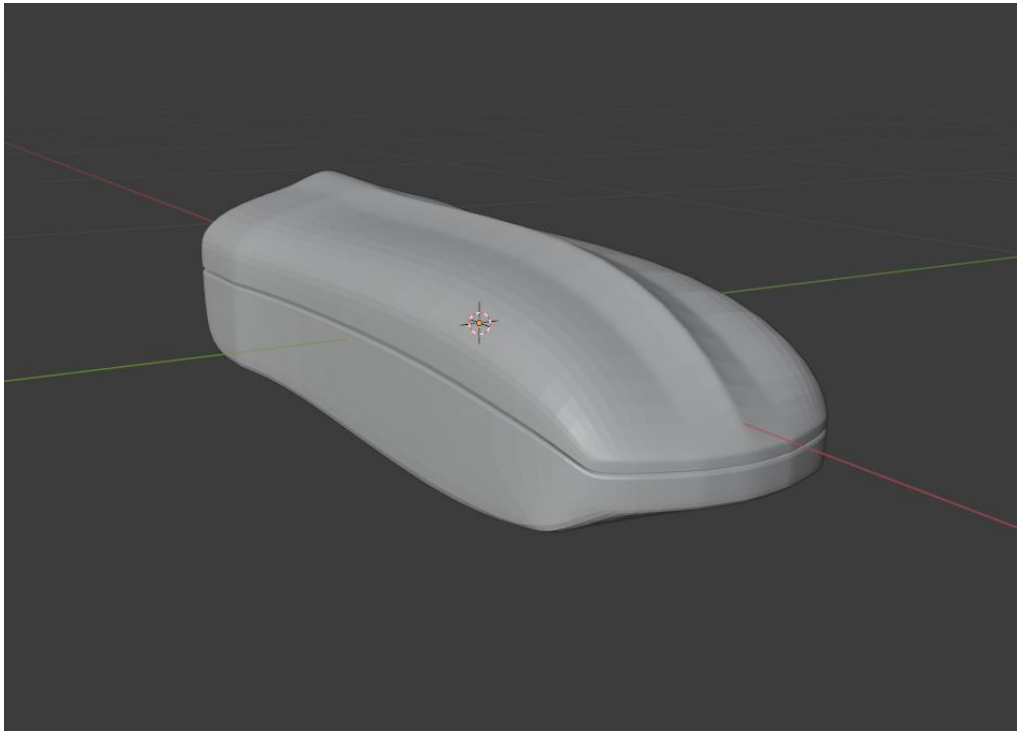


Рисунок 7.10 – Готовий корпус

Держаки для лопатей зроблено з декількох компонентів: місце для встановлення трубки, на якій розміщені лопаті; тримачі для підніжок; трубка; підставка під лопаті; лопаті (рис. 7.11). Щоб не моделювати кілька разів можна скопіювати (Shift + D).

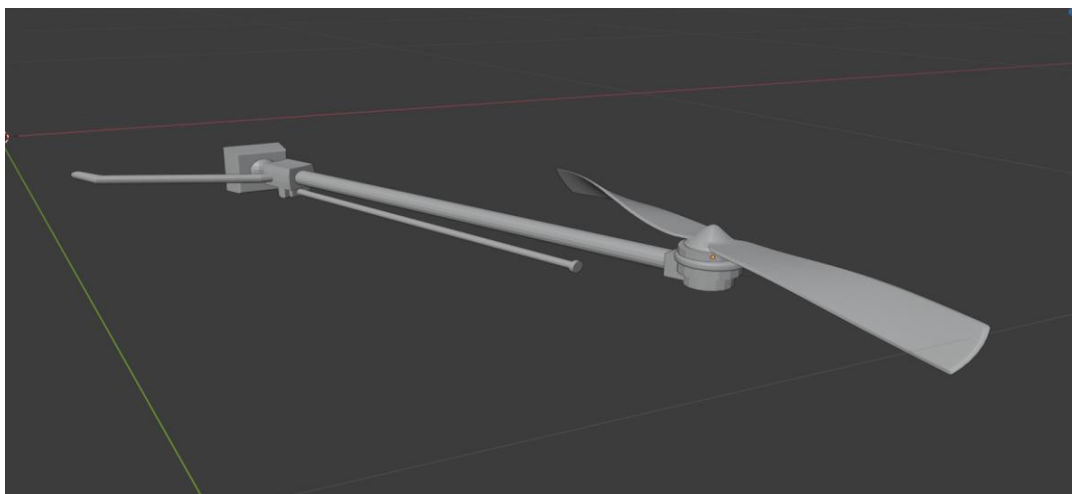


Рисунок 7.11 – Результат моделювання

Для створення лопатей (рис. 7.11) застосовано інструмент Proportional Editing. Він дає змогу змінювати геометрію об'єкту так, щоб не було різких переходів, гострих кутів. Щоб побачити результат треба налаштувати зону зміни, в якій буде змінюватись геометрія відносно обраних вершин.

Головною деталлю квадрокоптера є камера розташована знизу (рис. 7.12). При перегляді фотографій дрона THOR можна побачити багато варіантів. В даній моделі реалізована одна з них.

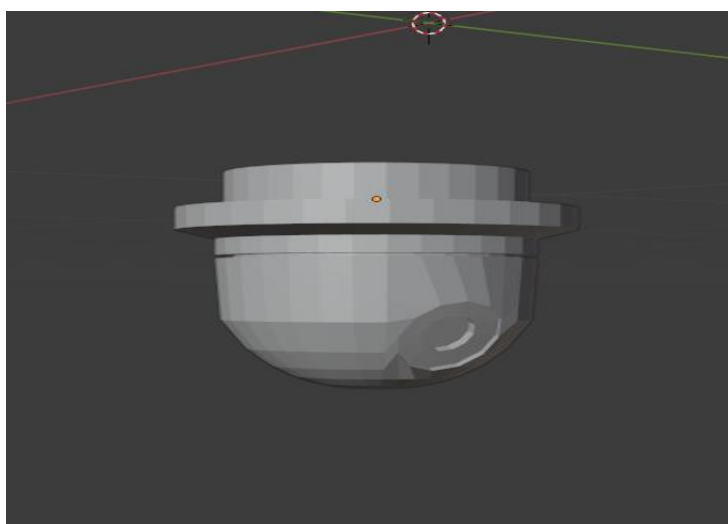


Рисунок 7.12 – Відеокамера квадрокоптера

Текстури можна підібрати з наявних кольорів в Blender. В момент, коли додається матеріал, то можна Base Color змінити на будь який колір.

На рисунку 7.13 показано готову модель квадрокоптера.

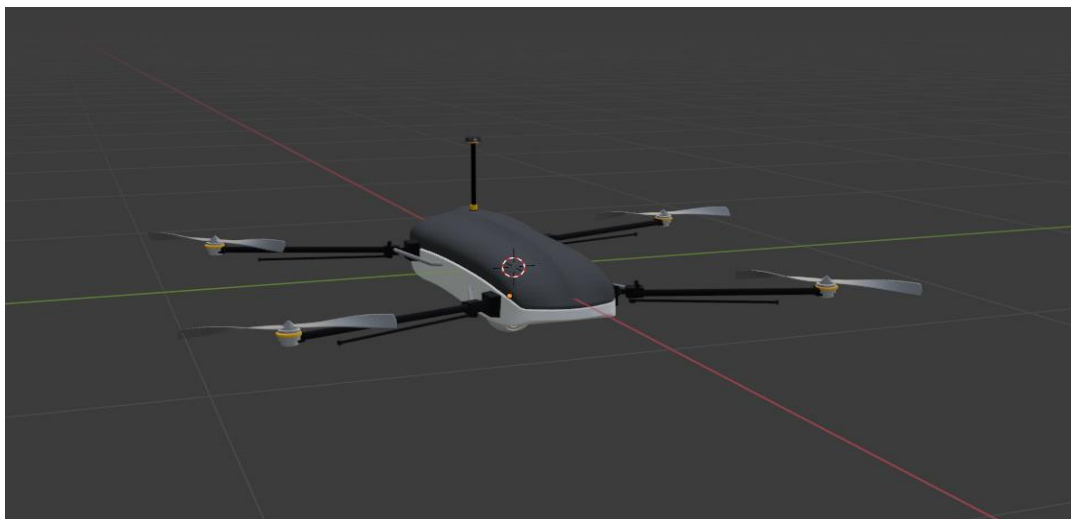


Рисунок 7.13 – Остаточна модель квадрокоптера

Перед експортом в Unreal Engine було об'єднано всі елементи між собою, окрім лопатей. Для цього треба було виділити всі частини через Shift + лівою кнопкою миші по частині квадрокоптера. Після виділення через Ctrl + J виконано об'єднання. Таким чином, модель готова до імпорту в Unreal Engine з окремими лопатями.

Головна задача, яка ставиться перед квадрокоптером, це спостереження за наземними об'єктами та розвідка території. Для виконання цієї задачі на борту безпілотного літального апарату(БПЛА) було встановлено дві камери. Зображення місцевості, які оператор отримує шляхом відеоспостереження за територією, показано на рисунку 7.14.



а



б

Рисунок 7.14 – Вид з камер безпілотника: а – фронтна камера; б – робоча камера;

Дві камери необхідні для того, щоб за допомогою однієї (рис.7.14а) керувати безпілотником, в той час як камера (рис. 7.14.б) дозволяє ідентифікувати місцевість. Слід зазначити, що в наземному центрі керування, який є частиною безпілотного авіаційного комплексу (БАК), окрім звичайної цифрової відеозйомки можуть ще аналізуватися результати, які були отримані в інфрочервоному спектрі або, наприклад, за допомогою електронно-оптичного перетворювача (ЕОП), проте це залежить від специфіки БПЛА. У рамках НДР розглядалися тільки зображення, отримані за оптико-електронною системою спостереження.

Однією із важливих особливостей сучасних відеокамер є цифрове та оптичне збільшення зображення. Для БАК це представляє особливу цінність, оскільки безпілотники типу «квадрокоптер» можуть літати на висоті понад 500 метрів, що дає можливість огляду більш великої території, але її аналіз ускладнюється. У таких випадках вкрай важливо сфокусуватися на об'єкті інтересу, ігноруючи зайву інформацію. На рисунку 7.15 показано приклад цифрового збільшення зображення на борту БПЛА.



а

б

Рисунок 7.15 – Процес цифрового збільшення зображення: а – початковий вид місцевості; б – приближений вид на об'єкт;

Реалізований БПЛА не є повністю автономним, його керування буде здійснюватися оператором в наземному пункті. Створена модель безпілотника здатна виконувати наступні дії: рух вперед і назад, поворот вліво і вправо

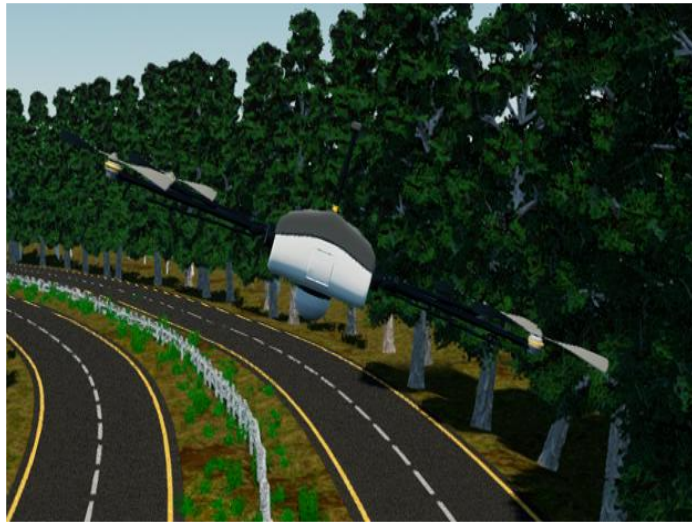
відносно власної осі, підйом і спуск, рух вліво і вправо. Усі описані дії можна комбінувати, наприклад, підійматися по діагоналі. Змодельований квадрокоптер рухається приблизно зі швидкістю 40 км/г, що наближає його до реального прототипу.

Ключовою особливістю, яка виділяє квадрокоптери з поміж інших безпілотних літальних апаратів, є їх маневреність та здатність зависати у повітрі. Це дозволяє їм виконувати конвоювання і спостереження за малогабаритними об'єктами. Саме на ці фактори було зроблено акцент під час моделювання фізики руху, яка повинна була бути максимально достовірною.

Важливим моментом є те, що квадрокоптер не може рухатися чітко прямо, на нього впливають зовнішні чинники. Щоб це врахувати для створеної моделі окремо обраховується кут нахилу БПЛА, який він приймає при переміщенні (рис. 7.16).



a



б

Рисунок 7.16 – Приклад нахилу БПЛА: а – початкове положення;
б – нахил під час польоту на право;

Кут нахилу, приклад якого показано на рисунку 7.16, становить від 10 до 20 градусів. Квадрокоптер його приймає при переміщенні в будь-якому із напрямків.

Для ще більшої достовірності безпілотник летить по інерції якщо відпустити кнопку польоту. Наприклад, якщо квадрокоптер, який рухається вперед зі швидкістю 37 км/г, зупиниться, то він ще на деякий час продовжить свій рух. Це виконується для будь-якого переміщення БПЛА, і ще більше наближає його до реального прототипу.

Щоб зменшити кількість пам'яті, яку буде використовувати бортова система розпізнавання (БСР), було прийнято рішення розбивати відеопотік, який поступає з відеокамери (рис. 7.14.б) на фрейми і класифікувати їх. Результатом такого підходу є рисунок 7.17, де цілісне відео «розрізане» на частини і склеєне в одне зображення.



Рисунок 7.17 – Приклад фреймів розбитого відео-потoku

У таблиці 3.1 наведені назви і опис функцій, які були створені для реалізації основних фізичних властивостей безпілотної. Функції з переміщенням дрону створено за допомогою технології візуального програмування Blueprint.

Таблиця 7.1 – Опис функцій бортової системи БПЛА

Методи	
Назва	Призначення
CameraZoom	Цифрове збільшення зображення отриманого з камери.
MovementInput	Здійснення руху безпілота вперед і назад.
Up\Down	Переміщення безпілота вгору та вниз
Rotation (Left\Right)	Поворот квадрокоптеру, відносно своєї осі, за допомогою клавіатури
MouseRotation (Left\Right)	Поворот квадрокоптеру, відносно своєї осі, за допомогою комп'ютерної миші
SwapCamers	Зміна між камерами безпілота
VintsRotation	Виконання обертань гвинтів квадрокоптеру
Keys	Запам'ятовування клавіш, які зараз натиснуті користувачем
PressKey	Перевірка, які із клавіш натиснуті зараз
AutoStabilization	Автостабілізація безпілота, коли ним ніхто не керує
Lean (Right\Left)	Нахил безпілота, коли він рухається вліво чи вправо
Lean (Forward\Back)	Нахил безпілота, коли він рухається вперед чи назад
Hit	Перевірка на зіштовхнення БПЛА з іншим об'єктом

На рисунках 7.18–7.24 приведені результати по розробці об'єктів в співвідношенні до категорій:

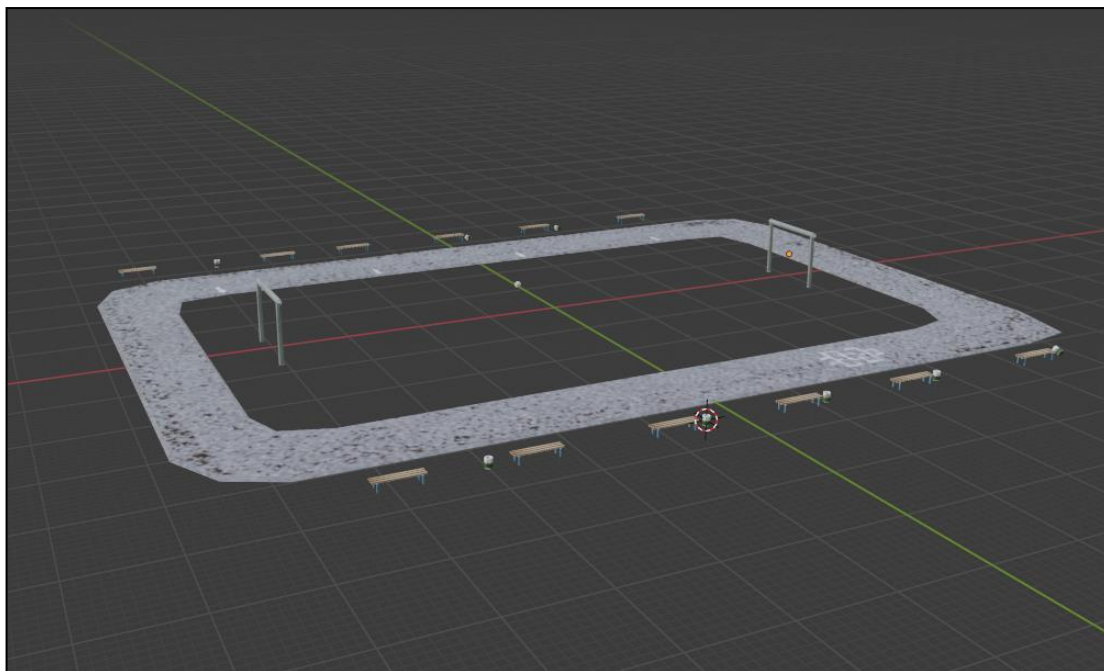


Рисунок 7.18 – Стадіон

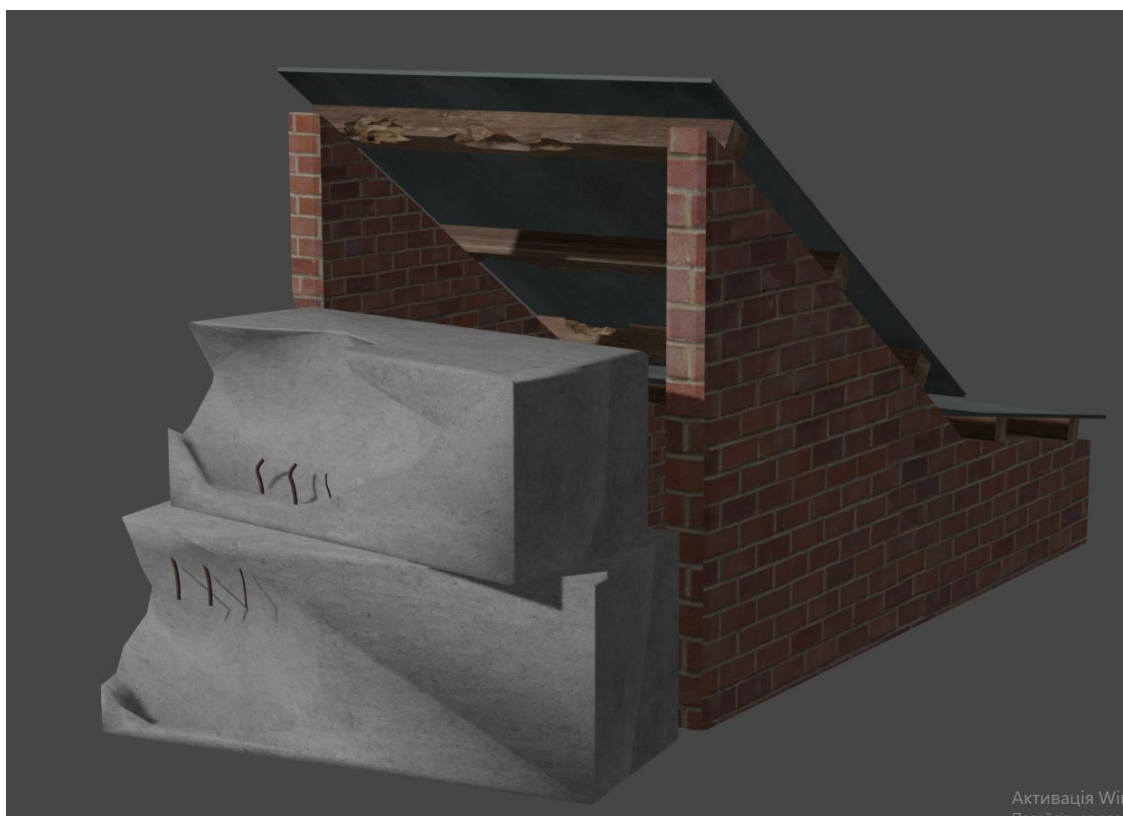


Рисунок 7.19 – Погріб



Рисунок 7.20 – Торговий ларьок

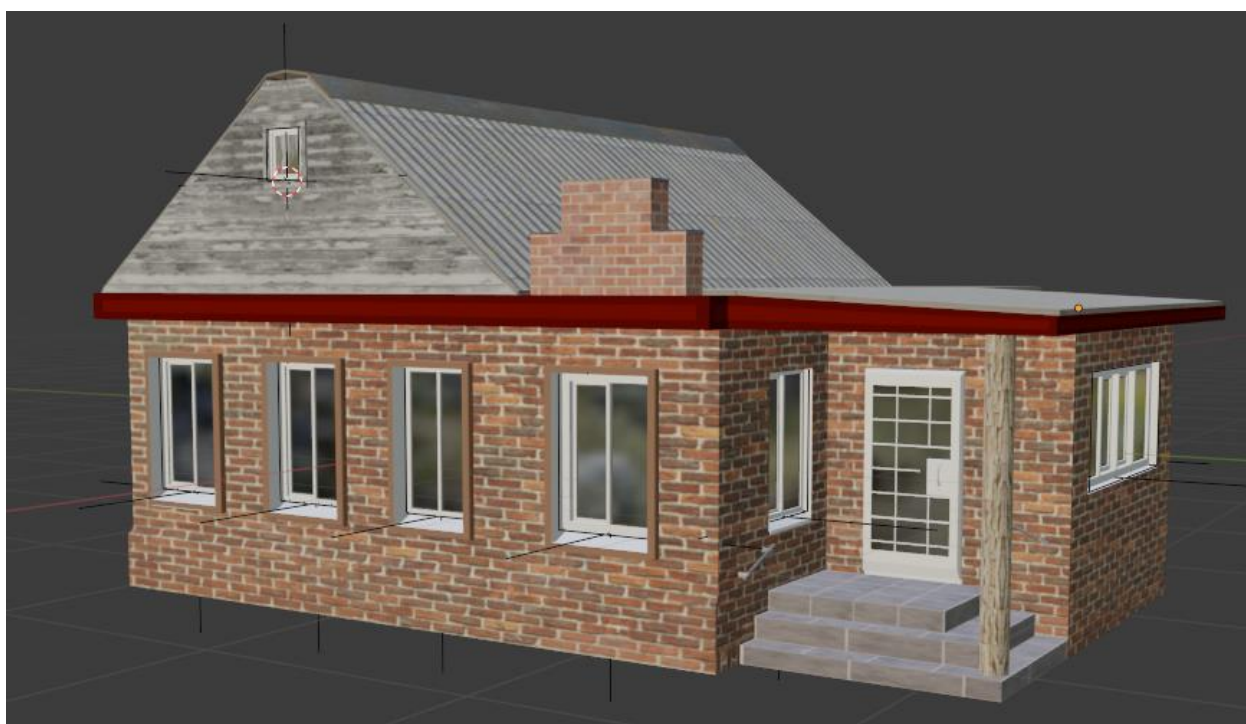


Рисунок 7.21 – Сільський будинок

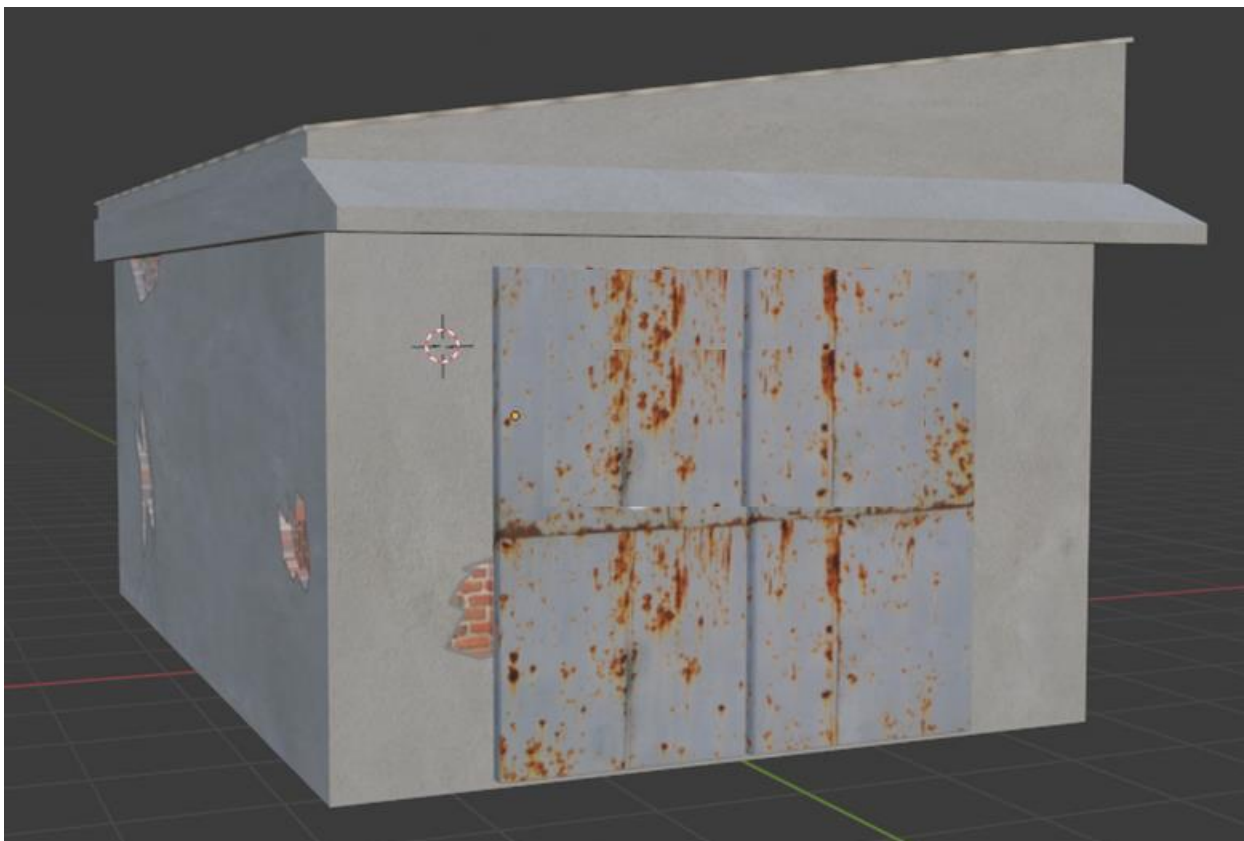


Рисунок 7.22 – Гараж для автомобіля

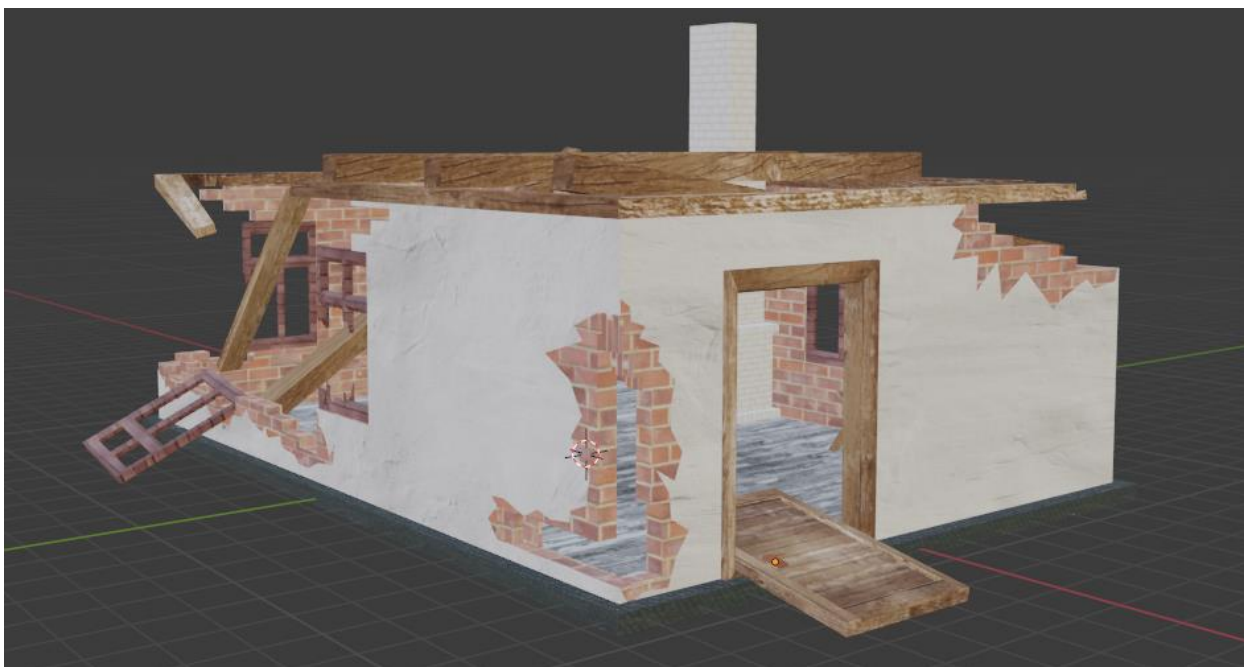


Рисунок 7.23 – Знищена хатина



Рисунок 7.24 – Бензозаправка

Головною перевагою побудованої 3D-моделі місцевості - є її повна достовірність реальним об'єктам, які характерні для території України. Під час передипломної практики проведено аналіз місцевості України, визначено характерні риси сільських та природних об'єктів. На їх основі змодельовано інфраструктурні об'єкти.

Створення ВНС безпілотного авіаційного комплексу дозволяє перейти до практичного вирішення надскладної проблеми автономної навігації БПЛА за географічними орієнтирами без виходу в глобальну мережу GPS. Крім того, бортова система за результатами інформаційно-екстремального машинного навчання буде здатна розпізнавати системні і зовнішні трафіки з метою виявлення кібератак і несанкціонованих вторгнень.

7.12 Приклад інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи розпізнавання наземних об'єктів

Розглянемо приклад інформаційно-екстремального машинного навчання бортової системи БПЛА для розпізнавання наземних природних та інфраструктурних об'єктів.

Нехай задано алфавіт класів розпізнавання $\{X_m^o | m = \overline{1, M}\}$, в якому кожний клас характеризує наземний об'єкт. За результатами аерофотозйомки

за оптичним каналом сформовано для заданого алфавіту навчальну матрицю яскравості пікселів рецепторного поля зображень $\|y_{m,i}^{(j)}|i = 1, N; j = 1, \|\cdot\|$.

В процесі машинного навчання необхідно визначити оптимальні значення параметрів машинного навчання, які задано структурованим вектором (7.23) для алфавіту класів розпізнавання $\{X_m^o\}$.

Вхідною інформацією для алгоритму навчання є масив навчальної матриці $\{y_{m,i}^{(j)}\}$ і система полів нормованих допусків $\{\delta_{H,i}\}$ на ознаки розпізнавання, яка задає область значень відповідних контрольних допусків.

Згідно з категорійною функціональною моделлю (рис. 7.8) розглянемо основні етапи інформаційно-екстремального машинного навчання з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання:

- 1) обчислюється усереднений вектор ознак $\{y_{1,i}|i = \overline{1, N}\}$ для навчальної матриці класу розпізнавання X_1^0 ;
- 2) визначення масиву $\{x_{1,i}^{(j)}\}$ еталонних двійкових векторів ознак класів розпізнавання X_1^0 ;
- 3) формується масив усереднених двійкових векторів реалізацій $\{x_{m,i}|m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}\}$;
- 4) розбиття множини усереднених векторів ознак на пари найближчих “сусідів” $\mathfrak{R}_m^{|2|} = \langle x_m, x_l \rangle$, де x_l – усереднений вектор ознак сусіднього класу X_l^0 ;
- 5) здійснюється оптимізація кодової відстані d_m за ітераційною процедурою
- 6)

$$d_m^* = \arg \max_{G_E \cap \{d\}} E_m(d);$$

7) реалізується процедура (7.26) визначення оптимального значення параметра δ поля контрольних допусків і визначається за формулою (7.26) системи оптимальних контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

За отриманими в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання оптимальними геометричними параметрами гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання було побудовано вирішальні правила (7.20).

Для реалізації інформаційно-екстремального алгоритму машинного навчання було обрано зображення регіону, показане на рисунку 7.25.

За зображенням регіону (рис. 7.25) було обрано три кадри розміром 50x50 пікселів наземних природних та інфраструктурні об'єктів: трав'яний покров (клас розпізнавання X_1^o), ліс (клас розпізнавання X_2^o) і автомобільна дорога (клас розпізнавання X_3^o), наведених на рисунку 7.26.



Рисунок 7.25 – Зображення регіону



Рисунок 7.26 – Зображення кадрів: *а* – клас X_1^o ; *б* – клас X_2^o ;

ν – клас X_3^o ;

На рисунку 7.27 показано графік залежності усередненого інформаційного критерію оптимізації (7.14) від параметра δ поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, отриманий в процесі машинного навчання за процедурою (7.26).

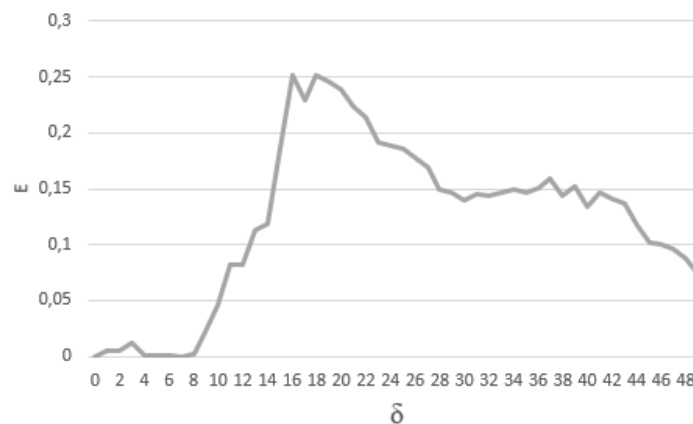


Рисунок 7.27 – Графік залежності критерію оптимізації від параметра δ поля контрольних допусків

Аналіз рисунку 7.27 показує, що оптимальне значення параметра поля контрольних допусків дорівнює $\delta^* = 19$ градаціям яскравості пікселів рецепторного поля зображення.

Для побудови вирішальних правил (7.20) під час машинного навчання було отримано графіки залежності критерію (7.14) від радіусів контейнерів класів розпізнавання, наведених на рисунку 7.28. На цьому рисунку темним кольором позначено робочу (допустиму) область визначення функції інформаційного критерію (7.14), в якій перша і друга достовірності перевершують відповідно помилку першого роду і помилку другого роду. За оптимальний радіус приймається його екстремальне значення, яке відповідає глобальному екстремуму функції критерію оптимізації в робочій області.

Аналіз рисунку 7.28 показує, що оптимальні радіуси гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання дорівнюють: $d_1^* = 17$ (тут і далі в кодових одиницях) для класу розпізнавання X_1^0 ; $d_2^* = 20$ для класу розпізнавання X_2^0 і $d_3^* = 17$ для класу розпізнавання X_3^0 .

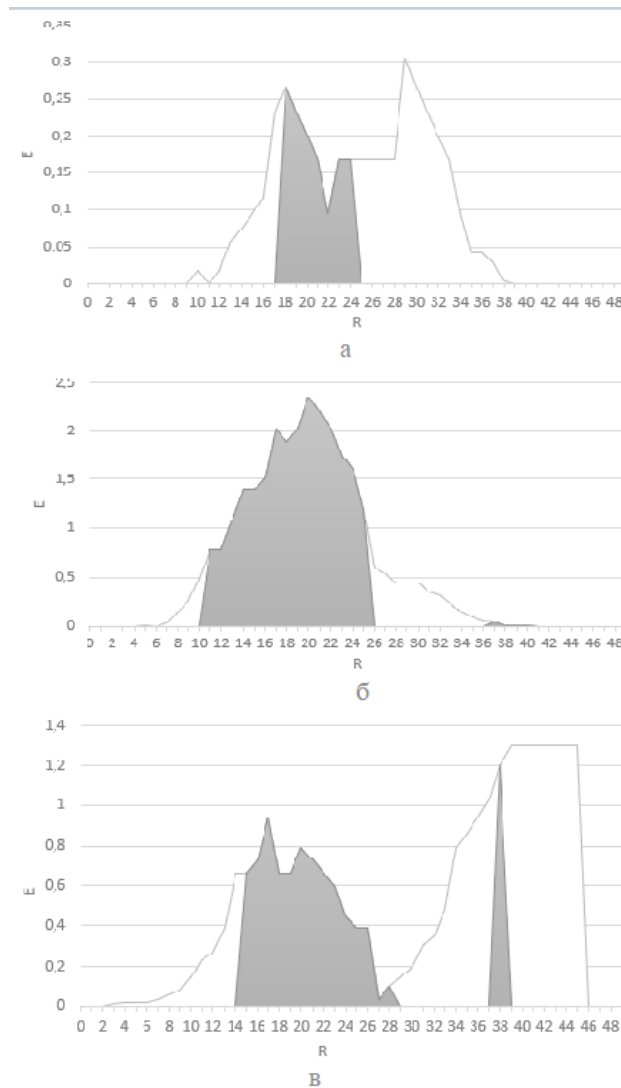


Рисунок 7.28 – Графіки залежності інформаційного критерію від радіусів контейнерів класів розпізнавання: а – клас X_1^0 ; б – клас X_2^0 ; в – клас X_3^0

Отримані результати машинного навчання БСР можна вважати задовільними, оскільки доведено роздільність класів розпізнавання, але вони не є безпомилковими за навчальною матрицею. Для підвищення достовірності

розпізнавання необхідно збільшити глибину машинного навчання шляхом оптимізації додаткових параметрів функціонування системи, включаючи апараметри формування вхідної навчальної матриці.

ВИСНОВКИ

1. На основі проведених досліджень потреби українських АЕС в насосному устаткуванні з позиції критичного імпортозаміщення визначено прототипи насосів і насосних агрегатів та розроблено технічне завдання на їх проектування. Встановлено, що на діючих АЕС України з реакторами ВВЕР-1000 (згідно з існуючою проектною документацією блоків) експлуатуються насоси ТХ 800/70/8-К-2Е систем розхолодження басейну витримки та промонтажу, Х 8/60-К-2Г системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП, Х 45/90-К-2Г подачі на очистку аварійного розчину бору. Виробництво зазначених насосних агрегатів та запасних частин до них наразі в Україні відсутнє, потреби українських АЕС у запасних частинах та насосах задовольняються шляхом закупівлі їх за кордоном, а саме у монопольних виробників, що знаходяться на території РФ. Це негативно впливає на цінові показники такої продукції, більше того, через політичні причини, в певний момент може негативно вплинути на енергетичну безпеку держави та призводить до підвищення вартості виробництва електроенергії українськими АЕС.

2. Розроблено технічні проекти насосних агрегатів. У рамках реалізації науково-дослідної роботи розроблені технічні проекти насосних агрегатів АЦНА 600-35, АЦНА 600-35-1, АЦНА 8-60 та АЦНА 45-90, що призначені для добудови блоків №№ 3,4 Хмельницької АЕС та для заміни на діючих блоках АЕС України з реакторами ВВЕР-1000 в рамках імпортозаміщення у відповідності з вимогами керуючої організації ДП «НАЕК Енергоатом». Насосний агрегат АЦНА 600-35 призначений на заміну агрегату ТХ 800/70/8-К-2Е системи розхолодження басейну витримки, АЦНА 600-35-1 – на заміну агрегату ТХ 800/70/8-К-2Е системи промонтажу, Х 8/60 – К – 2Г системи гідровипробування барботеру і продувки датчиків КВП, Х 45/90 – К – 2Г подачі на очистку аварійного розчину бору.

3. На основі розроблених ескізних проєктів насосного устаткування для потреб українських АЕС з позиції критичного імпортозаміщення одержано масив даних параметричних обчислень варіантів проточних частин насосів, що дозволило підвищити прогнозований максимальний коефіцієнт корисної дії енергетичного устаткування на 10–15 % залежно від типу насосного агрегату.

4. Шляхом проведення оптимізаційних розрахунків елементів проточних частин створено варіанти проточних частин насосів та їх тривимірні моделі, які дозволяють здійснити імітаційне моделювання гідродинаміки потоку за допомогою сучасного програмного коимплексу Ansys CFX.

5. За результатами математичного моделювання гідродинамічних процесів у елементах насосів обґрунтовано варіанти найбільш енергоефективних проточних частин (робочих коліс та відводів), що дозволило підвищити енергоефективність від 5 до 9 % порівняно з існуючими аналогами TX800/70/8-K-2E, X45/90, X45/90a, X80-50-250, X8/60-K-2Г.

6. Запропоновані конструкції насосного обладнання мають кавітаційні характеристики не нижчі, ніж у прототипів, що дозволяє здійснити імпортозаміщення насосного обладнання у відповідності з вимогами керуючої організації ДП «НАЕК Енергоатом» без застосування допоміжного обладнання.

7. На основі математичного моделювання взаємодії елементів системи «ротор – статор» у системі комп'ютерної алгебри MathCAD одержано значення амплітуд вібропереміщень елементів роторів, що дозволило обґрунтувати вібраційну надійність насосів запропонованих технічних проєктів насосних агрегатів.

8. На основі дослідження впливу податливості систем кріплення корпусу до фундаменту одержано значення динамічних навантажень на підшипникові опори та оцінено критичні частоти елементів насосного агрегату, що дозволило обґрунтувати відлаштування від резонансу відповідно до вимог

міжнародного стандарту ISO 1940-1:2003 «Mechanical vibration – Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state. Part 1: Specification and verification of balance tolerances (IDT)».

9. На основі запропонованих варіантів проточних частин насосів запропоновано нові конструктивні схеми вальцевих вузлів, ущільнень і муфт передачі обертального моменту, що дозволило забезпечити задані геометричні параметри, пов'язані з місцем експлуатації устаткування, та динамічні характеристики комплексної гідромеханічної системи.

10. Створено випробувальний стенд кіберзахищеної бортової системи безпілотного авіаційного комплексу для розпізнавання наземних природних, інфраструктурних об'єктів і транспортних засобів, що дозволяє розробляти та удосконалювати існуючі системи навігації, які працюють в напівавтоматичному та автоматичному режимі, кіберзахищені системи зв'язку безпілотного літального апарату в умовах невизначеності та використання систем радіоелектронного придушення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Burgmann Mechanical Seals Design Manual 15.0. – 144 p.
2. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.
3. Майер Э. Торцовые уплотнения. – М.: Машиностроение, 1978. – 288 с.
4. Марцинковский В.А., Ворона П.Н. Насосы атомных электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
5. ОСТ 26-06-1493-87. Уплотнения торцовые валов насосов. Типы. Основные параметры и размеры.
6. Загорулько А.В. Авторське право на твір. Комп'ютерна програма «ROLL_Торцеве ущільнення». Номер свідоцтва 109303 від 10.11.2021 - Номер заявки с202107535, 21.10.2021.
7. Kanemori Y., Iwatsobo T. Experimental Study of Dynamic Fluid Forces and Moments for a Long Annular seals// ASME Journal of Tribology, 1992, T.114, Oct., pp. – 773-778.
8. Загорулько А.В., Таран І.В. Авторське право на твір. Комп'ютерна програма «ROLL_ПОДШИПНИК». Номер рішення 6385 від 28.10.2021 - Номер заявки с202100398, 21.10.2021.
9. Довбиш А. С. Інформаційно-аналітична система оцінювання відповідності сучасним вимогам навчального контенту спеціальності кібербезпека // А. С. Довбиш, І. В. Шелехов, Ю. О. Хібовська, О. В. Матяш // Радіоелектронні та комп'ютерні системи, 2021. – №1. – С. 35–47. SCOPUS
10. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 104081. Комп'ютерна програма «Ідентифікація кадрів цифрового зображення регіону». Автори Довбиш А.С., Науменко І. В., Мироненко М. І. Савченко Т. Р. Дата реєстрації 15.04.2021 р.
11. Основи інформаційно-екстремального синтезу автоматизованої системи керування кіберзахистом / А.С. Довбиш, В.К. Ободяк, І.В. Шелехов, Д.В.

Великодний // в кн. «Сучасні інформаційні технології в кібербезпеці»: монографія; за ред. В.К. Ободяка і І.В. Шелехова– Суми: Сумський державний університет, 2021.–348 с.

12. Чисельне моделювання та оптимізація газодинамічних і вібраційних характеристик турбокомпресорів газоперекачувальних агрегатів та їх вузлів: звіт про НДР № 0109U001937 (заключний) / Кер. : В. А. Марцинковський. – Суми : СумДУ, 2012. – 307 с.

13. A. Dovbysh. Hierarchical Clustering Approach for Information-Extreme Machine Learning of Hand Brush Prosthesis / A. Dovbysh, V. Piatachenko // Proceedings of the 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2021), 2021, p.p. 1706-1715. SCOPUS

14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 106653. Комп'ютерна програма «Інформаційно-екстремальне машинне навчання системи розпізнавання емоційно-психічного стану людини за зображенням її обличчя». Автори Довбиш А.С., Шелехов І. В., Прилепа Д.В. Дата реєстрації 26.07.2021 р.

15. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 107707. Комп'ютерна програма «Ієрархічне машинне навчання системи керування протезом кінцівки руки з неінвазивним зчитуванням біосигналів». Автори Довбиш А.С., Шелехов І. В., П'ятаченко В.Ю. Дата реєстрації 01.09.2021 р.

16. X. Liu, S. Zhang, J. Tian, and L. Liu, "An onboard vision-based system for autonomous landing of a low-cost quadrotor on a novel landing pad," Sensors (Switzerland), vol. 19, no. 21, 2019, doi: 10.3390/s19214703.

17. V. Moskalenko, A. Dovbysh, I. Naumenko, A. Moskalenko and A. Korobov, "Improving the effectiveness of training the on-board object detection system for a compact unmanned aerial vehicle", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, no. 4/9 (94), pp. 19-26, 2018. doi: 10.15587/1729-4061.2018.139923

18. P. Gao, Y. Zhang, L. Zhang, R. Noguchi, and T. Ahamed, "Article development of a recognition system for spraying areas from unmanned aerial

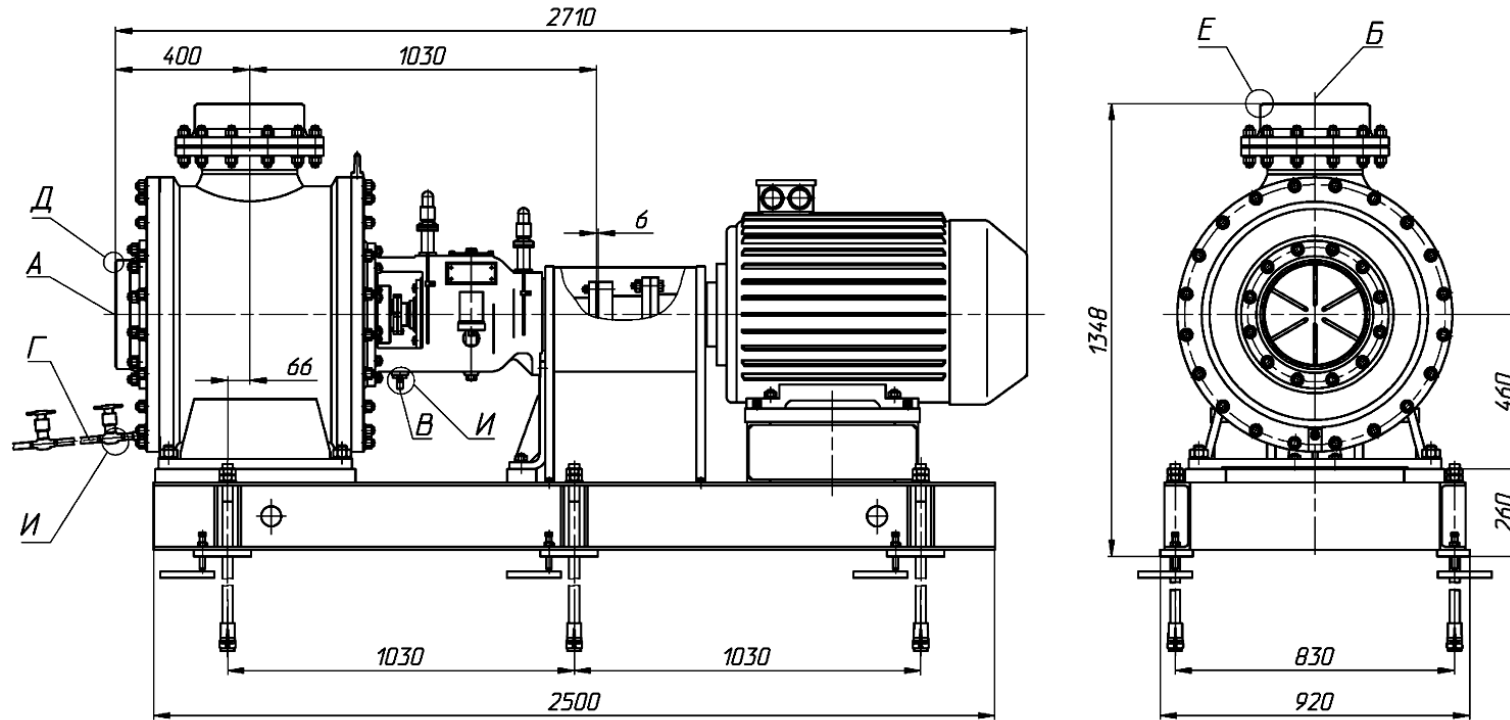
- vehicles using a machine learning approach,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 2, 2019, doi: 10.3390/s19020313.
19. N. Wang, Y. Wang, and M. J. Er, “Review on deep learning techniques for marine object recognition: Architectures and algorithms,” *Control Eng. Pract.*, 2020, doi: 10.1016/j.conengprac.2020.104458.
20. J. Chen, Y. Fang, and Y. K. Cho, “Performance evaluation of 3D descriptors for object recognition in construction applications,” *Autom. Constr.*, vol. 86, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.033.
21. Yanguo, Song; Huanjin, Wang (1 June 2009). "Design of Flight Control System for a Small Unmanned Tilt Rotor Aircraft". *Chinese Journal of Aeronautics*. 22 (3): 250–256. doi:10.1016/S1000-9361(08)60095-3.
22. Amos, Jonathan. Skynet military launch is delayed. *BBC News*. Retrieved 13 May 2010. Access mode: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7087910.stm>
23. 14. BAYKAR Unmanned Aerial Vehicle Systems. Access mode: <https://baykardefence.com/uav-15.html>.
24. Naumenko I., Myronenko M., Piatachenko V. Information-extreme learning of on-board system for recognition of ground vehicle. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019, p. 121 – 132.
25. Moskalenko V.V. Information-extreme algorithm of the system for recognition of objects on the terrain with optimization parameter feature extraction / A.G. Korobov, V.V. Moskalenko // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – Запоріжжя : ЗНТУ. – 2017. – №2. – С. 38-45.
26. M. Radovic, O. Adarkwa, and Q. Wang, “Object recognition in aerial images using convolutional neural networks,” *J. Imaging*, vol. 3, no. 2, 2017, doi: 10.3390/jimaging3020021.
27. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем / А.С. Довбиш.– Суми: Видавництво СумДУ, 2009.– 171 с.
28. Довбиш А.С. Інтелектуальні інформаційні технології в електронному навчанні / А.С. Довбиш, А.В. Васильєв, В.О. Любчак. – Суми: Видавництво СумДУ. – 2013. – 172 с.

29. Зимовець В. І. Моделі, методи та інформаційна технологія функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології (12 – Інформаційні технології). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021. – Науковий керівник : Довбиш А. С.
30. S.-j., Wu, N. Gebraeel, M. A. Lawley, Y. Yih, "A neural network integrated decision support system for condition-based optimal predictive maintenance policy. Systems", *Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans. IEEE Transactions*, vol. 37, no. 2, pp. 226–236, 2007.
31. S. Subbotin, "The neuro-fuzzy network synthesis and simplification on precedents in problems of diagnosis and pattern recognition", *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*, vol. 22, № 2, pp. 97-103, 2013. doi:10.3103/s1060992x13020082.
32. Y. Shi and M. Mizumoto, "An improvement of neuro-fuzzy learning algorithm for tuning fuzzy rules", *Fuzzy sets and systems*, vol. 118, no. 2, pp. 339-350, 2001.
33. A. Mukhopadhyay, U. Maulik and S. Bandyopadhyay "Multiobjective genetic algorithm-based fuzzy clustering of categorical attributes", *IEEE transactions on evolutionary computation*, vol. 13, no. 5, pp. 991-1005, 2009.
34. S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa, *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*, Springer, 2007.
35. Гриненко О. В., Савченко Т. Р. Інформаційна технологія розпізнавання наземних об'єктів. – Комплексна кваліфікаційна робота ОКР «бакалавр» за ОПП «Інформатика», спеціальність «122 Комп'ютерні науки». – Сумський державний університет, Суми, 2021. – Науковий керівник : Довбиш А. С.

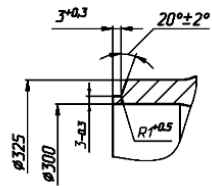
ДОДАТКИ

Додаток А
(довідковий)

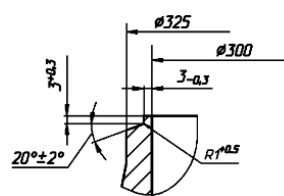
Габаритне креслення насосних агрегатів АЦНА 600-35 і АЦНА 600-35-1



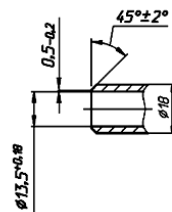
Д
Вхідний трубопровід



Е
Напірний трубопровід



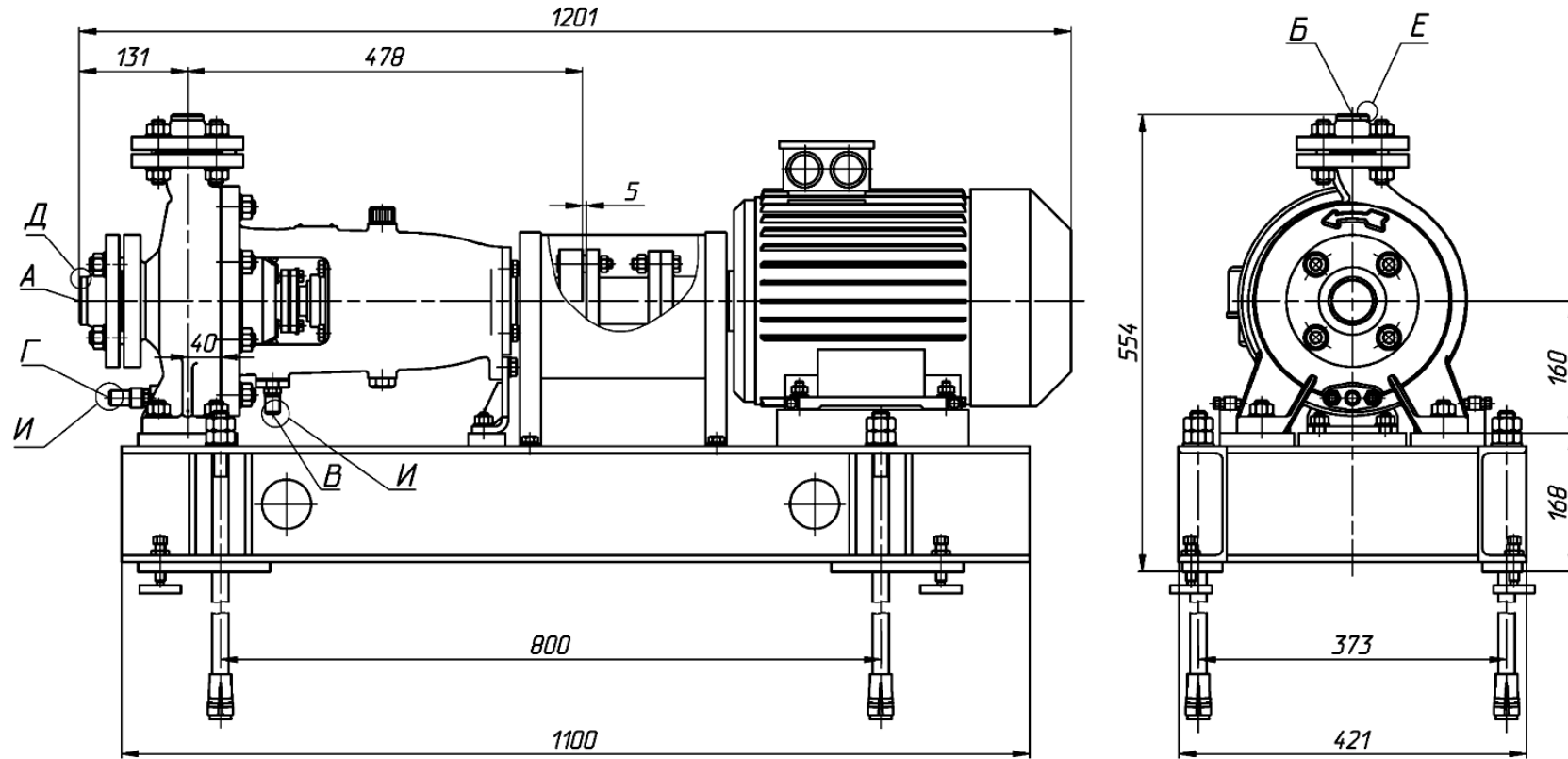
И
2 місця
Спороження та витоки



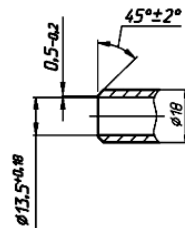
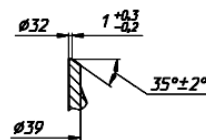
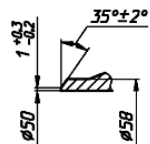
Таблиця А1 – Патрубки і штуцери

Позначення	Найменування	Кількість	Умовний прохід, мм	Сортамент і матеріал труб що стікуються
А	Вхідний патрубок	1	300	$\phi 325 \times 12$ 12X18H10T або 08X18H10T
Б	Напірний патрубок	1	300	$\phi 325 \times 12$ 12X18H10T або 08X18H10T
В	Злив витоків	1	15	$\phi 18 \times 2$ 12X18H10T або 08X18H10T
Г	Спороження насоса	1	15	$\phi 18 \times 2$ 12X18H10T або 08X18H10T

Габаритне креслення насосного агрегату АЦНА 8-60



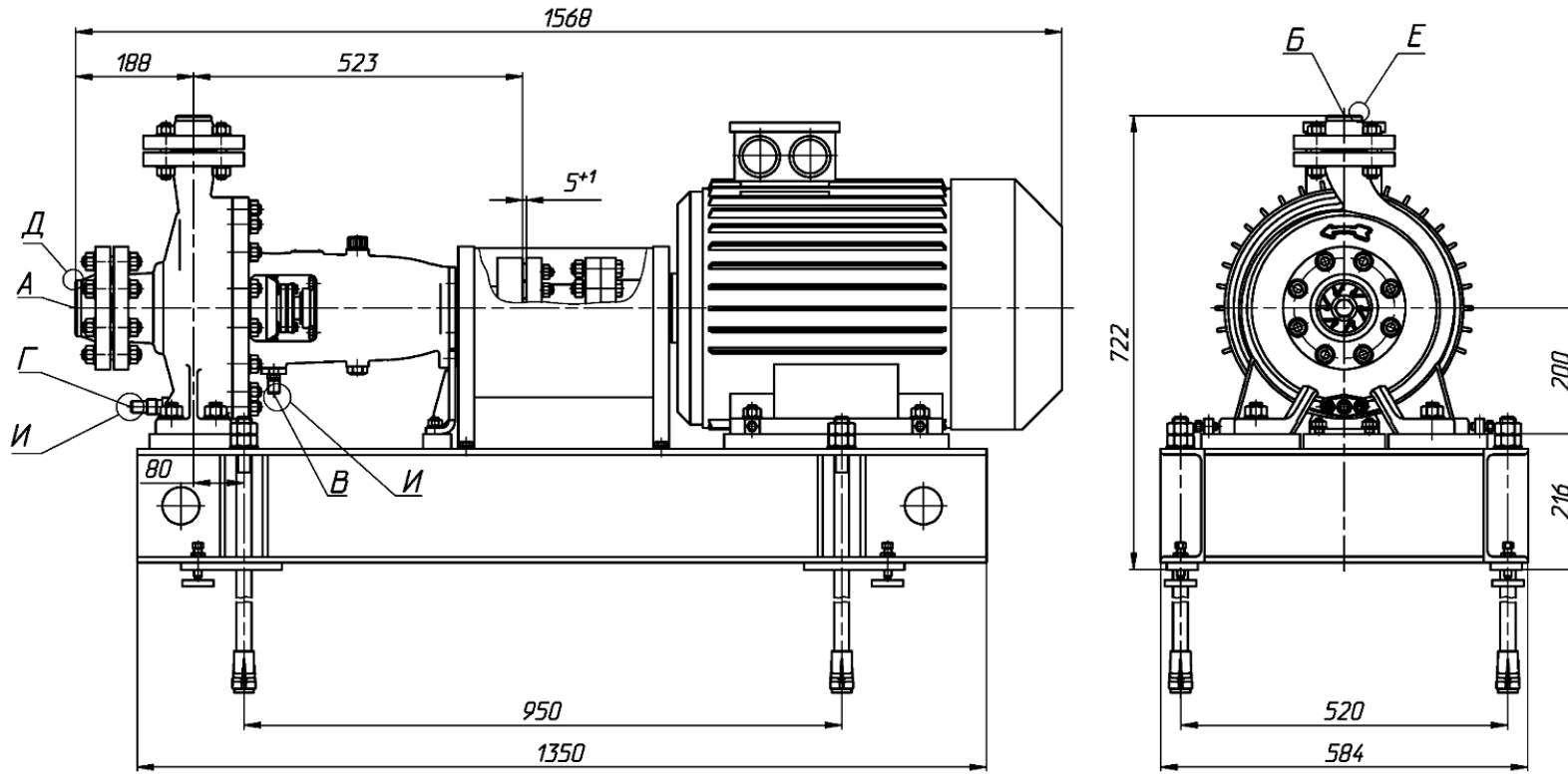
Д Вхідний трубопровід
 Е Напірний трубопровід
 И 2 місця
 Спорощення та витоки



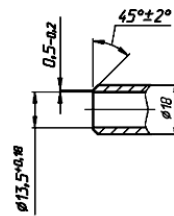
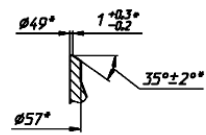
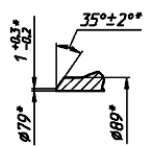
Таблиця А1 – Патрубки і штуцери

Позначення	Найменування	Кількість	Умовний прохід, мм	Сортамент і матеріал труди що стикуються
А	Вхідний патрубок	1	50	$\phi 57 \times 3,5$ 12X18H10T або 08X18H10T
Б	Напірний патрубок	1	32	$\phi 38 \times 3$ 12X18H10T або 08X18H10T
В	Злив витоків	1	15	$\phi 18 \times 2$ 12X18H10T або 08X18H10T
Г	Спорощення насоса	1	15	$\phi 18 \times 2$ 12X18H10T або 08X18H10T

Габаритне креслення насосного агрегату АЦНА 45-90



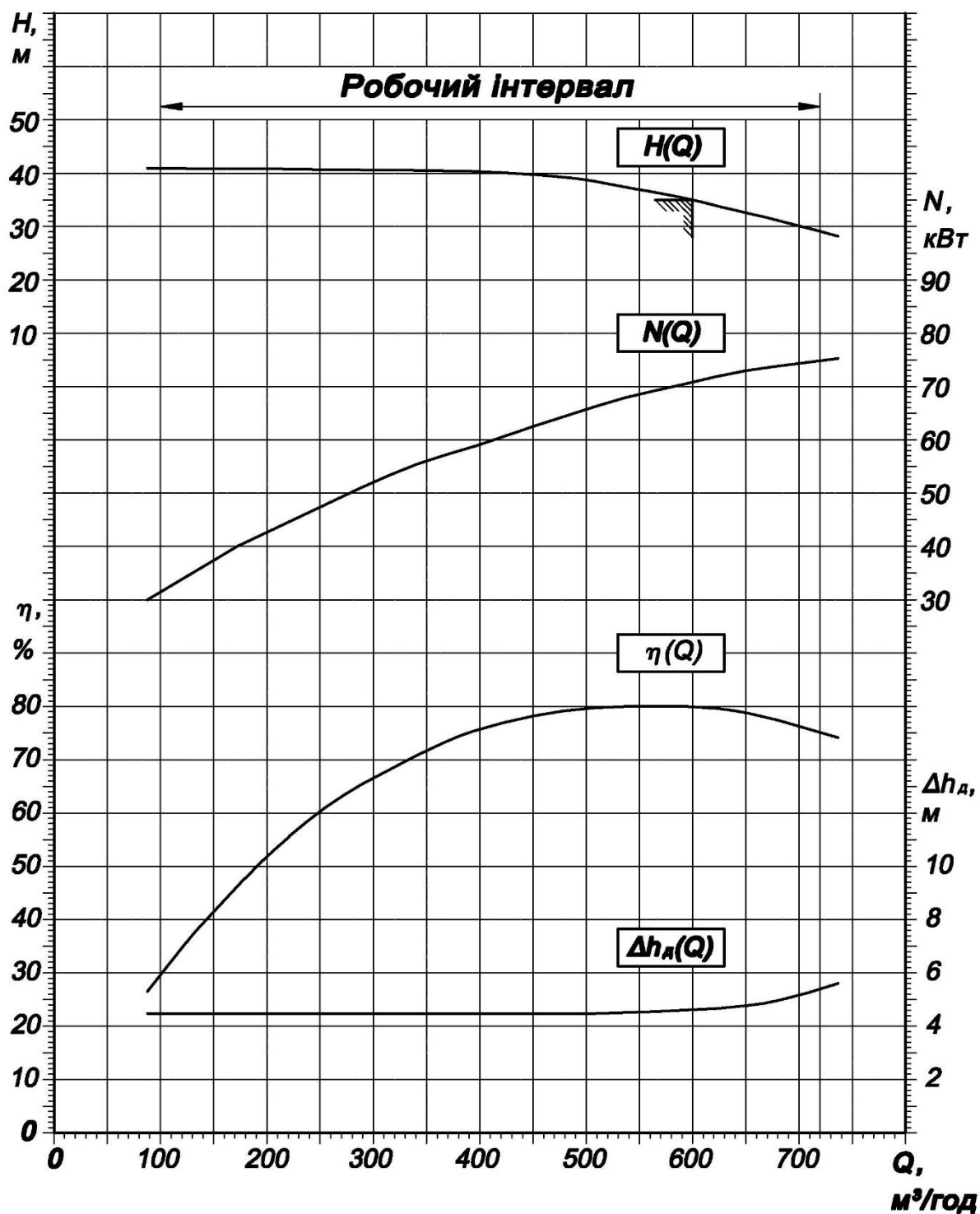
Д
Е
И
 Вхідний трубопровід Напірний трубопровід 2 місця
 Спорожнення та витоки



Таблиця А1 – Патрубки і штуцери

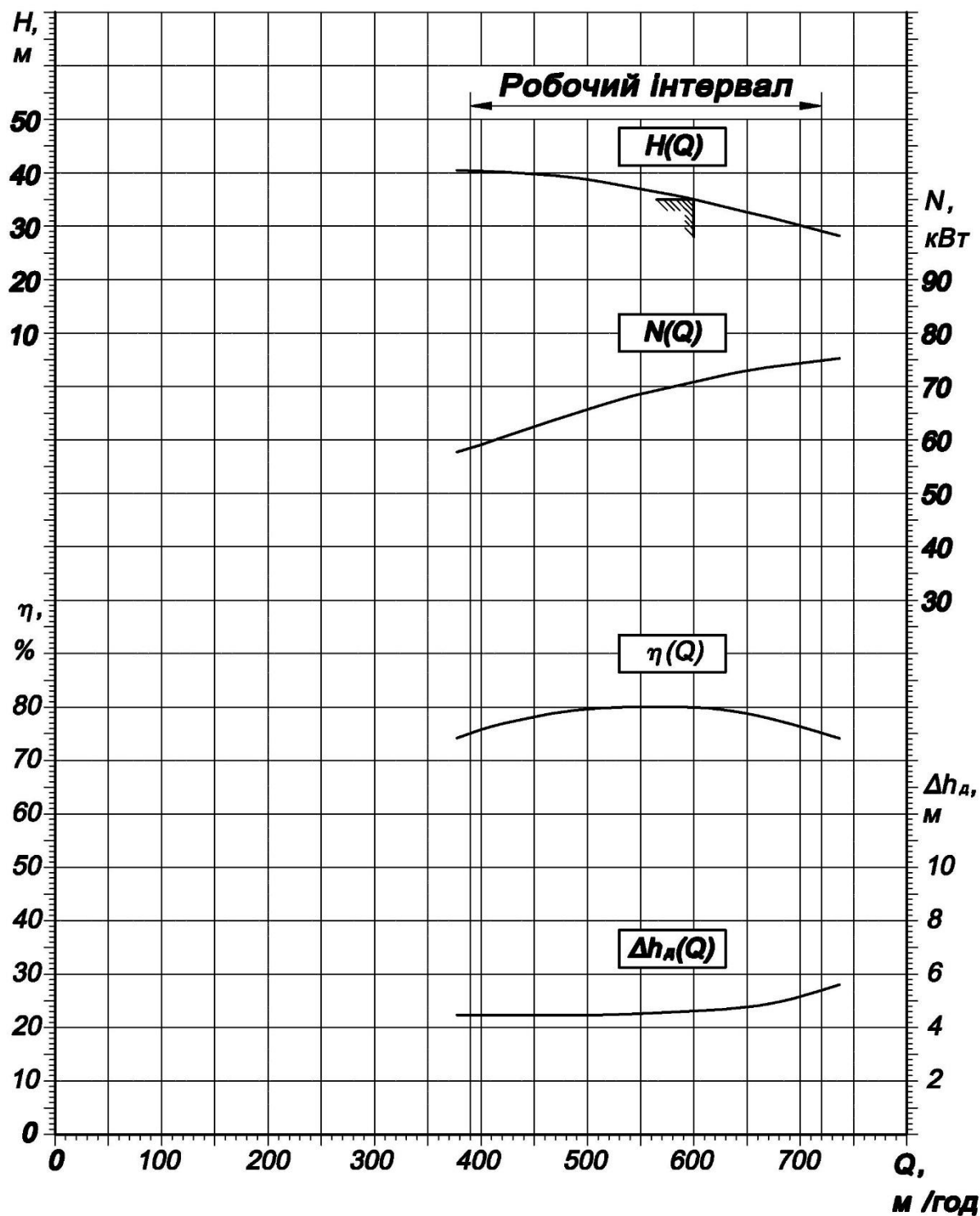
Позначення	Найменування	Кількість	Умовний прохід, мм	Сортамент і матеріал трубі що стикаються
А	Вхідний патрубок	1	80	Ø89x5 12X18H10T або 08X18H10T
Б	Напірний патрубок	1	50	Ø57x4 12X18H10T або 08X18H10T
В	Злив витоків	1	15	Ø18x2 12X18H10T або 08X18H10T
Г	Спорожнення насоса	1	15	Ø18x2 12X18H10T або 08X18H10T

Додаток Б
(обов'язковий)
Характеристики насосів



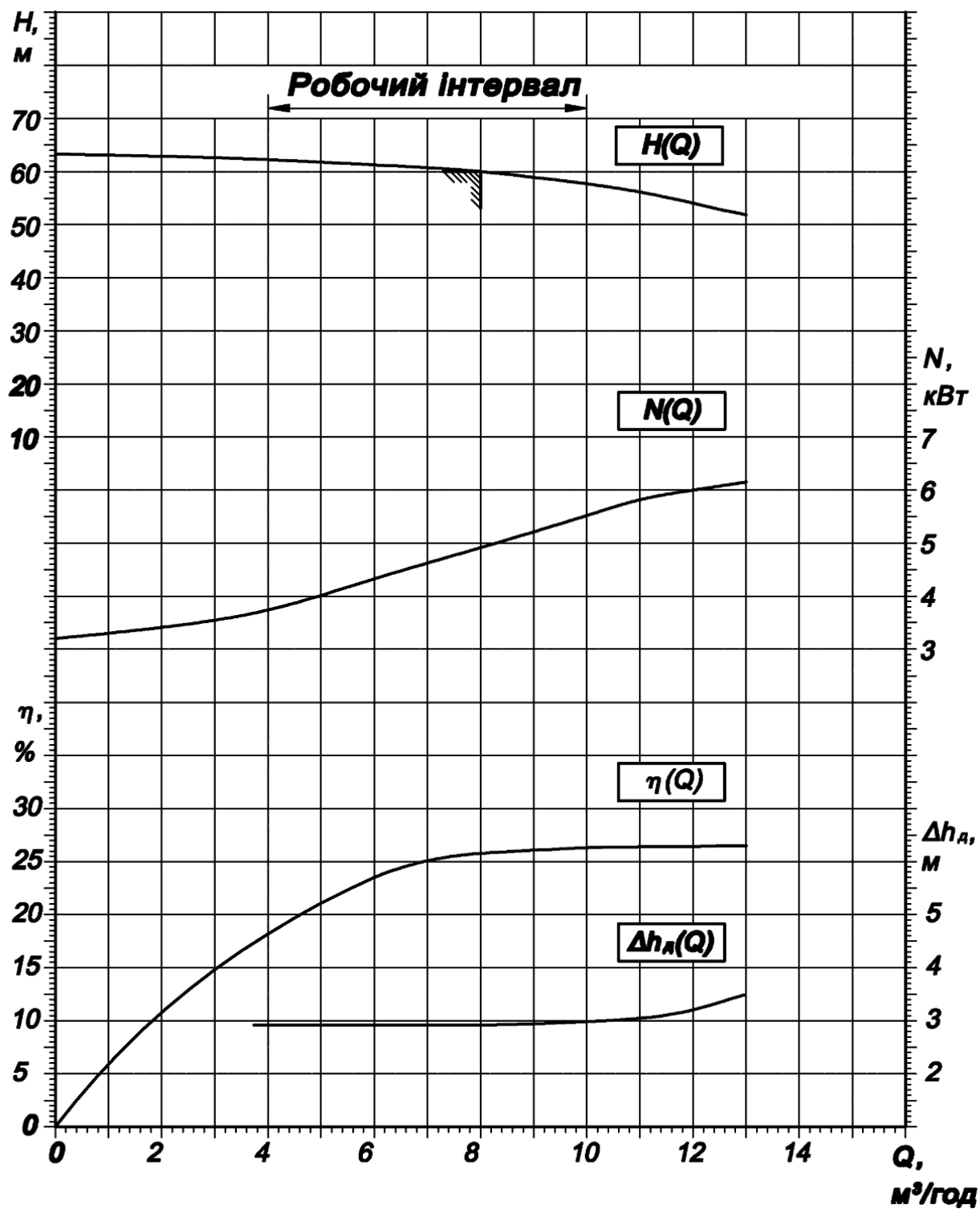
при $\rho=1005 \text{ кг/м}^3$, $n=1485 \text{ об/хв}$.

Рисунок Б.1 – Характеристика насоса ЦНА 600-35



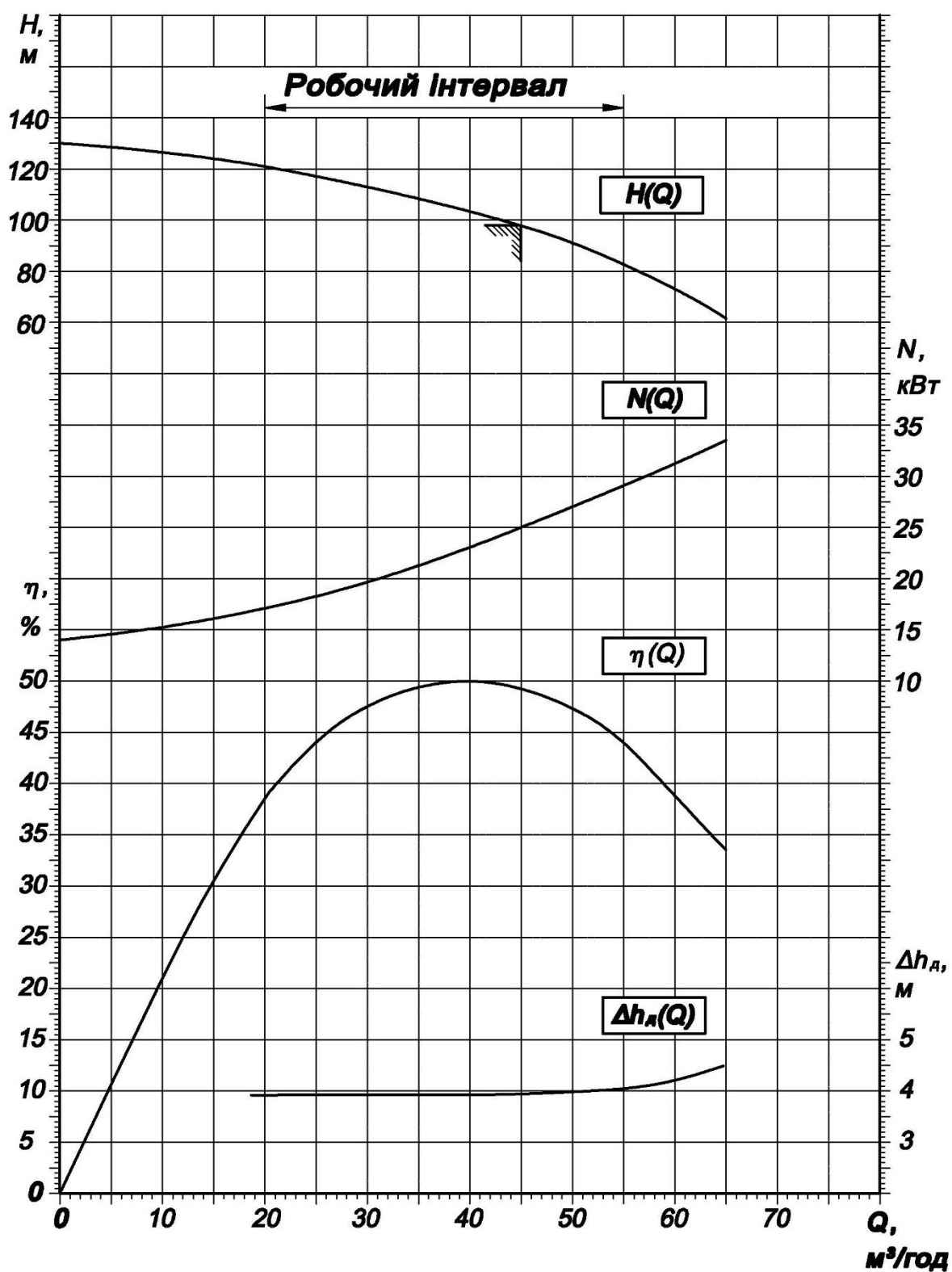
при $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, $n=1485 \text{ об/хв}$.

Рисунок Б.2 – Характеристика насоса ЦНА 600-35-1



при $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, $n=2915 \text{ об/хв}$.

Рисунок Б.3 – Характеристика насоса ЦНА 8-60



при $\rho=1005 \text{ кг/м}^3$, $n=2940 \text{ об/хв}$.

Рисунок Б.4 – Характеристика насоса ЦНА 45-90

Додаток В

(довідковий)

Основні технічні характеристики двигуна, що комплектно постачається з агрегатами

Таблиця В.1 – Технічні характеристики двигуна насосних агрегатів АЦНА 600-35 і АЦНА 600-35-1

Найменування показника	Величина показника
Потужність, кВт	110
Напруга мережі, В	380
Частота обертання (синхронна), об/хв	1485
Частота струму мережі, Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, %	95,1
Ступень захисту: – електродвигуна – ввідного пристрою	IP 54 IP 55
Кратність початкового пускового моменту	2,1
Кратність максимального моменту	2,0
Кратність початкового пускового струму	6,4
Клас нагрівостійкості згідно ГОСТ 8865-93	F
Маса, кг, не більше	742

Таблиця В.2 – Технічні характеристики двигуна насосного агрегату АЦНА 8-60

Найменування показника	Величина показника
Потужність, кВт	11
Напруга мережі, В	380
Частота обертання (синхронна), об/хв	2915
Частота струму мережі, Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, %	88,5
Ступень захисту: – електродвигуна – ввідного пристрою	IP 54 IP 55
Кратність початкового пускового моменту	2,5
Кратність максимального моменту	3,3
Кратність початкового пускового струму	8,0
Клас нагрівостійкості згідно ГОСТ 8865-93	F
Маса, кг, не більше	77,5

Таблиця В.3 – Технічні характеристики двигуна насосного агрегату АЦНА 45-90

Найменування показника	Величина показника
Потужність, кВт	37
Напруга мережі, В	380
Частота обертання (синхронна), об/хв	2940
Частота струму мережі, Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, %	93
Ступень захисту:	
– електродвигуна	IP 54
– ввідного пристрою	IP 55
Кратність початкового пускового моменту	2,3
Кратність максимального моменту	3,0
Кратність початкового пускового струму	7,4
Клас нагрівостійкості згідно ГОСТ 8865-93	F
Маса, кг, не більше	235

Додаток Г

(обов'язковий)

Допустимі навантаження на патрубки насосів

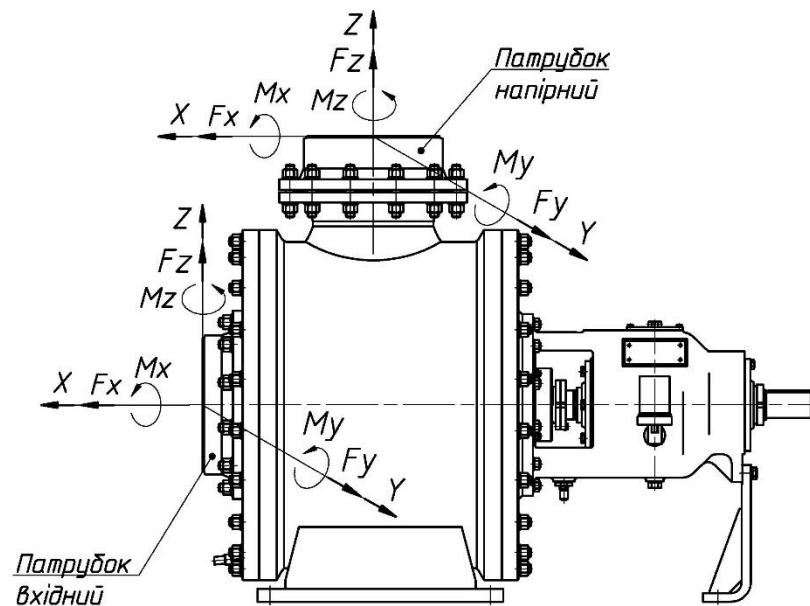


Рисунок Г.1 – Схема дії навантажень на патрубки насосів ЦНА 600-35 та ЦНА 600-35 -1

Таблиця Г.1 – Допустимі навантаження на патрубки насосів

Найменування навантаження	НУЕ		НУЕ+ПЗ НУЕ+МРЗ	
	Патрубок вхідний	Патрубок напірний	Патрубок вхідний	Патрубок напірний
Зусилля F_x , кН	$\pm 7,67$	$\pm 6,67$	$\pm 11,9$	$\pm 9,8$
Зусилля F_y , кН	$\pm 8,00$	$\pm 5,34$	$\pm 9,8$	$\pm 8,0$
Зусилля F_z , кН	$\pm 5,34$	$\pm 8,00$	$\pm 8,0$	$\pm 11,9$
Результуюче зусилля F_r , кН	11,7	11,7	17,3	17,3
Момент M_x , кН·м	$\pm 6,10$	$\pm 6,10$	$\pm 9,0$	$\pm 9,0$
Момент M_y , кН·м	$\pm 2,98$	$\pm 2,98$	$\pm 4,4$	$\pm 4,4$
Момент M_z , кН·м	$\pm 4,61$	$\pm 4,61$	$\pm 6,8$	$\pm 6,8$
Результуючий момент M_r , кН·м	8,21	8,21	12,1	12,1

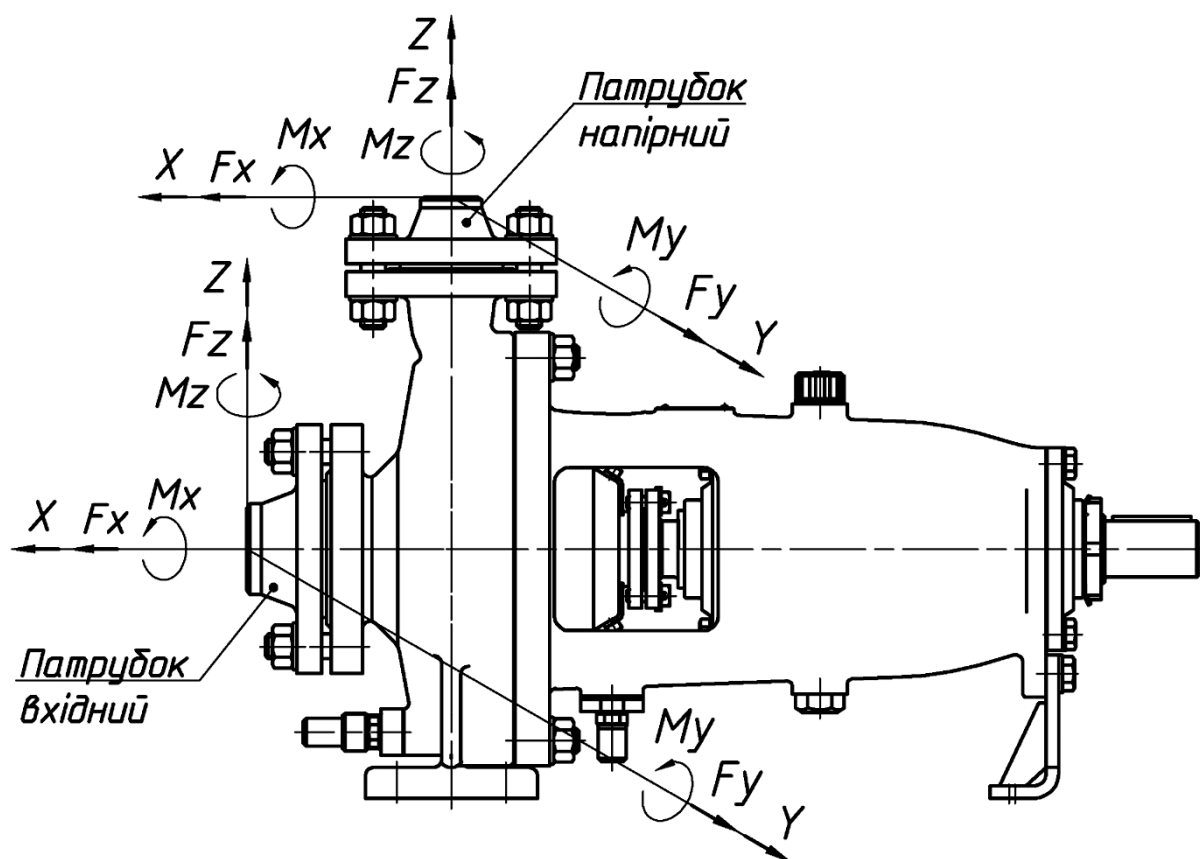


Рисунок Г.2 – Схема дії навантажень на патрубки насоса ЦНА 8-60

Таблиця Г.2 – Допустимі навантаження на патрубки насосів

Найменування навантаження	НУЕ		НУЕ+ПЗ	
	Патрубок вхідний	Патрубок напірний	Патрубок вхідний	Патрубок напірний
Зусилля F_x , Н	± 710	± 710	± 1060	± 1060
Зусилля F_y , Н	± 890	± 580	± 1330	± 860
Зусилля F_z , Н	± 580	± 890	± 860	± 1330
Результуюче зусилля F_r , Н	1280	1280	1900	1900
Момент M_x , Н·м	± 46	± 46	± 68	± 68
Момент M_y , Н·м	0	0	0	0
Момент M_z , Н·м	± 23	± 23	± 34	± 34
Результуючий момент M_r , Н·м	0	0	0	0

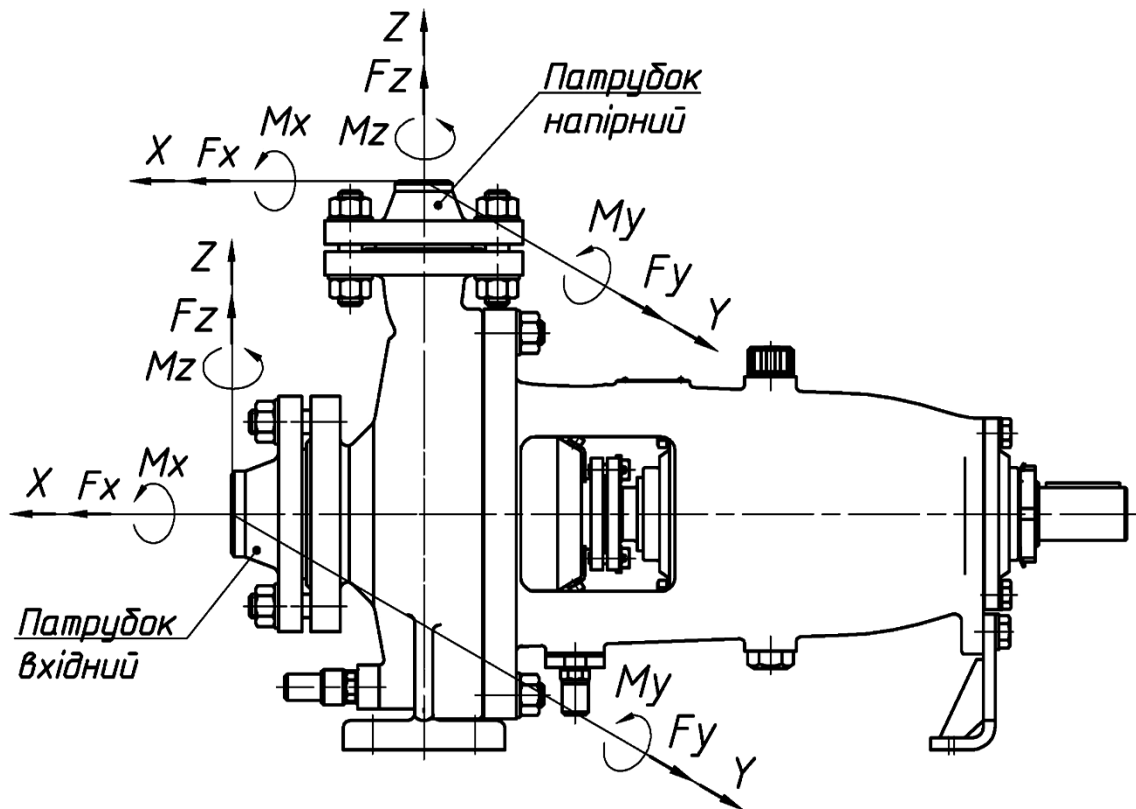


Рисунок Г.3 – Схема дії навантажень на патрубки насоса ЦНА 45-90

Таблиця Г.3 – Допустимі навантаження на патрубки насосів

Найменування навантаження	НУЕ		НУЕ+ПЗ	
	Патрубок вхідний	Патрубок напірний	Патрубок вхідний	Патрубок напірний
Зусилля F_x , Н	± 1070	± 710	± 1600	± 1060
Зусилля F_y , Н	± 1330	± 580	± 1990	± 860
Зусилля F_z , Н	± 890	± 890	± 1330	± 1330
Результуюче зусилля F_r , Н	1930	1280	2890	1900
Момент M_x , Н·м	± 950	± 46	± 1400	± 68
Момент M_y , Н·м	± 470	0	± 700	0
Момент M_z , Н·м	± 720	± 23	± 1080	± 34
Результуючий момент M_r , Н·м	1280	0	1920	0

Додаток Д
(довідковий)

Матеріали основних деталей насосів (агрегатів)

Таблиця Д.1 – Матеріали основних деталей насосів (агрегатів)

Найменування	Матеріал	Нормативний документ
Корпус	Сталь 12Х18Н10Т або Сталь 08Х18Н10Т	ГОСТ 5632-2014
Кришка напірна	Сталь 12Х18Н10Т або Сталь 08Х18Н10Т	ГОСТ 5632-2014
Кришка вхідна	Сталь 12Х18Н10Т або Сталь 08Х18Н10Т	ГОСТ 5632-2014
Кронштейн	Сталь 20Х13Л	ГОСТ 977-88
Колесо робоче	Сталь 20Х13Л	ГОСТ 977-88
Вал	Сталь 14Х17Н2	ГОСТ 5632-2014
Кільце щілинне	Сталь 30Х13	ГОСТ 5632-2014
Контрфланці на вхідний і напірний патрубку корпусу	Сталь 12Х18Н10Т або Сталь 08Х18Н10Т	ГОСТ 5632-2014
Основні деталі торцевого ущільнення	Сталь 12Х18Н10Т або Сталь 08Х18Н10Т	ГОСТ 5632-2014
Рама	Вуглецеві сталі	
Деталі муфти	Леговані сталі	

Додаток Е
(обов'язковий)

Перелік запасних частин, що комплектно постачається з кожним насосом

Таблиця Е.1 – Перелік запасних частин, що комплектно постачається з насосом

Найменування	Кількість
Кільця щілинні	1 компл.
Кільця гумові до насоса і торцевого ущільнення	2 компл.
Прокладки для ущільнення фланцевих з'єднань	1 компл.
Шайби (стопорні для круглих гайок)	1 компл.
Термоперетворювач опору	1 шт.
Мастило для змащення підшипників насоса	4 л
<p>Примітки:</p> <p>1 Запасні частини до покупних виробів постачаються згідно з відомостями в їх експлуатаційної документації.</p> <p>2 Перелік може уточнюватися під час укладання контракту (договору) на поставку агрегату.</p>	

Додаток Є
(обов'язковий)

**Перелік інструменту та пристосувань, що комплектно постачаються
на блок АЕС з кожним насосом**

Таблиця Є.1 – Перелік інструменту та пристосувань, що комплектно постачаються на блок

Найменування	Кількість
Пристосування для зняття напівмуфти двигуна і насоса	1 шт.
Ключі спеціальні	1 компл.
Гвинти (віджимні)	1 компл.
<p>Примітки:</p> <p>1 Інструмент та пристосування до покупних виробів постачаються згідно з відомостями в їх експлуатаційної документації.</p> <p>2 Перелік може уточнюватися під час укладання контракту (договору) на поставку агрегату.</p>	

Додаток Ж

(довідковий)

Перелік експлуатаційної, ремонтної та технічної документації, що комплектно постачається з агрегатами

Таблиця Ж.1 – Перелік експлуатаційної, ремонтної та технічної документації,
що комплектно постачається з партією агрегатів АЦНА 600-35

Найменування документа	Позначення документа	Примітки
Насосні агрегати типу ЦН 600-35. Технічне завдання	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ТЗ	
Насосний агрегат ЦН 600-35. Відомість експлуатаційних документів	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ВЭ	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Інструкція з експлуатації	НЕЦ.150111-01.01.000.00 РЭ	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Завдання на фундамент	НЕЦ.150111-01.01.000.00 Д1	
Насосний агрегат ЦН 600-35. Схема гідравлічна принципова	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ГЗ	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Інструкція з консервації, упаковування, транспортування і зберігання	НЕЦ.150111-01.01.000.00 И	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Технічні вимоги на автоматику і КВП	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ДЗ	
Насос ЦН 600-35. Відомість запасних частин	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ЗИ	
Насос ЦН 600-35. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ПС	
Корпус насоса. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.01.000.00 П	
Насос типу ЦНА 600-35. Технічні умови на ремонт	НЕЦ.150111-01.01.000.00 УК	

Насосний агрегат АЦНА 600-35	НЕЦ.150111-01.01.000.00	
Насосний агрегат АЦНА 600-35. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.000.00 МЧ	
Насос ЦНА 600-35	НЕЦ.150111-01.01.100.00	
Насос ЦНА 600-35. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.100.00 СБ	
Насос типу ЦН 600-35. Виписка з розрахунків на міцність і сейсмостійкість	НЕЦ.150111-01.01.000.00 В	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.01.100.00 ТБ1	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.01.100.00 ТБ2	
Ротор	НЕЦ.150111-01.01.130.00	
Ротор Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.130.00 СБ	
Ущільнення торцеве	НЕЦ.150111-01.01.150.00	
Ущільнення торцеве Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.150.00 СБ	
Декларація про відповідність Технічному регламенту низьковольтного електричного обладнання		
Декларація про відповідність Технічному регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском		
<p>¹⁾ Постачається з кожним насосом.</p> <p>Примітки:</p> <p>1 В комплект постачання входить експлуатаційна документація на покупні вироби.</p> <p>2 Спільно з експлуатаційною документацією на насоси поставляються сертифікати на основні матеріали деталей насоса, а також протоколи випробувань.</p> <p>3 Кількість екземплярів документації – згідно договору (контракту) на поставку.</p>		

Таблиця Ж.2 – Перелік експлуатаційної, ремонтної та технічної документації,
що комплектно постачається з партією агрегатів АЦНА 600-35-1

Найменування документа	Позначення документа	Примітки
Насосні агрегати типу ЦН 600-35. Технічне завдання	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ТЗ	
Насосний агрегат ЦН 600-35-1. Відомість експлуатаційних документів	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01 ВЭ	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Інструкція з експлуатації	НЕЦ.150111-01.01.000.00 РЭ	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Завдання на фундамент	НЕЦ.150111-01.01.000.00 Д1	
Насосний агрегат ЦН 600-35-1. Схема гідравлічна принципова	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01 ГЗ	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Інструкція з консервації, упаковування, транспортування і зберігання	НЕЦ.150111-01.01.000.00 И	
Насосний агрегат типу ЦН 600-35. Технічні вимоги на автоматику і КВП	НЕЦ.150111-01.01.000.00 ДЗ	
Насос ЦН 600-35-1. Відомість запасних частин	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01 ЗИ	
Насос ЦН 600-35-1. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01 ПС	
Корпус насоса. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01 П	
Насос типу ЦНА 600-35. Технічні умови на ремонт	НЕЦ.150111-01.01.000.00 УК	
Насосний агрегат АЦНА 600-35-1	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01	
Насосний агрегат АЦНА 600-35-1. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.000.00- 01 МЧ	
Насос ЦНА 600-35-1	НЕЦ.150111-01.01.100.00- 01	

Насос ЦНА 600-35-1. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.100.00-01 СБ	
Насос типу ЦН 600-35. Виписка з розрахунків на міцність і сейсмостійкість	НЕЦ.150111-01.01.000.00 В	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.01.100.00 ТБ1	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.01.100.00 ТБ2	
Ротор	НЕЦ.150111-01.01.130.00	
Ротор Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.130.00 СБ	
Ущільнення торцеве	НЕЦ.150111-01.01.150.00	
Ущільнення торцеве Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.01.150.00 СБ	
Декларація про відповідність Технічному регламенту низьковольтного електричного обладнання		
Декларація про відповідність Технічному регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском		
<p>¹⁾ Постачається з кожним насосом.</p> <p>Примітки:</p> <p>1 В комплект постачання входить експлуатаційна документація на покупні вироби.</p> <p>2 Спільно з експлуатаційною документацією на насоси поставляються сертифікати на основні матеріали деталей насоса, а також протоколи випробувань.</p> <p>3 Кількість екземплярів документації – згідно договору (контракту) на поставку.</p>		

Таблиця Ж.3 – Перелік експлуатаційної, ремонтної та технічної документації,
що комплектно постачається з партією агрегатів АЦНА 8-60

Найменування документа	Позначення документа	Примітки
Насосні агрегати АЦНА 8-60. Технічне завдання	НЕЦ.150111-01.02.000.00 ТЗ	
Насосний агрегат АЦНА 8-60. Відомість експлуатаційних документів	НЕЦ.150111-01.02.000.00 ВЭ	
Насосний агрегат АЦНА 8-60. Інструкція з експлуатації	НЕЦ.150111-01.02.000.00 РЭ	
Насосний агрегат АЦНА 8- 60. Завдання на фундамент	НЕЦ.150111-01.02.000.00 Д1	
Насосний агрегат АЦНА 8-60. Схема гідравлічна принципова	НЕЦ.150111-01.02.000.00 ГЗ	
Насосний агрегат АЦНА 8- 60. Інструкція з консервації, упаковування, транспортування і зберігання	НЕЦ.150111-01.02.000.00 И	
Насосний агрегат АЦНА 8-60. Відомість запасних частин	НЕЦ.150111-01.02.000.00 ЗИ	
Насосний агрегат АЦНА 8-60. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.02.000.00 ПС	
Корпус насоса. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.02.000.00 П	
Насос ЦНА 8-60. Технічні умови на ремонт	НЕЦ.150111-01.02.000.00 УК	
Насосний агрегат АЦНА 8-60	НЕЦ.150111-01.02.000.00	
Насосний агрегат АЦНА 8-60. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.02.000.00 МЧ	
Насос ЦНА 8-60	НЕЦ.150111-01.02.100.00	
Насос ЦНА 8-60. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.02.100.00 СБ	

Насосний агрегат АЦНА 8-60. Виписка з розрахунків на міцність і сейсмостійкість	НЕЦ.150111-01.02.000.00 В	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.02.100.00 ТБ1	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.02.100.00 ТБ2	
Ротор	НЕЦ.150111-01.02.130.00	
Ротор Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.02.130.00 СБ	
Ущільнення торцеве	НЕЦ.150111-01.02.150.00	
Ущільнення торцеве Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.02.150.00 СБ	
Декларація про відповідність Технічному регламенту низьковольтного електричного обладнання		
Декларація про відповідність Технічному регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском		
<p>¹⁾ Постачається з кожним насосом.</p> <p>Примітки:</p> <p>1 В комплект постачання входить експлуатаційна документація на покупні вироби.</p> <p>2 Спільно з експлуатаційною документацією на насоси поставляються сертифікати на основні матеріали деталей насоса, а також протоколи випробувань.</p> <p>3 Кількість екземплярів документації – згідно договору (контракту) на поставку.</p>		

Таблиця Ж.4 – Перелік Експлуатаційної, ремонтної та технічної документації,
що комплектно постачається з партією агрегатів АЦНА 45-90

Найменування документа	Позначення документа	Примітки
Насосні агрегати АЦНА 45-90. Технічне завдання	НЕЦ.150111-01.03.000.00 ТЗ	
Насосний агрегат АЦНА 45-90. Відомість експлуатаційних документів	НЕЦ.150111-01.03.000.00 ВЭ	
Насосний агрегат АЦНА 45-90. Інструкція з експлуатації	НЕЦ.150111-01.03.000.00 РЭ	
Насосний агрегат АЦНА 45- 90. Завдання на фундамент	НЕЦ.150111-01.03.000.00 Д1	
Насосний агрегат АЦНА 45-90. Схема гідравлічна принципова	НЕЦ.150111-01.03.000.00 ГЗ	
Насосний агрегат АЦНА 45- 90. Інструкція з консервації, упаковування, транспортування і зберігання	НЕЦ.150111-01.03.000.00 И	
Насосний агрегат АЦНА 45-90. Відомість запасних частин	НЕЦ.150111-01.03.000.00 ЗИ	
Насосний агрегат АЦНА 45-90. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.03.000.00 ПС	
Корпус насоса. Паспорт ¹⁾	НЕЦ.150111-01.03.000.00 П	
Насос ЦНА 45-90. Технічні умови на ремонт	НЕЦ.150111-01.03.000.00 УК	
Насосний агрегат АЦНА 45-90	НЕЦ.150111-01.03.000.00	
Насосний агрегат АЦНА 45-90. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.03.000.00 МЧ	
Насос ЦНА 45-90	НЕЦ.150111-01.03.100.00	
Насос ЦНА 45-90. Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.03.100.00 СБ	

Насосний агрегат АЦНА 45-90. Виписка з розрахунків на міцність і сейсмостійкість	НЕЦ.150111-01.03.000.00 В	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.03.100.00 ТБ1	
Корпус насоса. Таблиця контролю якості	НЕЦ.150111-01.03.100.00 ТБ2	
Ротор	НЕЦ.150111-01.03.130.00	
Ротор Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.03.130.00 СБ	
Ущільнення торцеве	НЕЦ.150111-01.03.150.00	
Ущільнення торцеве Складальне креслення	НЕЦ.150111-01.03.150.00 СБ	
Декларація про відповідність Технічному регламенту низьковольтного електричного обладнання		
Декларація про відповідність Технічному регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском		
<p>¹⁾ Постачається з кожним насосом.</p> <p>Примітки:</p> <p>1 В комплект постачання входить експлуатаційна документація на покупні вироби.</p> <p>2 Спільно з експлуатаційною документацією на насоси поставляються сертифікати на основні матеріали деталей насоса, а також протоколи випробувань.</p> <p>3 Кількість екземплярів документації – згідно договору (контракту) на поставку.</p>		

Додаток К

(приклад)

**Значення спектральних прискорень на відмітках встановлення насосів
(агрегатів) для енергоблоків № 3, 4 ВП «Хмельницька АЕС»**

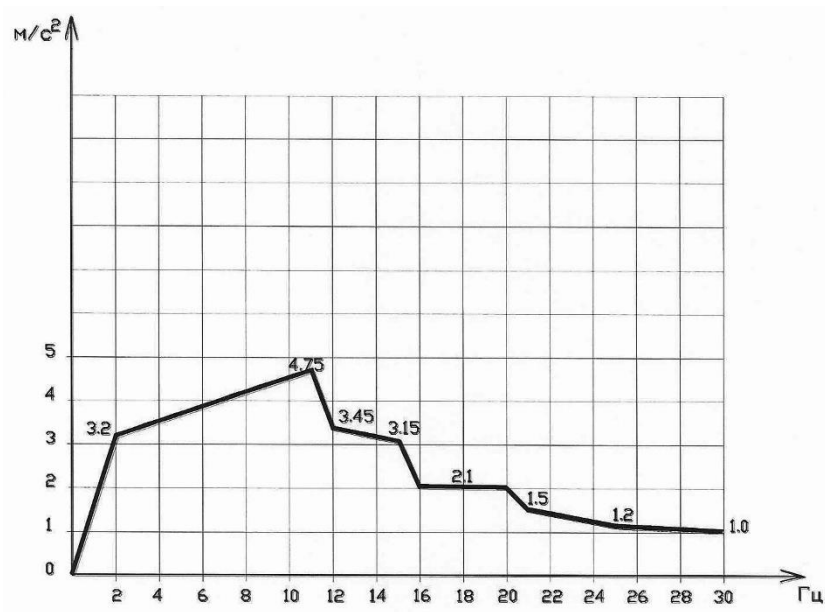


Рисунок К.1 – Узагальнений спектр відповіді при горизонтальних коливаннях реакторного відділення на відмітках 0,000, -4,200.

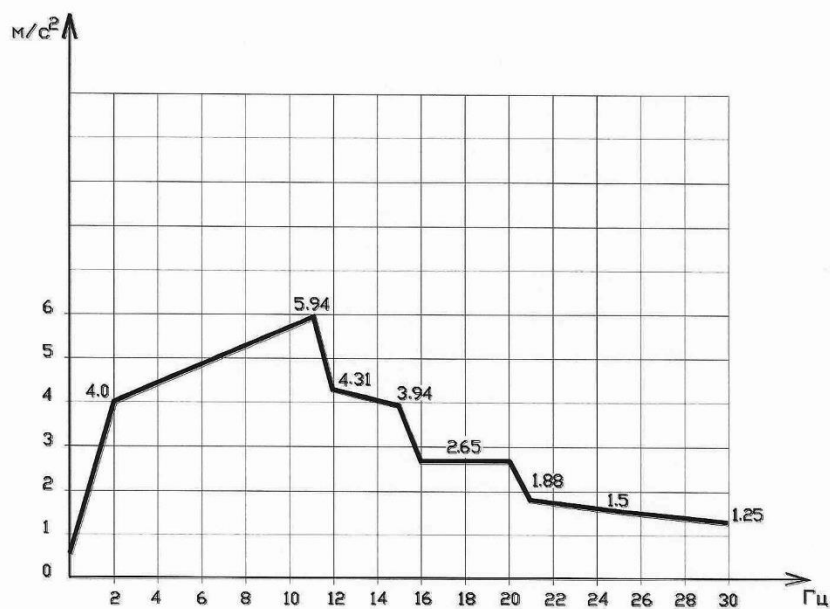


Рисунок К.2 – Узагальнений спектр відповіді при горизонтальних коливаннях реакторного відділення на відмітках 4,500, 6,000, 13,200

Вертикальні компоненти прийняти за горизонтальними з коефіцієнтом 0,5.

Додаток Л
(обов'язковий)

Перелік документів, на які є посилання в цьому технічному завданні

Таблиця Л.1 – Перелік документів, на які є посилання

Позначення документа	Найменування документа
ГОСТ 2.102-68	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды и комплектность конструкторских документов
ГОСТ 2.105-95	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам
ГОСТ 2.106-96	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы
ГОСТ 2.301-68	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Форматы
ГОСТ 2.503-90	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила внесения изменений
ГОСТ 12.1.004-91	Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования
ГОСТ 12.2.007.1-75	Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Машины электрические вращающиеся. Общие требования безопасности
ГОСТ 183-74	Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования
ГОСТ 8865-93	Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация
ГОСТ 9972-74	Масла нефтяные турбинные с присадками. Технические условия
ГОСТ 14192-96	Маркировка грузов
ГОСТ 15150-69	Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия

	климатических факторов внешней среды
ГОСТ 22061-76	Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки
ГОСТ 26645-85	Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку
ДСТУ 2540-94	Виливки сталеві по витоплюваних моделях. Загальні технічні умови
ДСТУ 2733-94	Корозія та тимчасовий протикорозійний захист металевих виробів. Терміни та визначення
ДСТУ 8634:2016	Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Настанови щодо розроблення та поставлення на виробництво нехарчової продукції
ДСТУ 8781:2018	Виливки зі сталі. Загальні технічні умови
ДСТУ 8828:2019	Пожежна безпека. Загальні положення
ДСТУ Б В.1.1-36:2016	Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
ДСТУ ГОСТ 2.601:2006 (ГОСТ 2.601-2006)	Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи
ДСТУ ГОСТ 6134:2009	Насоси динамічні. Методи випробування
ДСТУ ГОСТ 16093:2018 (ГОСТ 16093-2004)	Основні норми взаємозамінності. Нарізь метрична. Допуски. Посадки із зазором
ДСТУ EN 809:2015	Насоси та насосні агрегати для рідин. Загальні вимоги щодо безпеки
ДСТУ EN 60034-5:2015 (EN 60034-5:2001/A1:2007)	Машины електричні обертові. Частина 5. Ступені захисту, забезпечувані цілісною конструкцією обертових електричних машин (IP-код). Класифікація

ДСТУ ISO 2768-2-2001	Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків
ДСТУ ISO 6309:2007	Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір
ДСТУ ISO 6590-2:2006	Пакування. Мішки. Словник термінів та типи. Частина 2. Мішки з термопластичної гнучкої плівки
ДСТУ ISO 12944-2:2019	Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 2. Класифікація середовищ
ДСТУ ISO 12944-5:2019	Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5. Захисні лакофарбові системи
НП 306.1.190-2012	Загальні вимоги до системи управління діяльністю у сфері використання ядерної енергії
НП 306.2.141-2008	Загальні положення безпеки атомних станцій
НП 306.2.208-2016	Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій
НП 306.2.227-2020	Загальні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації обладнання й трубопроводів атомних станцій
НПАОП 0.00-1.69-13	Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок
НПАОП 0.00-1.75-15	Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт
ПН АЭ Г-7-002-86	Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок
СОУ НАЕК 009:2013	Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий визуальный и измерительный. Методика контроля основных материалов, сварных соединений и наплавов оборудования и трубопроводов АЭУ
СОУ НАЕК 014:2013	Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий капиллярный. Методика контроля основных материалов

	(полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ
СОУ НАЕК 027:2014	Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий ультразвуковой. Методика контроля основных материалов (полуфабрикатов)
СОУ НАЕК 032:2014	Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий ультразвуковой. Методика контроля сварных соединений и наплавки
СОУ НАЕК 039:2013	Управління закупівлями продукції. Система оцінки відповідності продукції. Оцінювання продукції на етапі виробництва
СОУ НАЕК 050:2015	Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий радиографический. Методика контроля сварных соединений и наплавки
СОУ НАЕК 072:2014	Управління закупівлями продукції. Система оцінки відповідності продукції. Оцінювання відповідності тепломеханічної продукції на етапі виготовлення. Насосне устаткування, трубопровідна арматура, елементи трубопроводів
СОУ НАЕК 077:2015	Управління закупівлями продукції. «Технічні умови», «Технічні специфікації» та «Технічні завдання» на продукцію для АЕС. Порядок розроблення, розгляду, погодження та поводження
СОУ НАЕК 158:2020	Обеспечение технической безопасности. Технические требования к устройству и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных электрических станций с реакторами ВВЭР
СОУ НАЕК 159:2020	Обеспечение технической безопасности. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных электрических станций с реакторами ВВЭР. Технические требования
СОУ НАЕК 160:2020	Обеспечение технической безопасности. Контроль качества основного металла, сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных электрических станций с реакторами ВВЭР. Технические требования

ПРБ АС-89	Правила и нормы в атомной энергетике. Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций
ПУЕ	Правила улаштування електроустановок (у редакції 2017 року)

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 109033

Комп'ютерна програма «ДИПРОТОР»
(вид, назва службового твору)

Автор(и) Загорулько Андрій Васильович
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать **Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007**
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 2 листопада 2021 р.

**Т.в.о. Генерального директора
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»**

 **Петро ІВАНЕНКО**


«УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»
Ідентифікаційний код 31032378
М.П.

УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • УКРАЇНА • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE • UKRAINE





Додаток Н
(ДОВІДКОВИЙ)

Акти впровадження та апробація одержаних результатів



TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE
Faculty of Manufacturing Technologies

Dean's Office FMT TUKE with a seat inPrešov
Bayerova 1, 080 01 Prešov,Slovak Republic

Dr. Oleksandr Ratushnyi, Ph.D.,
Department of Applied
Hydroaeromechanics,
Faculty of Technical Systems
and Energy Efficient Technologies,
Sumy State University,
2, Rymaskogo-Korsakova St.,
Sumy, 40007, Ukraine

Your ref.	Our ref.	Attended to by/contact	Prešov / Date
			Knapčíkova/+421556026307 October 27, 2021

SUBJECT: Confirmation Letter

Dear Dr. Oleksandr Ratushnyi,

I am pleased to confirm that Dr. Oleksandr Ratushnyi has successfully completed a research internship on the topic "Research approach on improving the efficiency of centrifugal pumps" at the Department of Process Engineering, Faculty of Manufacturing Technologies with the seat in Prešov, Technical University of Košice.

From September 27, 2021 to October 27, 2021 the following research tasks were completed:

- consider the possibility of controlling the pump head by changing the return channels of the guide vanes;
- consider the effectiveness of using a bladeless guide vane;
- study the possibility of using a centrifugal contra-rotating blade system in pump engineering.

Best regards,




Assoc.Prof. Eng. MSc. Lucia Knapčíková, Ph.D.
Vice-dean for International Relations and Mobility



Dr. Vladyslav Kondus, Ph.D.,
Department of Applied Hydroaeromechanics,
Faculty of Technical Systems and Energy
Efficient Technologies
Sumy State University
2, Rymaskogo-Korsakova St.
Sumy 40007
Ukraine

Date: 06.07.2021

SUBJECT
Invitation Letter

Dear Dr. Vladyslav Kondus,

It is my pleasure to invite you to carry out a research internship **“Investigation of the pulsating flow character in the flowing part of the high-pressure centrifugal pumps in the operating range”** from July 12, 2021 to January 14, 2022 at the Department of Process Engineering, Faculty of Manufacturing Technologies of Technical University of Košice.

The research will be realized in a virtual environment and will not need traveling or any other expenses. As agreed, the fee for the research internship is not assumed. The salary for the research internship is not provided.


The following research tasks will be completed:

- determining the optimal ratio of the channels number of the impeller and the casing of the flowing part;
- investigation of the flow structure in the channels of the pump flowing part elements at operating ranges $0.8-1.2 Q_{opt}$;
- analysis of pressure fluctuations at the pump impeller outlet at operating ranges $0.8-1.2 Q_{opt}$ in the context of the pump's rotor reliability.

The proposed research topic is very interesting for our Faculty. I am sure our experience within our previous projects and your ideas will promote progress in the Energy Efficiency of Machines and Aggregates.

I believe that your internship will contribute to the next cooperation between our Faculties.

Best regards,

Assoc. Prof. Eng. MSc. Lucia Knapčíková, Ph.D.
Vice-Dean for International Relations and Mobility



Universität Duisburg-Essen • 47057 Duisburg •
Produktentstehungsprozesse und Datenmanagement

Prof. Ivan Pavlenko, DSc.,
Professor of the Department of
Computational Mechanics
named after Volodymyr Martynovskyy
Sumy State University
2, Rymkogo-Korsakova St.
Sumy, 40007, Ukraine

Fakultät für Ingenieur-
wissenschaften

Institut für Produkt Engineering

Prof. Dr.-Ing. Arun Nagarajah
Tel: 0203 379-2585
Fax: 0203 379-4379
arun.nagarajah@uni-due.de
Lotharstraße 1
47057 Duisburg
MA 224

20.11.2021

Confirmation Letter

Dear Prof. Ivan Pavlenko,

It is my pleasure to confirm that you have successfully completed the short-term scientific internship "Advanced Technologies in Industrial Engineering, Additive Manufacturing, Power Machinery, and Robotics" during November 16-20, 2021, at University of Duisburg-Essen (Duisburg, Germany), within the implementation of the project "BE-ING: BEGINN DER ERFOLGREICHEN INTERNATIONALEN NACHHALTIGEN GEMEINSAMEN AUSBILDUNG (ID 57537752)" funded by DAAD.

Sincerely

Arun Nagarajah

Prof. Dr.-Ing. Arun Nagarajah

Universität Duisburg-Essen
Fakultät Ingenieurwissenschaften
IPE / IOM-CAE
Lotharstr. 1
47057 Duisburg

Anschrift Campus Duisburg
Forsthausweg 2
47057 Duisburg
Tel: 0203 379-0
Fax: 0203 379-3333
Nachbriefkasten: Gebäude LG

Anschrift Campus Essen
Universitätsstraße 2
45141 Essen
Tel: 0201 183-0
Fax: 0201 183-2151
Nachbriefkasten: Gebäude T02

Bankverbindung
IBAN: DE40 3605 0105 0000 269 803
SWIFT/BIC: SPESDE 33XXX

UStIdNr.
DE 611 272 995

www.uni-due.de



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology



Erasmus+

Confirmation of stay
ERASMUS+ STAFF MOBILITY FOR TEACHING
(PROGRAMME AND PARTNER COUNTRIES MOBILITY)

Academic year 2021/2022

TEACHER

Family name:	Ivanov
First name:	Vitalii

SENDING INSTITUTION

Country:	Ukraine
Name of sending institution:	Sumy State University
Faculty/Department:	Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools

RECEIVING INSTITUTION

Country:	Poland
Name of receiving institution:	Kielce University of Technology (PL KIELCE01)
Faculty/Department:	Faculty of Management and Computer Modelling

This is to certify that ~~Ms~~/Mr **Vitalii Ivanov** teaching staff member of Sumy State University took part in teaching activities at Kielce University of Technology from 11.10.2021 till 15.10.2021 and lectured 8 hours.

Date: 15.10.2021

Signed:

KIEROWNIK
Działu Rozwoju Kadry Naukowej
i Współpracy Międzynarodowej

mgr Anna Kasztelewicz

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce (22)



**Confirmation of stay
ERASMUS+ STAFF MOBILITY
FOR TEACHING**

Academic year 2021/2022

Family name:	Pavlenko
First name:	Ivan

SENDING INSTITUTION

Country:	Ukraine
Name of sending institution:	Sumy State University (UA SUMY)
Faculty / Department:	Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies / Department of Computational Mechanics named after Volodymyr Martsynkovskyy

RECEIVING INSTITUTION

Country:	Poland
Name of receiving institution:	Silesian University of Technology (PL GLIWICE)
Faculty:	Faculty of Mechanical Engineering

This is to certify that **Prof. Ivan Pavlenko**, a staff member from Sumy State University, completed 8 hours of teaching activities for our students on *Parameter Identification of Rotor Systems* at **Silesian University of Technology** from October 25, 2021, till October 29, 2021.

Date: October 29, 2021

Dean of the Faculty of Mechanical Engineering,
dr hab. inż. prof. nzw. w Pol. Śl.

DZIEKAN
Wdziału Mechaniczno Technologicznego
dr hab. inż. Anna Timofiejczuk,
nzw. w Pol. Śl.

Anna Timofiejczuk



Département : GMSC
 Affaire suivie par : Noël Brunetière
 Téléphone : +33 (0)5 49 49 65 31
 Mail : noel.brunetiere@univ-poitiers.fr

Chasseneuil, October 14, 2021

Object: Participation to joint Ukrainian-French research project in Pprime Institute, Poitiers, France

Dear Ass. Prof. Vasyl Karpusha,

I am pleased to inform you that Head of Volodymyr Martsynkovskyy Computational Mechanics Department Andriy Zahorulko and PhD student Yaroslav Sapozhnykov participated in a joint Ukrainian-French research project entitled: "Reduction of polluting emissions with energy efficient sealing solutions". In this framework they visited our lab at Pprime Institute, CNRS-University of Poitiers-ENSMA, from 5th to 14th of October 2021.

With best regards

CNRS - Université de Poitiers - ENSMA
INSTITUT P'
 Dpt. Génie Mécanique et Systèmes Complexes
 SP2MI - Bd Marie et Pierre Curie - BP 30179
 86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex
 Tél. 05 49 49 65 01-00 / Fax 05 49 49 65 04

N. Brunetière
 CNRS Senior scientist