

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «АНТОНОВ»
ДЕРЖАВНИЙ КОНЦЕРН «УКРОБОРОНПРОМ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Медведєв Сергій Вікторович

УДК 62-82:681.587.34

ДИСЕРТАЦІЯ
ПРОЕКТУВАННЯ ВАКУУМНИХ СИСТЕМ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ
ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАКІВ

Спеціальність 05.07.02 - Проектування, виробництво та випробування
літальних апаратів

Галузь знань: 13- механічна інженерія.

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С.В. Медведєв

Науковий керівник: Бадах Валерій Миколайович

кандидат технічних наук, с.н.с.

Київ - 2021

АНОТАЦІЯ

Медведев С. В. Проектування вакуумних систем видалення відходів пасажирських літаків - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.02 «Проектування, виробництво та випробування літальних апаратів» (013 – Механічна інженерія) - Національний авіаційний університет, Державне підприємство «АНТОНОВ», Київ, 2021.

Зміст анотації. Дисертація присвячена проектуванню системи видалення відходів вакуумного типу сучасного літака, яка описує поетапний процес і методи розробки системи на етапах науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, розробку математичних моделей, розрахункового комплексу, і дозволяє на ранніх етапах проектування системи отримати якісні характеристики майбутньої системи.

Тенденції проектування і експлуатації сучасних літаків привели до створення на борту нових удосконалених систем. Не виключенням стала і одна з систем життєзабезпечення - система видалення відходів, яка забезпечує необхідні комфортні умови на борту літака і призначена для задоволення фізіологічних потреб організму людини.

Сучасні вимоги щодо комфорту, санітарно-гігієнічним нормам, екологічності, енергозбереження, технологічності, вимоги до мінімізації витрат на обслуговування, підвищення експлуатабельності і т. д., змушують проектувальника систем, прикладати чимало зусиль і ресурсів для створення конкурентоспроможного продукту.

Проведений аналіз існуючих методів, концепцій, й підходів до проектування систем літаків, розрахунків складових частин системи видалення відходів (СВВ) показав, що відсутній комплексний, науково обґрунтований підхід до методики проектування СВВ, її розрахунку та визначення раціональних характеристик системи.

Такі підходи до проектування системи є службовою чи конфіденційною інформацією і унікальні для кожної літакобудівної фірми або взагалі відсутні, і на практиці конструктор стикається з їх розрізненістю, половинчастістю, і часто незавершеністю.

Сучасне проектування будь-якої системи на борту літака є складним, багатофакторним, розгалуженим завданням і полягає в знаходженні оптимального співвідношення параметрів, при якому основними пріоритетами є безпека і комфорт пасажирів на борту.

У зв'язку з цим запропонована методика проектування системи видалення відходів, яка дозволяє виконати поетапну розробку системи від створення концепції, її вихідних даних, до реалізації на літаку, як окремої функціональної системи, інтегрованої і проектованої в комплексі всього літака.

Запропонована методика розрахунку та розрахунковий комплекс який охоплює усі потрібні для проектування розрахунки та рекомендує етапність виконання розрахунків в залежності від стадії проекту.

Розроблено математичну модель, що описує квазістаціонарні гідравлічні процеси течії відходів в трубопроводі системи видалення відходів літака, за допомогою якої визначаються геометричні та газодинамічні характеристики трубопроводу, що дозволяє більш якісно виконати моделювання робочих режимів та скоротити час оптимізації системи та вибору трубопроводів по заданих параметрах.

Використовуючи програмне забезпечення Ansys CFX проведено дослідження процесів вакуумізації та наповнюваності баку зберігання відходів, яке показало, що потрапляння відходів у магістраль вакуумування відбувається через значну інтенсифікацію процесу відриву часточок відходів при зменшенні товщини повітряного зазору у наслідок більших швидкостей повітряних потоків, що виникають під час процесу вакуумізації.

За результатами чисельних досліджень визначено мінімально допустиме значення товщини повітряного зазору між поверхнею відходів та баком для

різних діаметрів баків, при якому концентрація відходів у магістралі вакуумування не перевищить критичних значень.

Практична цінність отриманих результатів полягає в запропонованих методиках проектування та розрахунку СВВ вакуумного типу для пасажирських літаків яка дозволяє: за рахунок комплексу технічних засобів виконати весь необхідний обсяг розрахунків для отримання характеристик системи; за рахунок методики проектування систематизувати процес проектування, виконати оцінку обсягу робіт за проектом, виконати конфігурування системи та її елементів. Розроблена математична модель трубопроводу дозволяє отримати потрібні характеристики трубопроводу в залежності від попередніх умов. Запропонована математична модель процесу наповнюваності баку - отримати характеристики баку який відповідає встановленим вимогам.

Результати роботи успішно впроваджені у виробничу практику на ДП «Антонов» і апробовані при розробці системи видалення відходів для літаків сімейства Ан-148-100 і його модифікацій (серійно експлуатованих), використовуються при розробці нових систем, що підтверджується актом впровадження.

Ключові слова: вакуум, літак, система видалення відходів, вакуумна система, проектування, бак відходів, методика, розрахунковий комплекс, чисельний метод.

ABSTRACT

Medvediev Serhii. Passenger aircraft vacuum waste system design. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for the degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.07.02 "Designing, Production and Testing of Aircraft" (013 - Mechanical Engineering) - National Aviation University, State Enterprise ANTONOV Company, Kyiv, 2021.

Contents of the abstract. The dissertation is devoted to the design of vacuum waste disposal system of modern aircraft, which describes the step - by - step process and methods of system development at the stages of research and development, development of mathematical models, calculation complex, and allows obtaining qualitative characteristics of the future system.

Trends in the design and operation of modern aircraft have led to the creation of new advanced systems on board. One of the life support systems is no exception the waste disposal system, which provides the necessary comfortable conditions on board the aircraft and is designed to meet the physiological needs of the human body.

Modern requirements for comfort, sanitation, environmental friendliness, energy saving, manufacturability, requirements for minimizing maintenance costs, increasing operability, etc., force the system designer to make a lot of effort and resources to create a competitive product.

The analysis of existing methods, concepts, and approaches to the design of aircraft systems, calculations of components of the waste disposal system showed that there is no comprehensive, scientifically sound approach to the methodology of waste system design, its calculation and determination of rational system characteristics.

Such approaches to system design are official or confidential information and unique to each Aircraft Company or non-existent, and in practice the designer is faced with their diversity, half-heartedness, and often incompleteness.

Modern design of any system on board the aircraft is a complex, multifactorial, branched task and is to find the optimal ratio of parameters, in which the main priorities are the safety and comfort of passengers on board.

In this regard, a method of designing a waste disposal system is proposed, which allows performing a phased development of the system from concept creation, its initial data, to implementation on the aircraft as a separate functional system, integrated and designed in the whole aircraft.

The method of calculation and the calculation complex which covers all calculations necessary for designing and recommends step-by-step execution of calculations depending on a stage of the project are offered.

A mathematical model describing quasi-stationary hydraulic processes of waste flow in the pipeline of the aircraft waste disposal system has been developed, which determines the geometric and gas-dynamic characteristics of the pipeline, which allows better modeling of operating modes and reduce system optimization and pipeline selection by specified parameters.

Using Ansys CFX software, a study of the vacuum processes and filling of the waste storage tank, showed that the waste enters the vacuum line due to a significant intensification of waste separation process particles by reducing the air gap thickness due to higher air flow rates.

Based on the results of numerical studies, the minimum allowable value of the air gap thickness between the waste surface and the tank for different tank diameters, at which the concentration of waste in the vacuum line will not exceed the critical values.

The practical value of the obtained results lies in the proposed methods of design and calculation of vacuum-type waste systems for passenger aircraft, which allows: due to a set of technical means to perform all the necessary amount of calculations to obtain system characteristics; due to the design methodology to systematize the design process, to assess the scope of work on the project, to configure the system and its elements. The developed mathematical model of the pipeline allows receiving the necessary characteristics of the pipeline depending on

the previous conditions. The mathematical model of the tank filling process is proposed - to obtain the characteristics of the tank that meets the established requirements.

The results of the work have been successfully implemented in production practice at the Antonov State Enterprise and tested in the development of the waste disposal system for An-148-100 family aircraft and its modifications (serially operated), used in the development of new systems, confirmed by the implementation act.

Keywords: vacuum, aircraft, waste disposal system, vacuum system, design, waste tank, methodology, calculation complex, numerical method.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.

1. Медведєв С.В. Аспекти розвитку систем видалення відходів та водопостачання. Короткий огляд систем / С.В. Медведєв // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – №1(19). – С. 58–62.

2. Шмырев В.Ф. Энергетическая и весовая оптимизация самолетных водовакуумных систем / В.Ф. Шмырев, С.В. Медведєв // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – №1(19). – С. 51–54.

3. Борисов Б.Е. Исследование полей температур в зонах размещения агрегатов водовакуумных систем и методы обеспечения их потребных значений / Б.Е. Борисов С.В. Медведєв, В.Ф. Шмырев // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – №2(12). – С. 22–24.

4. Medvediev S. V. Airplane waste disposal system tank designing using numerical modeling and experimental bench results / S. V. Medvediev D.H. Lantin// Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Issue 2 (2019), – pp. E 41–E 46.

5. Медведєв С.В. Моделювання газодинамічних процесів у трубопроводах при видаленні відходів / С.В. Медведєв, В.М. Бадах // Mechanics and Advanced Technologies. – Vol. 87, №3. К., 2019. – С. 83–90.

6. Медведєв С.В. Методика проектування системи видалення відходів як частина комплексного розроблення конструкції літака / С.В. Медведєв // Промислова гідравліка і пневматика. – 2019. – №2 (64). – С. 3–10.

7. Medvediev S. V. Research of airplane waste disposal system tank characteristics by method of numerical simulation. / S. V. Medvediev // Global Journal of Research in Engineering, Vol. 20, №1-I, 2020. – pp. 25–30.

Опубліковані праці апробаційного характеру.

1. Медведев С.В. Обоснование применения вакуумных систем удаления отходов на борту пассажирского самолета/ С.В. Медведев // Матеріали XIII Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2013 р. : тези доп. – Одеса, 2013. – С.104. – 144 с.

2. Медведев С.В. Моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі вакуумної системи літака // С.В. Медведев // Матеріали VIII Міжнар. наук.-практич. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2018 р.: тези доп. – Чернігів, 2018. – С.231. – 242 с.

3. Медведев С.В. До питання методології проектування вакуумної системи літака // С.В. Медведев // Матеріали XIX Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2018 р.: тези доп. – Львів, 2018. – С.89. – 104 с.

4. Медведев С.В. Методологічні засади розрахунку і проектування системи видалення відходів літака. // С.В. Медведев // Матеріали III Міжнар. наук.-тех. конф. «Гідро - та пневмоприводи машин - сучасні досягнення та застосування» 2018 р.: тези доп. – Вінниця, 2018. – С. 44-45. – 176 с.

5. Медведев С.В. Розробка систем видалення відходів літака на етапі попереднього проектування з використанням системного методу // С.В. Медведев// Матеріали XXVII Міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2019 «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 2019 р.: тези доп. – Харків, 2019. Частина 1, – С.203. – 368 с.

6. Медведев С.В. Критерії формування вигляду системи видалення відходів літака // С.В. Медведев // Матеріали IX Міжнар. наук.-практич. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2019 р.: тези доп. – Чернігів, 2019. Том 1, – С.233-234. – 240 с.

7. Медведев С.В. Комплекс технічних та програмних засобів розрахунку системи видалення відходів літака як частина комп'ютерно-інтегрованої

технології проектування / С.В. Медведєв // Матеріали XX Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2019 р.: тези доп. – Київ, 2019. – С.123-124. – 184 с.

8. Медведєв С.В. Методика розрахунку системи видалення відходів як частини технології проектування сучасного пасажирського літака / С.В. Медведєв // Матеріали XX Міжнар. наук.-тех. конф. «Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування» 2020 р. : тези доп. – Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. URL: <http://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fctam.vntu.edu.ua%2Fimages%2Fdoc%2F2020%2Fmedvedev.pdf>.

9. Медведєв С.В. Розробка розрахункового комплексу системи видалення відходів // С.В. Медведєв // Матеріали X Міжнар. наук.-практич. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2020 р. : тези доп. – Чернігів, 2020. Т 1, – С. 216-218. – 272 с.

10. Medvediev S. Approaches to the design of modern technology // S. Medvediev, V. Badakh // International scientific conference "forest engineering: new techniques, technology and environment". – Lviv, 2020. – P 41. – 64 p.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	13
ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАКІВ.	25
1.1. Аналіз проблемних задач технічних систем літака.	25
1.2. Завдання, які вирішуються системою видалення відходів на літаку.	31
1.3. Сучасний стан розробки системи видалення відходів.	32
1.4. Реалізація підходів до проектування системи видалення відходів.	39
1.5. Огляд методів розрахунку вакуумних систем.....	45
1.6. Висновки з розділу 1.	50
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ	52
2.1. Формування та реалізація характеристик системи видалення відходів на стадії проектування.....	57
2.2. Методика проектування системи видалення відходів в комплексі розробки літака	57
2.3. Методика розрахунку системи видалення відходів.....	69
2.4. Розрахунковий комплекс системи видалення відходів вакуумного типу	72
2.5. Висновки з розділу 2.	74
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ ВИДАЛЕННІ ВІДХОДІВ	75
3.1. Моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі вакуумної системи	75
3.1.1. Математична модель процесу видалення відходів в трубопроводі.....	76
3.1.2. Програмна реалізація математичної моделі процесу видалення відходів в трубопроводі	86
3.2. Моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі вакуумної системи чисельним методом.....	87
3.3. Енергетична і вагова оптимізація траси трубопроводі системи видалення відходів.....	91
3.3.1. Вибір моделі проектування	92

	12
3.3.2. Схема побудови циклів вибору параметрів	97
3.4. Висновки з розділу 3	100
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БАКА ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ	101
4.1. Визначення основних методів чисельного рішення рівнянь для дослідження баку відходів.	101
4.2. Модель вільної поверхні.....	103
4.3. Дослідження процесів наповнюваності бака зберігання відходів за допомогою чисельного моделювання.....	106
4.4. Чисельне моделювання процесу заповнення баку відходів при вакуумізації системи.....	110
4.5. Розгляд розрахунків баку відходів	115
4.5.1. Розрахунок пристрою для гальмування відходів	115
4.5.2. Вибір вакуумного генератора.....	117
4.6. Висновки з розділу 4	121
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ	122
5.1. Методики оцінки основних характеристик системи.....	122
5.2. Стендові випробування баку відходів.	122
5.3. Комплексні льотні випробування системи.....	127
5.4. Дослідження поля температур в зонах розміщення агрегатів системи відходів і методи забезпечення їх потреб значень.....	128
5.5. Висновки з розділу 5.....	134
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕЛІЛ	138
ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	148
ДОДАТОК Б Акт впровадження	153
ДОДАТОК В Протокол відпрацювання системи	153

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

СВВ	Система видалення відходів
СВ	Система водопостачання
НДР	Науково-дослідні роботи
ДКР	Дослідно-конструкторські роботи
ТЗ	Технічне завдання
КД	Конструкторська документація
МСЕ	Метод скінчених елементів

ВСТУП

Розвиток і розширення області застосування вакуумного обладнання у різних областях техніки, обумовлює різноманітність фізичних та експлуатаційних факторів, збільшення структурної ускладненості, зростаючу ресурсоемність існуючих і розроблюваних вакуумних систем. Процес проектування сучасних вакуумних систем є складним і розгалуженим завданням, схильним до впливу багатьох чинників, що характеризують специфічність і різноманіття параметрів функціонування вакуумної системи. Рішення подібних завдань вимагає найчастіше індивідуального підходу, так як сучасні вакуумні системи є складними комплексами, як з технологічної, так і з економічної точки зору і проведення вичерпних експериментальних досліджень на етапі проектування ускладнене або неможливе.

Особливого значення набуває проведення попереднього аналізу системи на етапі проектування. Цілями такого аналізу можуть бути: отримання попередніх даних про характеристики системи або виробу; моделювання робочих режимів для виявлення найбільш відповідальних елементів проекту; оптимізація системи або виробу за заданими параметрами; проведення порівняння декількох альтернативних конструкцій тощо.

Наведені чинники обумовлюють необхідність розвитку таких методик проектування вакуумних систем, які, з одного боку, мають максимально можливим ступенем універсальності, та дозволяють будувати алгоритми і продукти на їх основі, які не потребують доопрацювання для аналізу кожної конкретної системи. З іншої сторони, дають можливість враховувати основні фактори, що роблять істотний вплив на умови функціонування вакуумної системи що розробляється.

Застосовуючи наявні методи для аналізу вакуумної системи конструктор стикається з їх половинчастістю, незавершеністю, що з наявністю практичних труднощів в освоєнні складних і досить великих

математичних апаратів цих методів обумовлює складність їх безпосереднього використання.

Підвищуються вимоги до точності розрахунків і до більш адекватного опису процесів, що обумовлює необхідність вирішення завдань в нестационарній постановці.

Ефективність і функціональна надійність вакуумних агрегатів, безпосереднім чином залежить від правильності прийнятих проектних рішень. При цьому необхідність обґрунтованості цих рішень істотно зростає при конструюванні систем, використовуваних в відповідальних об'єктах.

Актуальність дослідження. Проектування сучасного літака і його систем складний ітераційний процес, який, спрямований на пошук оптимального співвідношення різних факторів, основними з яких є забезпечення: економічності, безпеки, регулярності польотів; також забезпечення ресурсу, експлуатаційної технологічності, вартості виробництва та ін. Постійне підвищення вимог до конструкції літаків і його систем, їх ускладнення та автоматизація, посилення конкуренції між розробниками, призводять до розробки нових та істотної модернізації існуючих систем, що як наслідок впливає на процеси проектування (в тому числі на такі чинники як вартість та час розробки) і потребує їх вдосконалення.

Одним із факторів, що впливають на комерційну привабливість літака, є готовність надати пасажирам максимальний рівень комфорту, який, крім вимог до ергономіки та естетики, також включає забезпечення необхідних умов життєдіяльності людини. Поміж таких систем, що підтримують необхідний рівень комфорту, є система видалення відходів (СВВ), яка призначена для задоволення фізіологічних потреб людини на борту літака.

У теперішній час у цивільній авіації застосовують різні типи СВВ: касетні (виносні), рециркуляційні та вакуумні. Серед приведених все більш широке поширення набуває СВВ вакуумного типу (або водо-вакуумного типу) в зв'язку з їх економічністю, екологічністю, комфортом.

Вакуумні технології широко представлені в різних галузях народного господарства. Проте, в порівнянні з іншими в авіаційній промисловості до систем пред'являють/висувають значно жорсткіші вимоги з безпеки, вагових характеристик, рівню інтеграції з системами літака, а також забезпеченню безвідмовного функціонування при різних факторах, які мають вплив на систему (тиску, температури, вібрація, вплив блискавки та ін.)

Існуючі методи, концепції і підходи проектування систем є, як правило, вузькоспеціалізованими, та не враховують особливостей проектування СВВ для літака, або носять узагальнений характер і можуть бути використані лише частково. Наявні у літакобудівних фірм методи і підходи до проектування СВВ є службовою або конфіденційною інформацією і не публікуються у відкритих джерелах.

Складність проектування СВВ, також пов'язана з недостатнім дослідженням процесів, що протікають в елементах системи і мають вплив на вибір конструктивних параметрів елементів системи, а також їх зонування у відсіках літака. Так, на теперішній час, відсутні математичні моделі нестационарних процесів, що описують рух двофазного середовища повітря - відходи в основних елементах системи, а саме в трубопроводах збору відходів і баку їх зберігання, в наслідок чого потрібні конструктивні параметри елементів системи визначаються в випробуваннях на натурних стендах. При зміні вихідних даних літака (розміру літака, кількості пасажирів, часу польоту і т.д.) це призводить до реконфігурації стенду СВВ і проведення повторного циклу випробувань.

У зв'язку з викладеним, актуальною науково-прикладною задачею є створення методик проектування та розрахунку СВВ вакуумного типу, в результаті чого стане можливим: вибір засобів і методів проектних досліджень; визначення основних концептуальних положень і принципів побудови системи; визначення переліку необхідних нормативних документів; визначення об'єму та комплексу програмних та технічних засобів розрахунку системи.

Ступінь розробленості наукової проблеми.

Встановлення системи видалення відходів на пасажирських літаках відбулося у 30-ті роки ХХ століття у зв'язку з збільшенням дальності польоту і як наслідок часу польоту. Перші «системи» мали досить обмежені властивості вони являли собою виносну ємність в якій збиралися відходи і після польоту виносилися з літака, або системи, відходи яких скидалися у повітря на протязі польоту. З часом система змінюється з'являється стаціонарний унітаз, але принципово виносна частина системи залишається. У 50-ті роки на літаках впроваджено систему нового типу – рециркуляційну. Ця система мала замкнутий контур. За допомогою насосу спеціальна хімічна рідина подається на змив чаші унітазу, і далі фільтрується і подається знов на змив.

Розробка СВВ вакуумного типу на літаках цивільної авіації починає свою історію з середини 70-х років ХХ століття. Так, в 1975 році винахідник Джеймс Кемпер запатентував вакуумну систему видалення відходів, принцип якої використовується і сьогодні на сучасних пасажирських літаках [1, 2].

Вперше вакуумний туалет був встановлений на літаки Boeing у 1982 році.

З цього часу вакуумна СВВ стає затребуваною і найперспективнішою на літаках. Згодом проводяться удосконалення та розробки нового обладнання для вакуумних систем яка призводить до створення систем, які ви можете побачити на сучасному авіалайнері, наприклад «Революційний» вакуумний туалет фірми Zodiac Water & Waste Aero Systems. Вакуумна технологія отримує розвиток не тільки видалення відходів туалетів, розроблені пристрої для видалення відходів і сміття з буфетно-кухонних блоків.

У СНД вакуумними системами видалення відходів займався Науково-дослідний інститут стандартизації і уніфікації (НДІСУ) зокрема для літака Ту-204, Ту-334 виконувалася дослідна розробка та впровадження системи видалення відходів вакуумного типу.

На сьогоднішній день існує декілька фірм які розробляють вакуумні системи відходів для літаків - Zodiac Water & Waste Aero Systems (колишня Monogram Systems) - входить в Zodiac Aerospace Group і B / E Aerospace (входить до складу Rockwell Collins). А також компанії які виробляють обладнання для вакуумних систем: UTC Aerospace Systems, Adams Rite Aerospace, MT Aerospace, TransDigm Group Inc, Apparatebau Gauting GmbH, Albany International, Yokohama Aerospace America Inc., EVAC, Camtronics Aviation Group, The MEL Group.

На всі магістральні пасажирські літаки, в тому числі і останньої розробки (Airbus-380, Boeing-787 Dreamliner, Airbus-350XWB) встановлюються вакуумні системи видалення відходів. Сучасні літаки Bombardier, Embraer, Антонов, COMAC, а наразі так само літаки бізнес авіації комплектуються вакуумними системами видалення відходів.

Зв'язок програми з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках національної програми створення пасажирського літака нового покоління Ан-148 («Державна комплексна програма розвитку авіаційної промисловості України на період до 2010 року» затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12.12.2001 р №1665-25). План науково-дослідних робіт та заходи щодо впровадження нових технологій та техніки у виробництві ДП «Антонов» на 2019-2020 роки (Підстава: Наказ № 3389 від 30.11.2018 року).

Основні дослідження виконані на ДП «Антонов» в рамках експериментальних і науково - дослідних робіт зі створення літака типу Ан-148 і його модифікацій в 2004 - 2011 років, і були виконані під керівництвом автора. Експериментальні дані отримані на дослідній базі фірми Monogram Systems США, Лос-Анджелес, м. Карстон - дослідження газо-гідродинамічних процесів в баку відходів; на дослідній базі Державного підприємства «Антонов» - комплексні льотні випробування системи видалення відходів у складі літака.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження - розробка методик проектування та розрахунку системи видалення відходів, для прийняття обґрунтованих проектно-конструкторських та технологічних рішень, вибору оптимальних параметрів системи.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні задачі:

1. Виконати аналіз існуючих принципів та підходів до проектування систем літака і зокрема системи видалення відходів, визначити критерії та вимоги до їх розробки СВВ, виконати аналіз літературних джерел по темі дослідження.

2. Розробити методики проектування та розрахунку системи видалення відходів, що враховує особливості проектування та оцінку основних характеристик на різних етапах створення системи, визначити основні концептуальні положення і принципи побудови та розрахунку системи.

3. Розробити математичну модель процесу двофазної течії повітря-відходи в трубопроводі СВВ.

4. Розробити модель, що описує газо-гідродинамічні нестационарні процеси при вакуумізації і наповненні баку відходів, яка дозволить визначити необхідні дані для проектування баку відходів.

5. Розробити розрахунковий комплекс для виконання комплексного розрахунок вакуумної системи видалення відходів літака.

6. Перевірити адекватність розроблених розрахункових моделей за допомогою порівняння результатів розрахунків з даними отриманими на експериментальному стенді і дослідному літаку.

Об'єктом дослідження є процеси проектування вакуумних систем видалення відходів встановлюваних на літаку.

Предметом дослідження є методики проектування та розрахунку вакуумних систем видалення відходів встановлюваних на літаку.

Методи дослідження.

У роботі застосовувалися методи проектування систем на основі системного підходу, що включають методи декомпозиції, аналогії, аналізу і синтезу. Теоретичні дослідження засновані на побудові математичних моделей газодинамічних процесів в трубопроводах і баку відходів системи, з використанням чисельних методів моделювання, а так само комп'ютерного моделювання.

Експериментальні дослідження проведені на спеціально спроектованих стендах, а так само дослідному літаку методом спостереження, візуального контролю, фото і відео фіксації отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше запропонована і апробована методика проектування СВВ вакуумного типу для пасажирських літаків для систематизації та ієрархічного представлення і враховує особливості процесу проектування системи.

2. Вперше запропоновано методику та комплекс програмних і технічних засобів розрахунку СВВ вакуумного типу для пасажирських літаків, що забезпечує отримання повних і якісних характеристик при проектуванні системи.

3. Вперше розроблена математична модель, що описує квазістаціонарні гідравлічні процеси двофазної течії у трубопроводах системи видалення відходів для отримання газодинамічних характеристик трубопроводу, на основі яких визначаються вагові та габаритні параметри трубопроводів системи.

4. Вперше на основі математичної моделі процесу взаємодії двофазового середовища відходи-повітря, розділеного вільною поверхнею, яка реалізована за допомогою програмного забезпечення Ansys CFX, отримані характеристики вакуумування та наповнення баку зберігання відходів, що дозволило визначити залежність допустимої мінімальної висоти повітряного зазору між поверхнею відходів і верхньою стінкою баку, яка в свою чергу дозволяє визначити повний об'єм баку і його подальше

компонування у складі літака.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблені методики проектування та розрахунку СВВ вакуумного типу для пасажирських літаків.
2. Розроблена математична модель течії відходів у трубопроводах системи видалення відходів для отримання газодинамічних характеристик трубопроводу.
3. На основі математичної моделі, яка реалізована за допомогою програмного забезпечення Ansys CFX отримані характеристики вакуумування та наповнення баку зберігання відходів.

Результати роботи успішно впроваджені у виробничу практику на ДП «Антонов» і апробовані при розробці системи видалення відходів для літаків сімейства Ан-148-100 і його модифікацій (серійно експлуатованих), використовуються при розробці нових систем, що підтверджується актом впровадження.

Особистий внесок здобувача

Усі результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані автором самостійно. В опублікованих роботах автору належить: [1] – розглянуто розвиток систем видалення відходів та водопостачання і виконано огляд систем; [6] – запропонована методика проектування системи видалення відходів яка дозволяє систематизувати процес проектування, виконати оцінку обсягу робіт за проектом і окреслити весь необхідний обсяг розрахунків для отримання характеристик системи; [7] – досліджено процеси вакуумізації та наповнюваності баку зберігання відходів чисельним методом та виведено залежність допустимої мінімальної висоти повітряного зазору між поверхнею відходів до верхньої стінки бака від діаметра баку.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить: [2] розробка моделі та зонування трас трубопроводів, розробка випробувального

устаткування і обробка експериментальних даних; [3] – аналіз і вибір моделі проектування основних конструктивних параметрів трубопроводів; [4] – запропоновано й обґрунтовано розробку моделі баку зберігання відходів; виконано дослідження процесу наповнюваності баку, методами чисельного моделювання з використанням програмного забезпечення Ansys CFX та запропонована схеми стенда для натурних випробувань баку відходів; [5] – запропоновано математичну модель процесу двофазної течії у трубопроводах системи видалення відходів для отримання газодинамічних характеристик трубопроводу.

Апробація. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на:

1. IV науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика» присвяченої 100-річчю Т. М. Башти, НАУ. – м Київ, 2003 р.;
2. VI науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Національний університет «Львівська політехніка». – м. Львів, 2005 р.;
3. VIII науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Таврійський державний агротехнічний університет. – м. Мелітополь, 2007 р.;
4. IX науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Державний політехнічний університет ім. М. Остроградського. – м. Кременчук, 2008 р.;
5. X науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Національний лісотехнічний університет України. – м. Львів, 2009 р.;
6. XI науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Таврійський державний агротехнічний університет. – м. Мелітополь, 2010 р.;
7. XII науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Донецький Національний університет. – м. Донецьк, 2011 р.;

8. XIII науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Чернігівський державний технологічний університет. – м. Чернігів, 2012 р.;
9. XIV науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Одеський Національний політехнічний університет. – м. Одеса, 2013 р.;
10. VIII міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», Чернігівський національний технологічний університет. – м. Чернігів, 2018 р.;
11. XX науково - технічних конференції «Промислова гідравліка і пневматика», Національний лісотехнічний університет України. – м. Львів, 2018 р.;
12. IX міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», Чернігівський національний технологічний університет. – м. Чернігів, 2019 р.;
13. XXVII Міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2019 «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – м. Харків, 2019 р.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи і її результати відображені в опублікованих наукових працях. Всі теоретичні та практичні результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи і виносяться на захист, отримані автором самостійно. За темою дисертації опубліковано 17 наукових робіт, з яких: з яких: 6 статей у наукових фахових виданнях, що входять до переліку фахових видань ДАК МОН України (в т.ч. і в журнали, індексовані в міжнародних наукометричних базах даних) 1 робота у періодичному науковому виданні США і 10 матеріалів тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 153 сторінка, з яких основний зміст роботи викладено на 113 сторінках. Дисертація містить 60 рисунків і 3 таблиці. Список використаних джерел включає 101 найменування.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДВІ ПАСАЖИРСЬКИХ ЛІТАКІВ.

У вступі до роботи були сформульовані актуальність, предмет і цілі дисертаційного дослідження, загальні завдання дослідження. Весь матеріал викладався на рівні змістовного опису. Тому основним змістом першого розділу роботи є аналіз сучасного стану предмету досліджень, на основі чого сформульовані загальна наукові завдання, що вирішуються в дисертації.

1.1. Аналіз проблемних задач технічних систем літака.

Розробкою методів і підходів до проектування систем займалися наступні автори: С. М. Єгер, А. Л. Гиммельфарб, Е. Торенбік, Дж. К. Джонс, Д. Р. Раймлер, Дж. Роскэм, А. Д Холл, Л. И. Сутугін, В. І. Миколаїв, В. Н. Романов, А. А. Бадягин та інших, в роботах яких представлені теорії, методи методології та підходи щодо проектування і розробки літаків і їх систем та обладнання [3-16], автоматизованих методів проектування [17-20], загальних засад щодо інтелектуальної діяльності та її застосування при проектуванні [21, 22].

Постановка завдання проектування літаків та шляхи її вирішення характеризується співіснуванням методів заснованих на підходах до формування вигляду літака і його систем. Одним з методів є статистичний метод або метод прототипу [23, 24] так само отримав назву метод «проб і помилок» [25]. Даний метод використовувався з початку розвитку літакобудування та представляв собою збір статистичних даних і накопичення інформації, отримання результатів випробувань, на основі які можна було проводити аналогії, прості розрахункові та порівняльні співвідношення для вибору проектних змінних. Характеристики літального апарату і його систем виходять на підставі характеристик вже існуючих прототипів аналогічного призначення. Такий метод не забезпечує

знаходження оптимальних рішень, більш того відхилення може бути значним, а при малому обсязі статистики стає складнішим застосування цього методу.

Іншим методом є методи подібності та копіювання [26, 27]. Цей метод схожий з попереднім методом прототипу але відмінність полягає в призначенні умов і вимог до літака, з якого відбувається копіювання характеристик і властивостей. Дані методи не дозволяють розвиватися, вони лише повторюють існуючі рішення з можливими незначними удосконаленнями, вони виключають пошук кращих, оптимальних рішень на основі останніх досягнень науки, техніки і технологій.

Наступним етапом розвитку методів стало проектування, метою якого є не тільки пошук функціонально ефективних рішень, а й задоволення різних, а часом і суперечливих вимог розробника і замовника, при якому обґрунтовується вибір варіанту. Таке проектування називають оптимальним (інша назва критеріальне проектування або варіантне проектування).

Метод почав розвиватися з спроб аналітичного рішення задач про вибір найвигідніших параметрів літака [28, 29] з урахуванням протиріч між параметрами і характеристиками. В основі цього методу лежить інженерний пошук параметрів і характеристик системи які найкращим чином задовольняють обраним критеріям. Такий процес часто багатоваріантний, і перед розробником постає проблема обґрунтованого та аргументованого вибору кінцевого варіанту.

Розвиток методу зобов'язаний досягненням в теорії прийняття рішень і широкому поширенню обчислювальної техніки, з розробкою відповідних методів, яка в свою чергу дозволяє вирішувати складні різноманітні завдання.

Основний акцент при оптимальному проектуванні приділяється технічним вимогам і технічним завданням на об'єкт і визначення найбільш важливих характеристик і формування з них критеріїв оптимізації.

Класичними вимогами до функціональної системи є показники: надійності, економічності, технологічності, ергономічності, повторюваності, експлуатабельності, екологічності, масштабованості, стандартизації та уніфікації, естетичності.

Збільшенням складності проєктованих виробів і об'єктів підвищенням і посиленням норм, вимог до якості продукції та ціною, жорсткими термінами випуску продукції внесла зміни в традиційний характер і методологію проєктування. Створення виробів необхідно розглядати у вигляді комплексу взаємопов'язаних елементів з ієрархічною структурою, широким набором властивостей, і мають розгалужені зовнішні і внутрішні зв'язки. Таким чином, сформувалася новий підхід, який отримав назву системне проєктування [30 - 32].

Для теоретичного осмислення процесу проєктування і розробки на цій основі методів проєктування технічних систем можуть бути застосовані математичний апарат і методологія: математичне моделювання як процесу проєктування, так і самих його об'єктів, методи управління і прийняття рішень. Систему проєктування можна розглядати як систему управління з зворотними зв'язками, паралельними прямими каналами і з декількома ієрархічними рівнями [33]. В процесі проєктування можна виділити наступні три етапи: розробка моделі цього процесу, розробка плану виконання етапів його реалізації від ТЗ до готового проєкту та вибір методів вирішення завдань цих етапів з подальшою реалізацією проєкту. Отже, перший етап процесу проєктування - це його опис (формалізований) у вигляді моделей. Моделі можуть бути різного типу і залежать від створюваної технічної системи та ступеня невизначеності її майбутнього складу. У найпростішому випадку модель може бути визначеною і навіть стаціонарною і одноконтурною, а може бути мережевою, ймовірнісною, теоретико-ігровою, інформаційною чи евристичною.

При плануванні процесу проєктування в часі використовуються мережеві моделі у вигляді послідовного та паралельного переліку завдань із

зазначенням обсягу робіт і термінів виконання. Основа мережевих моделей - теорія графів. Основні засоби такої оптимізації: виконання робіт паралельно, перерозподіл ресурсів між ними на користь критичних шляхів, організаційні та технологічні зміни робіт з метою скорочення їх тривалості. В основі евристичних моделей лежать відповідно евристичні методи і прийоми.

Найбільш важливе завдання при розробці моделі системи проектування - розбиття її на частини з утворенням структурної схеми. Перш за все аналізуються зовнішні зв'язки створюваного виробу та формалізуються у вигляді вхідних і вихідних впливів. Потім виділяються функціональні частини з урахуванням їх взаємодії. В результаті складається структурна схема системи проектування виробу, що включає всі його частини і всі стандартні етапи проектування в часі.

Адекватність моделі об'єкту встановлюється зіставленням її з результатами експериментального дослідження об'єкта. Ця операція називається ідентифікацією і для неї розроблені відповідні методики [34, 35].

Розробка будь-якої системи або її компонента встановлюваного на літаку пов'язана з інтеграцією їх в вже існуючий комплекс, чи сполучення з спільно розроблюваними системами.

Сучасні системи літака самі по собі вже є складними, а з урахуванням інтеграції в об'єкт і поєднання з іншими системами задля створення єдиного продукту, виходять на зовсім інший рівень складності. Як наслідок завдання комплексування різнорідних систем чи об'єктів у єдиному готовому виробі на порядок ускладнює задачу управління проектом, у прагненні досягти оптимальних (або близьких до оптимальних) параметрів виробу при розробці.

Одним з пріоритетів при створенні сучасних продуктів, являється витрата часу на розробку, випробування, сертифікацію та вивід на ринок продукту. В зв'язку з цим створення літака розглядається як комплекс взаємопов'язаних елементів з певною структурою, широким набором властивостей і різноманітних внутрішніх і зовнішніх зв'язків.

Будь-яка штучно створена система або об'єкт має так званий життєвий цикл виробу – сукупність взаємопов'язаних процесів послідовної зміни стану продукцією від початку дослідження та обґрунтування розроблення до припинення експлуатації виробу, застосування (зберігання) матеріалу [36]. У більш ширшому значенні це сукупність усіх існуючих етапів «життя» продукції від ідеї до утилізації.

На рис. 1.1 представлений узагальнений варіант життєвого циклу виробу.

Тривалості кожної стадій життєвого циклу виробу впливає на його економічну ефективність. Важливе значення має скорочення термінів виконання робіт на кожному етапі, а також можливість забезпечення паралельного виконання окремих етапів.

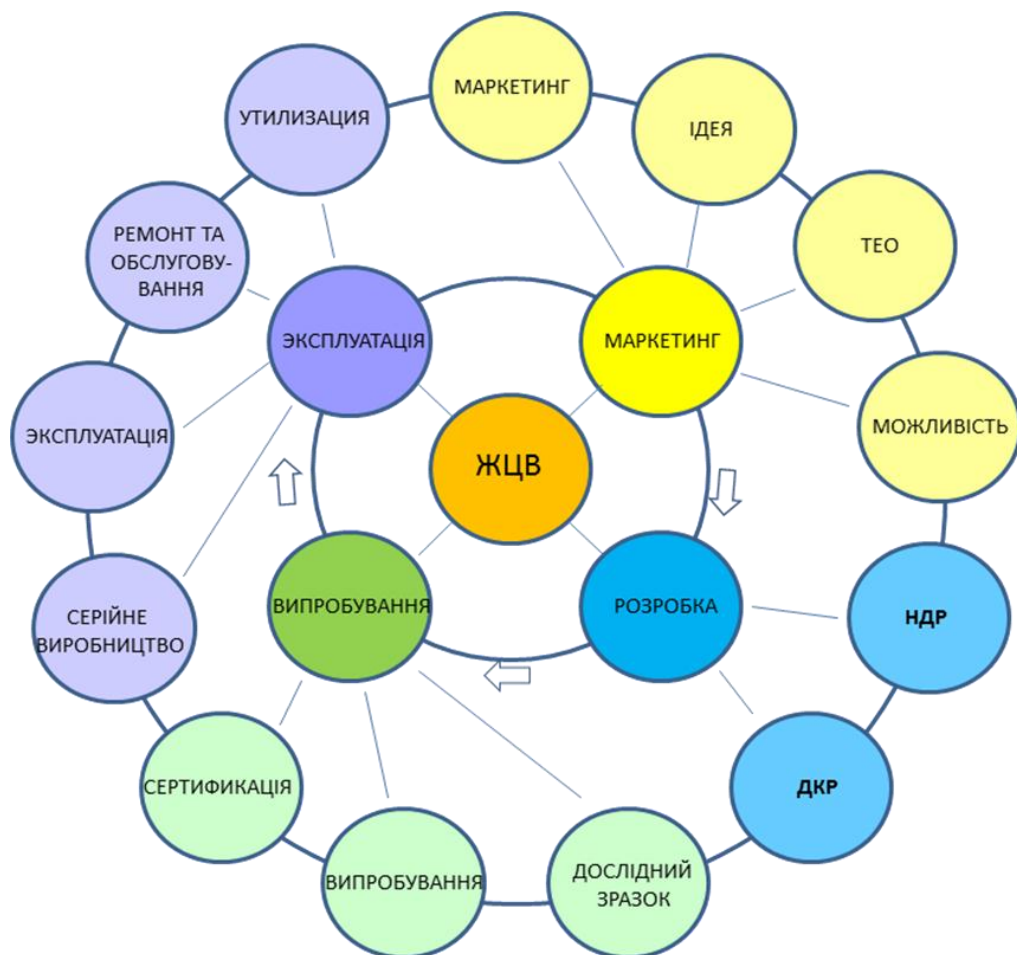


Рис. 1.1. Схема життєвий цикл виробу.

Для цього необхідно:

- знизити до мінімуму всі зміни, що вносяться до виріб після передачі результатів від одного етапу до іншого;
- визначити і реалізувати раціональну паралельність робіт, стадій, проекту;
- забезпечити скорочення витрат часу на виконання окремих етапів.

Зниження до мінімуму змін забезпечується інженерно-технічними методами (стандартизація, уніфікація, забезпечення якості і надійності, застосування САПР і т. д.).

Реалізація паралельності робіт здійснюється шляхом застосування планово-координаційних методів, керування проектом.

Скорочення витрат зв'язане з першим і полягає в використанні організаційних методів (розвиток автоматизації, засобів планування, технічного забезпечення, функціонально-вартісного аналізу, дослідного виробництва і т.д.) [37].

З усього життєвого циклу виробу, дослідження в даній роботі стосуються тільки процесу розробки виробу (науково-дослідні роботи (НДР) і дослідно-конструкторські роботи (ДКР), а саме від етапу прийняття рішення про розробку виробу та видачі вихідних даних проекту до етапу робочого проектування. Саме ці етапи розробки виробу є найважливішими з боку прийняття концептуальних рішень, та не мають розгорнутої методики щодо процесу проектування системи видалення відходів.

Робоче проектування є завершальною стадією саме конструкторських робіт (до виготовлення дослідного зразка) і є похідною від прийнятих на попередніх етапах концептуальних рішень. На етапі робочого проектування виконується випуск робочої КД. Хоча робоче проектування один з трудомістких процесі воно має опосередкований вплив на концептуальні рішення чи їх зміну, але містить низку конструктивних рішень які певною мірою можуть призвести і до зміни деяких характеристик системи чи літака в цілому. У робоче проектування досить активно втілюються САД технології,

особливо технології тривимірного (3D) проектування які в свою чергу зв'язані з системами PLM через які виконується загальне керування проектом (на різних етапах проекту) а також супроводження впродовж усього життєвого циклу виробу [38]. Так існує достатньо інформації [39, 40] щодо проектування у різних CAD системах, а також загальних методів і стандартів [41-43] щодо випуску КД, які застосовуються на етапі робочого проектування.

НДР виконується з метою отримання обґрунтованих вихідних даних, вишукування принципів і шляхів створення або модернізації об'єкта в певні терміни, роботи по ОКР - роботи пов'язані з конструюванням - етапом пов'язаним безпосередньо з матеріалізацією в кресленнях (електронних моделях) ідеї і концепції дослідницьких робіт для надання на етап виготовлення дослідного зразка.

НДР в свою чергу є тією частиною робіт, на етапі якої приймається лівова частка рішень і концепцій з розробки майбутнього виробу і саме від результатів НДР багато в чому залежить успіх проекту. Коректна постановка задачі, визначення цільової функції (ій), оптимізація, облік всіх вимог і норм від фізіологічних до експлуатаційних і т. д. є запорукою отримання бажаного результату проекту.

1.2. Завдання, які вирішуються системою видалення відходів на літаку.

Однією з фізіологічних потреб організму людини є задоволення потреби організму в сечовипусканні і дефекації. Задля задоволення цих функцій на борту літака встановлюється система видалення відходів.

Появу системи видалення на борту літака було обумовлено декількома факторами, а саме збільшенням тривалості польоту літака, і використання літаків в комерційних цілях, для перевезення пасажирів. Завдяки появі пасажирів хоч і повільно, але система видалення відходів почала свою

модернізацію та трансформацію у повноцінну функціональну систему яка має усі атрибути сучасної системи літака.

Завдання СВВ полягає в забезпеченні пасажирів умовами для задоволенні фізіологічних потреб і дотримання норм гігієни при перебуванні на борту літака.

На літаку система видалення відходів виконує наступні функції: збір відходів до приймача відходів, управління зливом і видаленням відходів в бак, зберігання відходів в накопичувальному баку, створення умов для переміщення відходів в бак (вакуумування), зливу відходів з бака на землі, індикацію та сигналізацію про стан системи, управління та контролем системою, при потребі додатково застосовується система обігріву трубопроводів і баку, так званий «арктичний варіант», для літаків які експлуатуються в умовах низьких та наднизьких температур на землі.

У складі літака система повинна забезпечувати безпечне користування системою пасажирами та екіпажем, зручність і простоту використання, максимальну автономність та мінімальне втручання льотного персоналу у роботу системи.

1.3. Сучасний стан розробки системи видалення відходів.

Реалізація сантехнічного вузла на борту перших літаків мала досить примітивний вид який представляв собою виносну ємність, яка в кінці польоту методом виносу з борта літака спорожняється і встановлювалася назад, альтернативним варіантом системи була система яка забезпечувала скидання відходів за борт в атмосферу, такі види систем мали просту конструкцію, але при цьому мали ряд істотних недоліків такі як незручності експлуатації, норми гігієни тощо.

Найпростіші СВВ має вигляд ємності з поліетиленовим пакетом в якій збираються відходи і зберігаються впродовж польоту, а на землі обслуговуючий персонал виносить и опорожняє ємність рисунок 1.2.

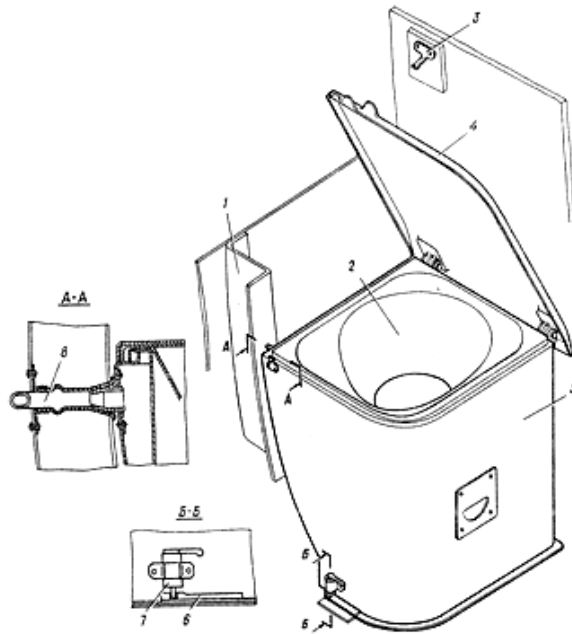


Рис. 1.2. Блок унітазу з виносною ємністю літака АН-28.

Сучасний варіант виносної ємності є вигляд касетного типу рисунок 1.3, який на відміну від свого попередника герметизується і виноситься з літака. Також така ємність може бути з застосуванням хімічної рідини яка служить для «знищення» неприємного запаху відходів.



Рис. 1.3. Блок унітазу касетного типу.

Подальший розвиток СВВ призвело до створення більш досконалих систем - системи рециркуляційного типу рисунок 1.4, який використовує спеціальну хімічну рідину для промивання приймача відходів, і забезпечував злив в бак.

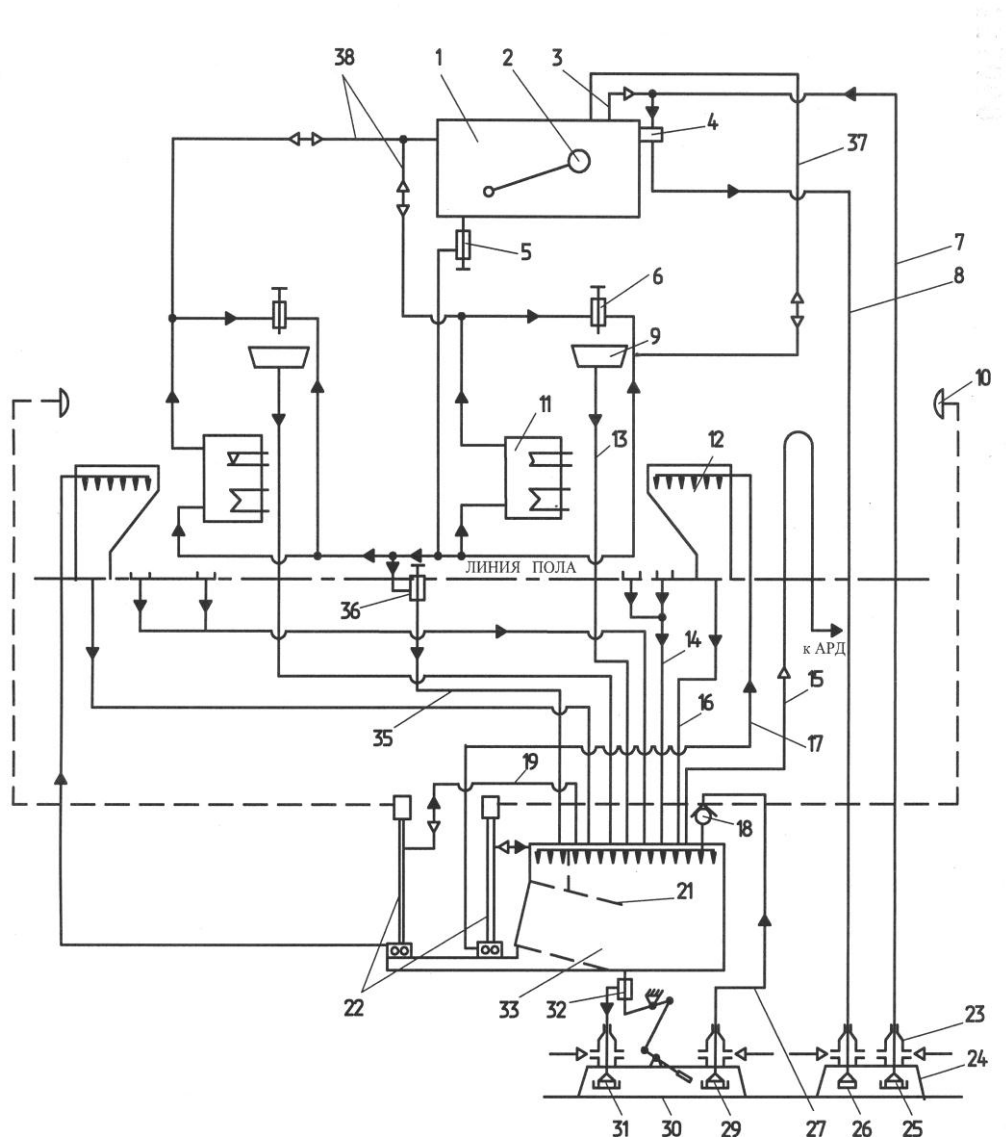


Рис. 1.4. Рециркуляційна система видалення відходів літака Ту-154.

Принцип роботи системи в тому що перед польотом система заправляється спеціальною хімічною рідиною, і в процесі роботи при зливі відходів хімічна рідина за допомогою насосів з баку подається на злив унітазу і потім разом з відходами потрапляє назад до баку відходів. Далі хімічна рідина фільтрується для подачі на повторний цикл зливу. Відходи залишаються продовж польоту у баку зберігання відходів і обслуговується на

землі технічним персоналом через спеціальні панелі обслуговування. Дана системи так само має ряд, як переваг, так і недоліків дивись таблицю 1.

Усі перелічені типи систем мають гравітаційний принцип дії, тобто переміщення відходів до баку виконується за дією гравітаційних сил, під власною вагою.

Сучасний етап розробки систем привів до створення на літаку принципово нових систем, головним з яких став принцип дії – вакуумний, дивись рисунок 1.5.

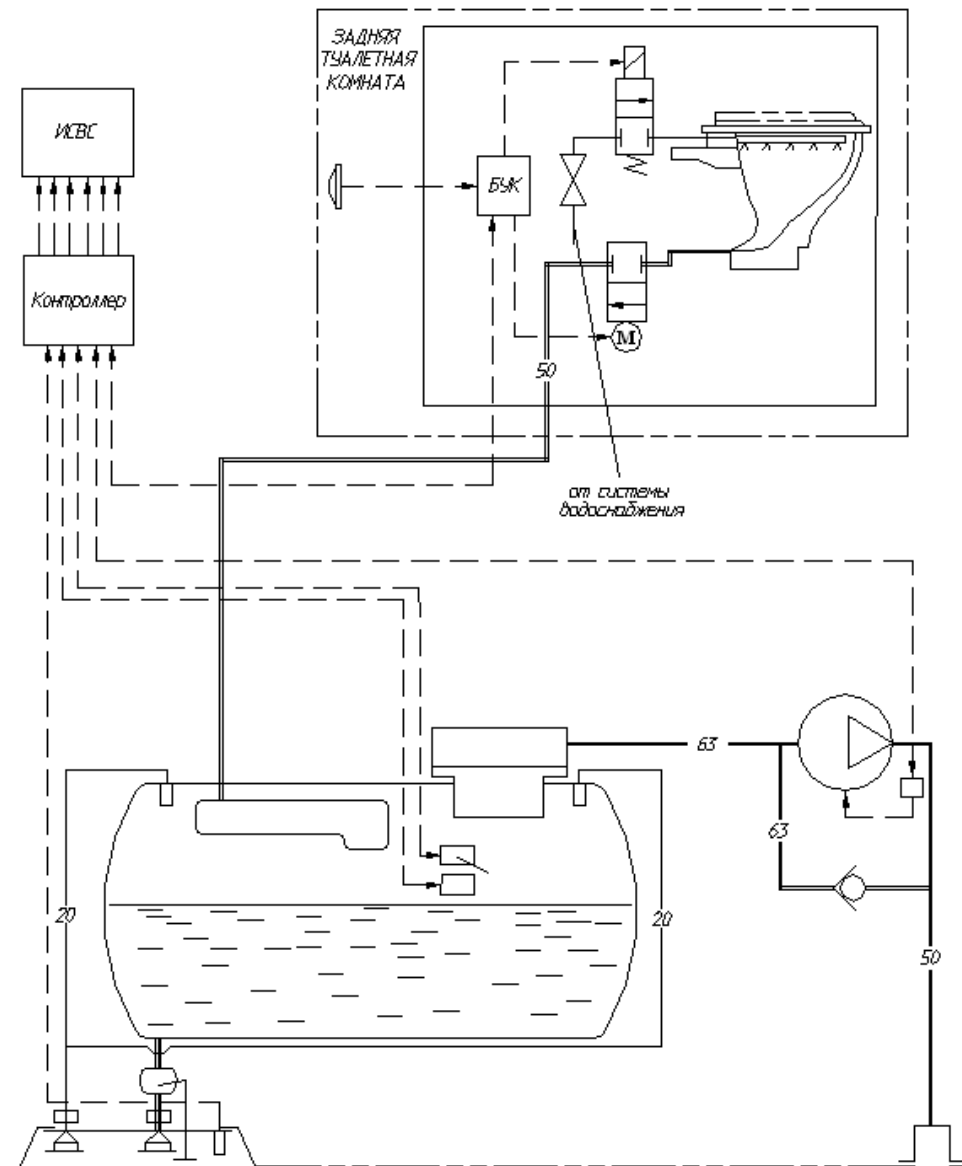


Рис. 1.5. Вакуумна система видалення відходів.

Суть принципу полягає у переміщенні відходів з збірника відходів (унітазу) до баку за сприянням розрядження.

Таке розрядження на землі забезпечує наявність вакуумного генератора (вакуумного насоса), а у польоті за рахунок природнього перепаду тиску між кабіною літака і атмосферою.

Вакуумна система має єдину панель обслуговування, оснащена системою керування.

В результаті аналізу різних типів систем виконана їх класифікація, яка представлена на рисунку 1.6.

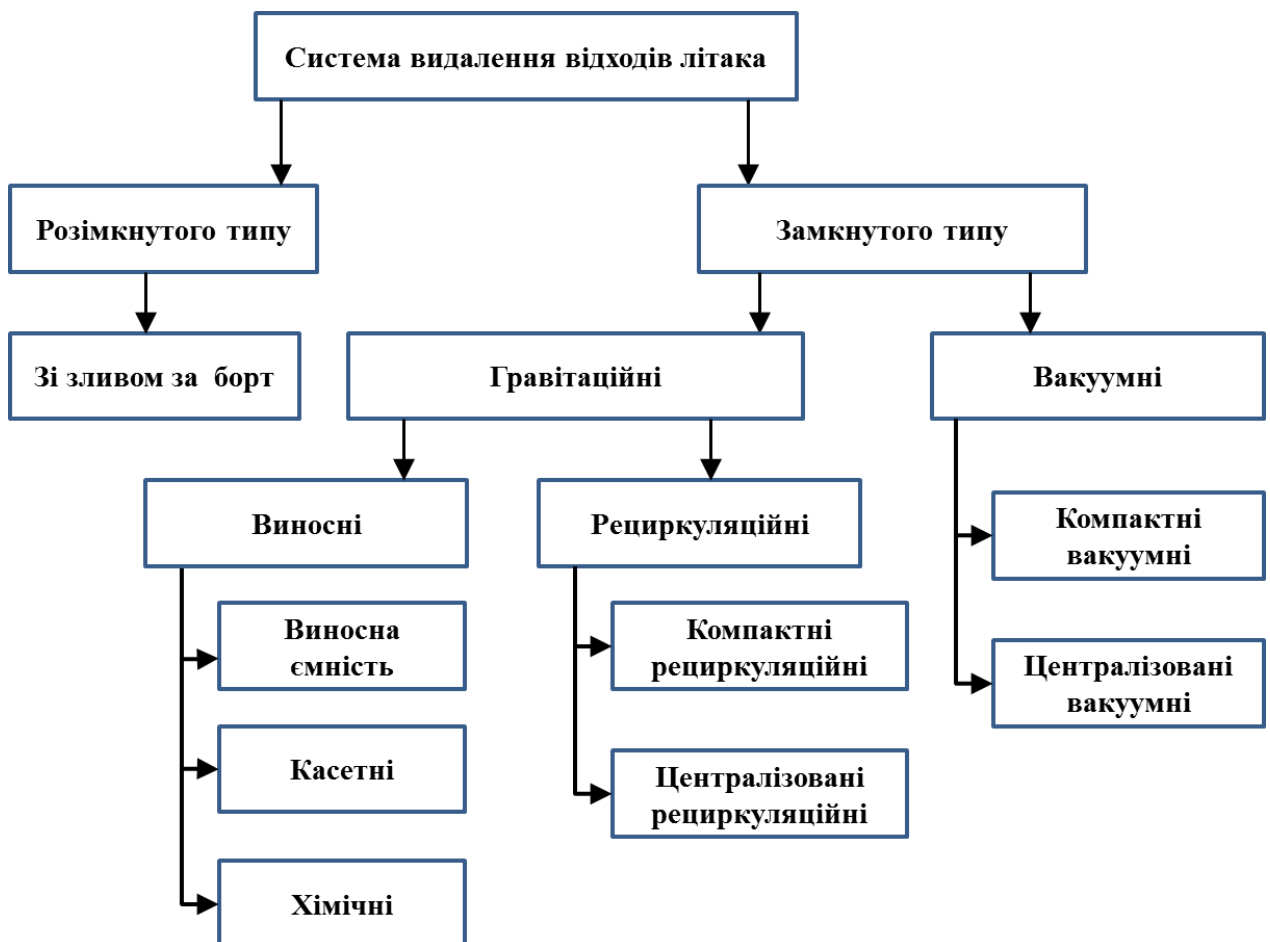


Рис. 1.6. Класифікація системи видалення відходів літака.

Проведений аналіз роботи систем, експлуатації, функціонування, комфорту, гігієни виконано порівняльний аналіз систем і сформовано перелік переваг та недоліків кожного типу систем и наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.1

Тип системи	Переваги	Недоліки
Гравітаційна система	<ul style="list-style-type: none"> - мала вага системи; - проста і дешева в технічному обслуговуванні; - екологічно чиста; - простота конструкції та монтажу/демонтажу. 	<ul style="list-style-type: none"> - наявність неприємних запахів; - низький рівень гігієни; - незручність експлуатації.
Рециркуляційна система	<ul style="list-style-type: none"> - компактність і відносно невелика вага системи; - відсутність довгих трубопроводів; - відносна простота у обслуговуванні; - тиха робота системи; - можливість роботи без рециркуляції – як гравітаційний; 	<ul style="list-style-type: none"> - наявність неприємних запахів; - труднощі при утилізації; - дороге технічне обслуговування - кожен туалет обслуговується окремо; - корозійна активність при течіях у системі. - додаткові витрати на придбання хімічної рідини.
Вакуумна система	<ul style="list-style-type: none"> - екологічність - відсутність хімічної рідини; - автономність - можливе наземне обслуговування без наявності електроенергії; - енергозбереження – мале споживання електроенергії, за рахунок використання перепаду тиску; - відсутність неприємних запахів; - зручніше позиціонування туалетів у салоні; - єдиний бак для збору відходів; - єдина панель обслуговування санвузлів; - мале використання води ~ 200мл за злив; - злив “сірої” води за борт літака; 	<ul style="list-style-type: none"> - довгі трубопровід для зливу в бак; - можливий шум при використанні системи, особливо при роботі вакуумного насосу; - при відсутності води для зливу можливі закупорки системи відходами;

Виходячи з аналізу порівняння можна зробити висновок що системі видалення відходів вакуумного типу має низку переваг перед гравітаційними системами, задовольняє сучасні вимоги до системи, але з іншого погляду має атрибути повноцінної системи, яка має більш розширену архітектуру, склад и потребує повноцінної розробки у складі літака як функціональної системи.

Для сучасної проектувальної діяльності характерні такі особливості:

- розширення обсягу інформації, який розглядається в процесі проектування. Необхідність враховувати широкі зв'язки і відносини систем, велике число різних професійних сфер, які замикаються на проектну діяльність. Ця тенденція проявляється і в створенні багатоцільових банків інформації та автоматизованих систем. Складні проекти дають можливість багатоцільового застосування даних на різних етапах процесу проектування, використання і експлуатації;

- зростаюча складність і математична труднощі інженерних розрахунків в процесі проектування. Ця тенденція з'являється через необхідність більш детального аналізу і моделювання основних компонентів за допомогою обчислювальної техніки. В області застосування теорії обчислювальних машин можна виділити дві сфери - обробка даних і науково-технічні розрахунки;

- складність процесу проектування висуває нагальну необхідність його спеціального дослідження, імітації, перевірки можливості різних варіантів планованих рішень. Звідси виникає сукупність технічних, інформаційних та інших вимог, що включаються до оціночну діяльність;

- прогностична сторона проекту. Проектувальна діяльність повинна бути науково і технічно обґрунтована на базі новітніх результатів дослідження та розробок, доступних тут і зараз. Але в той же час проектувальник завжди повинен брати до уваги більш-менш віддалене майбутнє, перспективу.

1.4. Реалізація підходів до проектування системи видалення відходів.

На рисунку 1.7 представлені основні етапи процесу проектування літака [44] і відповідно складовою його частини - системи видалення відходів, як зазначено вище розробку системи неможливо розглядати окремо від єдиного комплексу - літака.

Далі йде процес виготовлення дослідного зразка чи зразків, випробування, доводка та сертифікація виробу.

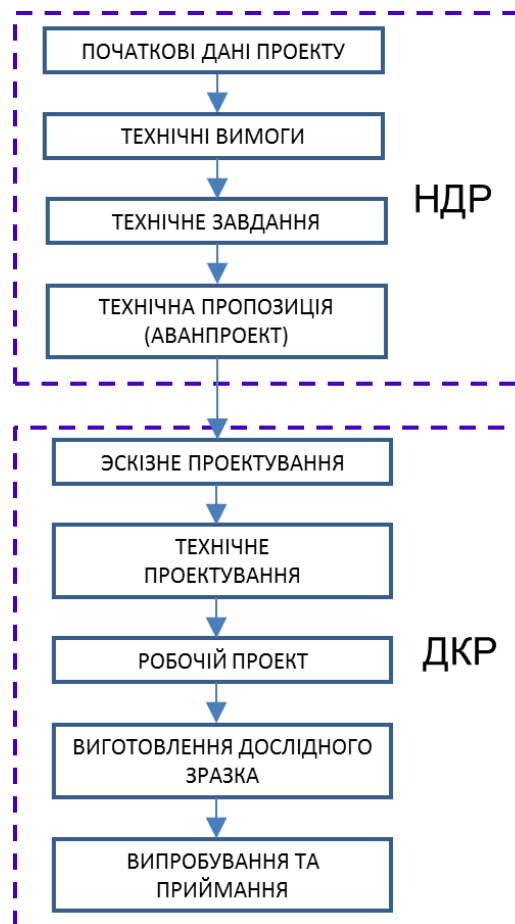


Рис. 1.7. Основні етапи процесу проектування літака.

Західні літакобудівні фірми використовують схожий процес проектування літака і його систем [45, 46].

Загальний процес проектування можна розділити на етапи, як показано на рисунку 1.8.

Для досягнення мети важливо правильно сформулювати проблему шляхом визначення ключових вимог до виробу. Створення карти процесу - це перший крок до проектування і створення нового літака.

Визначення проблеми це виявлення нового ринкового попиту. На початкових етапах визначення проблеми вкрай важливо спочатку визначити ключові вимоги до нового продукту, а потім визначити, наскільки реально створити цей продукт за допомогою техніко-економічного аналізу.

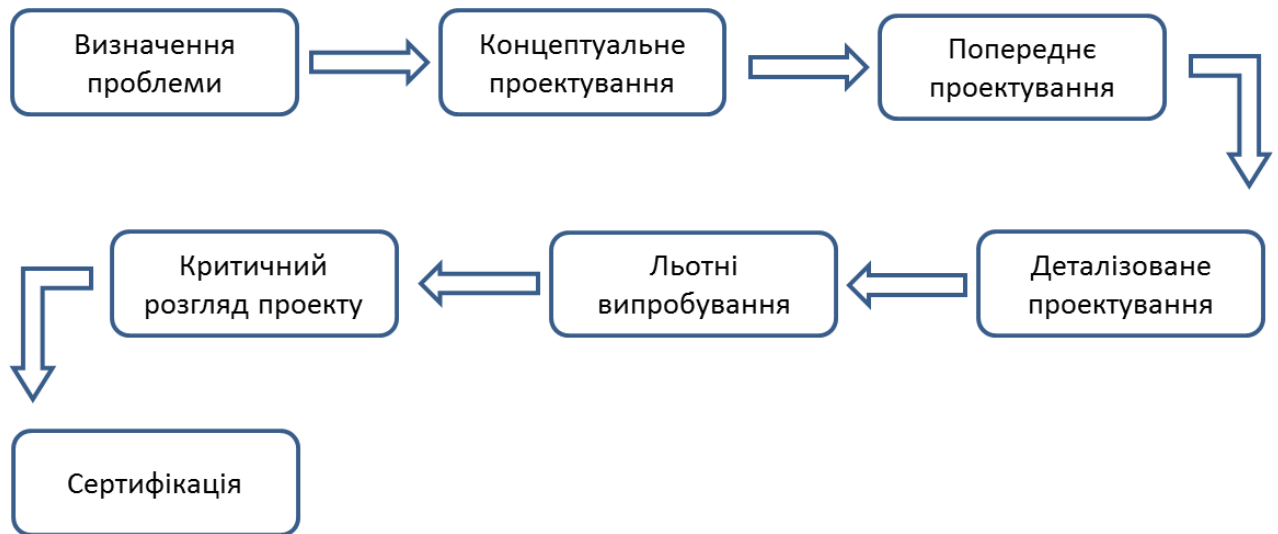


Рис. 1.8. Загальний процес проектування західних розробників.

Етап концептуального проектування включає в себе попередні розрахунки, ідей мозкового штурму. В процесі проектування проект переглядається, він зазнає багато змін, щоб відповідати вимогам. Основні критерії збираються для створення початкової конфігурації проекту, який використовується для обговорення різних можливостей під час концептуального проектування.

На етапі попереднього проектування створюється базове підтвердження концепції. На цьому етапі розраховуються вимоги, яким літак і системи повинні будуть відповідати. Далі слід попередній огляд проекту, щоб переконатися, що концепція може стати реальною і за розумною ціною.

На етапі детального проектування виконується розробка та випробування кожного окремого компонента. Це дуже складний і критичний

етап процесу. Це також вимагає, спільної роботи різних підрозділів беруть участь в процесі створення виробу.

Етап льотних випробувань. На даному етапі створюється прототип, і він проходить суворі льотні випробування. Це дуже тривалий і дорогий процес, що забезпечує якість і безпеку нового літака, на його завершення можуть піти роки.

На етапі критичного аналізу проектування вносяться останні невеликі зміни, щоб уточнити зауваження, виявлені в ході льотних випробувань.

Сертифікація. Після того як літак сертифікований, він може бути допущений до польотів і повністю запущений у виробництво. Під час остаточного процесу сертифікації існує велика кількість дозволів, які необхідно отримати для проектування і безпеки.

Це безліч випробувань і схвалень зроблено для забезпечення безпечної експлуатації та функціонування літаків.

Основні принципи проектування

Принцип новизни - це обов'язковість реалізації в проекті досягнень науково-технічного прогресу. До нього відносяться: відкриття, винахід, раціоналізаторську пропозицію, ноу-хау.

Принцип попередження морального старіння - передбачає реалізацію можливості подальшого вдосконалення (модифікації) та модернізації об'єкту. До нього відносяться: модернізація, модифікація.

Принцип наступності - це продовження використання в новому виробі елементів ще випускається або вже випускався виробу зі збереженням колишньої технології їх виробництва.

Принцип системності - це обов'язковість розглядати об'єкт проектування і як самостійну систему взаємопов'язаних компонентів, що утворюють певну цілісність, і одночасно - як елемент певної великої системи, з урахуванням внутрішніх і зовнішніх зв'язків.

Декомпозиція - розчленування складного цілого на все менш складні частини, які легше проектувати (аналізувати).

Ієрархічність структури - розташування елементів на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня, при якому рішення приймається в інтересах вищого рівня з урахуванням технічних можливостей нижчого рівня та у взаємодії із зовнішнім середовищем (природного та штучного).

Системний підхід полягає в єдиності об'єкта - і як самостійної системи, і як елемента деякої системи більш високого рівня. Це гарантує отримання найбільш повного і цілісного уявлення про об'єкт.

Системне проектування - рішення технічної задачі для частини з урахуванням цілого.

Принцип послідовних наближень полягає в послідовному визначенні одних і тих же характеристик об'єкта, що проектується по все більш точним і адекватним моделям на підставі інформації, отриманої на попередньому наближенні. Причина послідовних наближень - фактор невизначеності.

Застосування принципу - може застосовуватись як до всього процесу проектування, так і всередині кожного етапу.

«Нульове наближення» - первинне припущення в умовах повної або великої невизначеності.

Принцип послідовних наближень стверджує необхідність поступового нарощування знань про досліджуваному об'єкті і є одним з універсальних підходів до отримання проектного рішення.

Принцип оптимальності - це обов'язковість вибору найкращого (оптимального) варіанту з допустимих варіантів проекту.

Умови застосовності:

- 1) наявність не менше двох варіантів проекту;
- 2) наявність хоча б одного критерію.

Допустимий варіант - варіант проекту, що задовольняє вимогам ТЗ, НЛГ і іншим вимогам і обмеженням.

Оптимальний варіант - це допустимий варіант проекту, найкращий за відомим критерієм.

Власне процес знаходження найкращого варіанту і називається оптимізація. Оптимізація може бути застосована, якщо є не менше двох варіантів чи критеріїв.

Принцип компактності зобов'язує розташовувати елементи об'єкта в просторі так, що витрати, пов'язані з витратою матеріалів на несучі елементи, комунікації, захист і т.п., що залежать від габаритів і взаємного розташування елементів мають мінімальне значення. Застосування: принцип компактності сприяє досягненню оптимальності проекту.

Принцип ремонтпридатності - це обов'язковість найбільшою пристосованості об'єкта до підтримання та відновлення працездатності (льотної придатності) шляхом технічного обслуговування і ремонту.

Принцип застосування норм і стандартів - це обов'язковість застосування норм льотної придатності та інших регламентів як основи підвищення якості проектування і створення економічних і безпечних проектів.

Створення безпечного ВС немислимо без дотримання Норм льотної придатності і подальшої його сертифікації.

Принцип екологічності - це обов'язковість гармонізації створюваного ВС з навколишнім середовищем на всіх етапах його життєвого циклу, як по споживаним ресурсів, так і по впливу на середу. Створення сучасного ВС немислимо без дотримання вимог з охорони навколишнього середовища.

Принцип автоматизації - це обов'язковість застосування сучасних інформаційних технологій та обчислювальної техніки.

Комп'ютерна технологія - це якісна зміна свідомості, ідеології та зв'язків між людьми і службами, що створюють технічний об'єкт (повітряне судно).

Для успішного проведення проектування та знаходження найкращих показників рекомендується використовувати і дотримуватися всі перераховані принципи проектування.

Постановка і рішення задач оптимізації по [47] є сутністю процесу проектування. На рисунку 1.9 представлено алгоритм рішення проектних задач з використанням рекомендацій системного аналізу і основних положень нелінійного математичного програмування.

Постановка задачі – це те, що ми хочемо отримати на виході. Цільова функція – оптимізуєма характеристика чи критерій оптимальності. Під математичною моделлю розуміємо сукупність методів, алгоритмів, програм, експериментальних даних і іншої інформації, яка дозволяє визначати значення цільової функції улюбій точці простору проектних змінних і зрозуміти чи задовольняє модель усім вимогам умовам і обмеженням проекту.

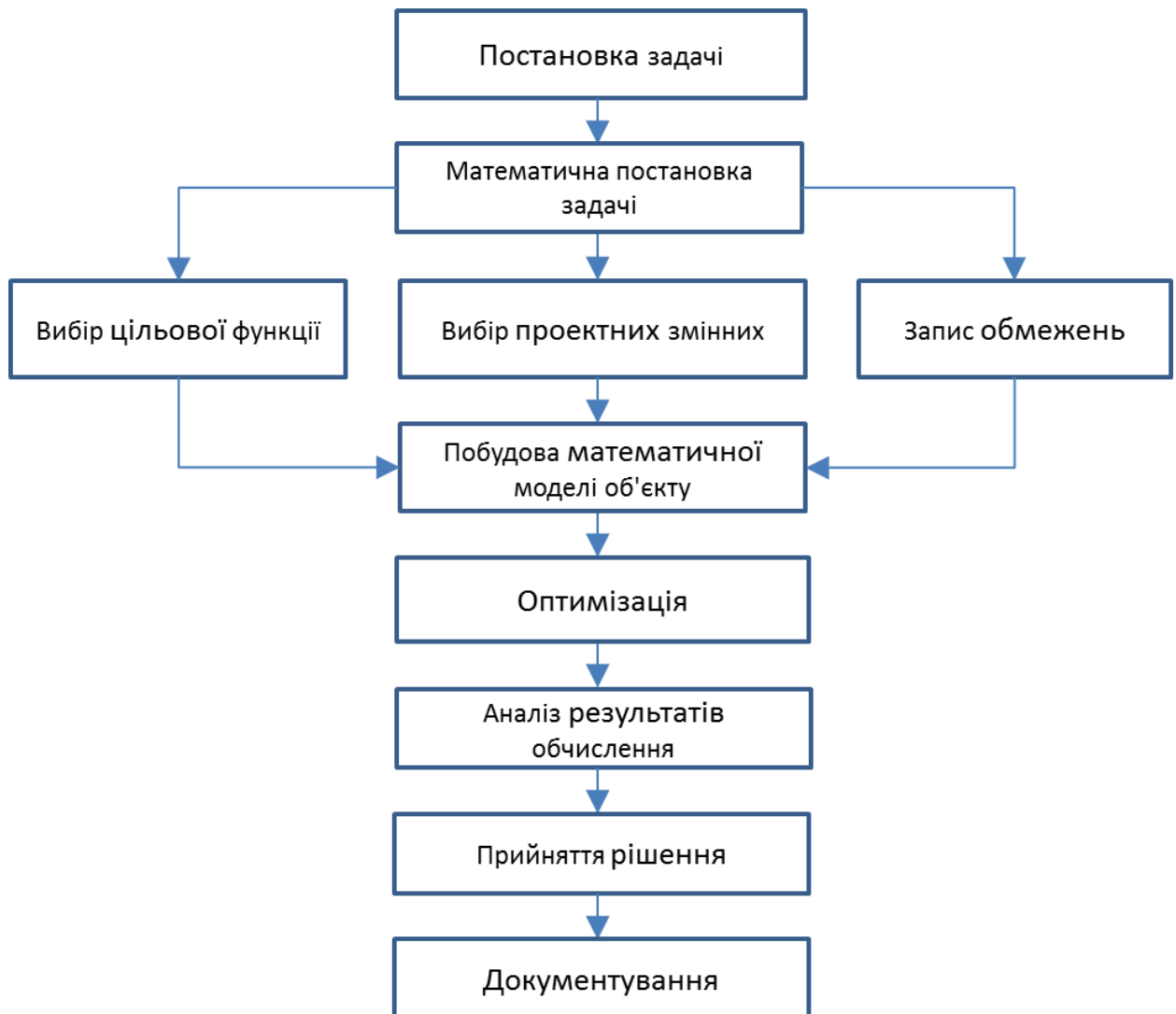


Рис. 1.9. Алгоритм рішення проектних задач.

Виходячи з проведеного аналізу методів, принципів і підходів до проектування систем їх особливостей, враховуючи сучасні потреби щодо вирішення проектних задач, складність та розгалуженість завдань, які стоять перед системою видалення відходів, реалізацію її як повноцінної функціональної системи, постає завдання розробки такої методики проектування, яка задовольнить потреби розробника і на етапах попереднього проектування отримати повноцінні проектні рішення та характеристики майбутньої системи, досягнути об'єм та етапність розробки.

1.5. Огляд методів розрахунку вакуумних систем.

Вибір методики для проектування вакуумної системи визначається характеристиками вакуумної системи та умовами її функціонування, а з іншого – умовами, що впливають на якість і достовірність результатів, які планується отримати в результаті.

Існує декілька рівнів опису процесів, що протікають в розрідженому газі, і ряд відповідних їм методів і підходів, в рамках яких реалізується замкнута система понять, що описують стан розрідженого газу і інтегральні характеристики вакуумних систем [48].

Існуючі методи і підходи можна умовно розділити на дві основні частини: аналітичні та чисельні.

Наведемо основні наявні підходи, які найбільш широко застосовуються при розробці і аналізі вакуумних систем, з точки зору доцільності та ефективності використання цих підходів в реальних актуальних завданнях проектування і оптимізації.

Аналітичні методи. Однією з найбільш поширених завдань, що постають перед розробником вакуумних систем, є визначення провідності (опору) трубопроводу. Пошуку коректних методів обчислення цих величин присвячена, велика частина публікацій з вакуумної техніки. Дослідженням

цієї теми присвячені роботи П. Клаузінга, М. Кнудсена, М. Смолуховського, тощо.

Однією з методик аналізу вакуумних систем є теорія зосереджених параметрів, в якій стан розрідженого газу описують термодинамічно, приймаючи, що його параметри пов'язані між собою рівнянням стану ідеального газу.

В цьому підході були вироблені основні співвідношення для розрахунків сумарних провідності і опору складних складових вакуумних систем, а також основне рівняння вакуумної техніки, що встановлює зв'язок між швидкістю дії насоса S_n , приєднаного до відкачуваного обсягом через патрубков, який має провідність U , і ефективної швидкістю відкачування розглянутого обсягу S_{ef} :

$$\frac{1}{S_{ef}} = \frac{1}{S_n} + \frac{1}{U}$$

Розвитком наведеного підходу займався С. Дешман [49], який висунув гіпотезу про аналогії процесів течії розрідженого газу в каналах і струму в електричних ланцюгах і запропонував відоме співвідношення для розрахунку сумарної провідності складеного трубопроводу U_Σ :

$$\frac{1}{U_\Sigma} = \sum_{i=1}^N U_i$$

Корекцію до даного співвідношення вніс К. Оутлі. Основним у його теорії являлася вірогідність проходження молекули через елемент конструкції. З'єднуючи два трубопроводів з однаковими радіусами та різної довжини які мають провідність U_1 та U_2 результуюча провідність усієї системи в цілому U_Σ визначається як:

$$\frac{1}{U_\Sigma} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} - 1$$

Данні підходи розглядають задачу визначення провідність в стаціонарній постановці.

Процеси нестационарної відкачки об'єму з врахуванням залежності провідності від тиску дослідив Г.А. Тягунов [50].

Іншу теорію течії розрідженого газу запропонував М. Кнудсен [51]. Передумовою його теорії можна назвати наступне: молекулярний потік на поверхню формується і визначається параметрами газового середовища в розглянутому елементарному обсязі; поведінка газу описується в термінах механіки суцільних середовищ; при розгляді процесів взаємодії молекули зі стінками не враховуються температура стінки (ізотермічна система), можливість поглинання або міграції молекули по поверхні. В рамках розробленої теорії були отримані наближені співвідношення для розрахунку провідності протяжного каналу круглого перерізу, пізніше підтвержені М. Смолуховським.

Наступним етапом розвитку теоретичних основ розрахунку вакуумних систем стала теорія П. Клаузінга. Головним нововведенням стала повна відмова від спроби пов'язати щільність падаючого потоку молекул на фрагмент поверхні системи з локальними характеристиками газового середовища в прилеглому обсязі. Дотримуючись П. Клаузінгу, потік молекул Q_{mp} , що вилітають через вихідний перетин каналу, можна висловити через потік молекул Q_{ome} , влітають в його вхідний отвір, тобто

$$Q_{mp} = k_{кл} \cdot Q_{ome}$$

У теорії П. Клаузінга ясно видний ряд принципів моментів: потік через трубопровід не залежить від температури його стінок, а залежить тільки від температури газу на вході в трубопровід; на потік через канал впливають лише геометричні характеристики каналу і параметри взаємодії молекул зі стінками - фізична модель розсіювання та характеристики поверхні з точки зору можливості поглинання (захоплення) молекул.

Методика П. Клаузінга набула широкого використання для розрахунків провідності каналів, а закладені в неї передумови дозволили розглядати цей підхід в якості початкового етапу для розвитку єдиної універсальної методики для аналізу складних вакуумних систем. Підхід П. Клаузінга для

аналізу вакуумних систем отримав інтенсивний розвиток в роботах Г.Л. Саксаганського [52], Ю.А. Рижова, Ю.А. Кошмарова і ін.

Метод кутових коефіцієнтів. Одним з найбільш детально розвинених підходів, що виділилися в окрему методику, є метод кутових коефіцієнтів або метод променевої аналогії.

Він будується на аналогії між закономірностями течії газу в системах з дифузно відбиваючими стінками і променистого теплообміну в діатермічні замкнутих середовищах.

Даний метод будується на використанні базового поняття кутового коефіцієнта, який виражає собою частку потоку, що дифузно імітується з одного елементарного фрагмента поверхні (або з поверхні в цілому) і падаючого на інший елементарний фрагмент поверхні (або на іншу поверхню в цілому). Значення кутових коефіцієнтів залежать від взаємного розташування і типів поверхонь, що становлять аналізовану систему. Після визначення значень кутових коефіцієнтів з використанням параметрів, що характеризують взаємодію газу з поверхнею (коефіцієнти поглинання або прилипання і відображення), знаходяться значення потоків з поверхні на поверхню, які, в свою чергу, дозволяють визначати інтегральні характеристики системи - провідність, швидкість дії і т. п.

Метод еквівалентних поверхонь. Окремо від інших методів і підходів до аналізу вакуумних систем варто метод еквівалентних поверхонь. Даний підхід не є методом аналізу в безпосередньому розумінні, він являє собою методику, органічно доповнює практично будь-який метод аналізу. Суть цієї методики зводиться до заміни складного фрагмента вакуумної системи на деяку поверхню, характеристики якої еквівалентні характеристикам всього фрагмента. З одного боку, аналізована структура зазнає суттєвого спрощення, а з іншого - драматичної втрати точності результату не відбувається, так як еквівалентна поверхню визначається як газокінетична копія складного фрагмента. При цьому подібна схема аналізу допускає і, більш того, передбачає подальшу деталізацію розрахунків.

Метод аналізу газових потоків шляхом вирішення кінетичного рівняння Л. Больцмана. Одним з найбільш суворих і загальних підходів до аналізу течій розрідженого газу в вакуумних системах є метод, який полягає в використанні кінетичного рівняння Л. Больцмана. Воно встановлює взаємозв'язок між швидкостями молекул до зіткнення і після нього.

Використання кінетичного рівняння Л. Больцмана для аналізу процесів течії розрідженого газу є настільки всеосяжним і універсальним підходом, що для нього розроблені як аналітичні, так і чисельні методики, що дозволяють використовувати багатий математичний апарат на різних рівнях деталізації аналізованої системи. Серед головних достоїнств цього методу слід відзначити можливість його застосування для аналізу молекулярних потоків в будь-якому режимі течії - вільномолекулярному, перехідному, суцільному.

Метод Монте-Карло пробної частинки (ММК). ММК ще називають методом статистичних випробувань, він є чисельним методом вирішення математичних і фізичних задач шляхом моделювання характерною випадковою величиною. Метод Монте-Карло був запропонований в 1949 р американськими математиками Н. Метрополіс і С. Уламом.

Одним з варіантів методу Монте-Карло, який використовують для розрахунків вакуумних систем, є метод пробної частинки, що складається в моделюванні руху молекул і статистичної оцінки результатів цього моделювання. Так як рух окремих молекул газу підпорядковане законам статистичної фізики і носить випадковий характер. За допомогою методу пробної частинки аналізуються різні параметри молекулярних течій всередині системи з заданими геометрією і умовами взаємодії з поверхнями даної системи. Метод пробної частинки використовується при аналізі молекулярних потоків, для яких виконується припущення про вільномолекулярному режимі течії. Так як молекули зіштовхуються між собою, алгоритм розрахунку будується таким чином, що частки запускаються в систему по черзі і наступна запускається після того, як

закінчила політ попередня. Насправді відбувається багаторазовий запуск однієї і тієї ж частинки, але оскільки параметри запуску і польоту моделюються випадково, то вважається, що всі аналізовані варіанти належать різним часткам.

Особливо актуальним є розвиток методу в напрямку, що дозволяє проводити аналіз різної складності систем і отримувати в результаті традиційні параметри вакуумних систем, такі як тиск, концентрація і інші, найбільш зручні і звичні для конструктора з метою ефективного використання в роботі над проектом.

Метод пробної частинки є одним з найбільш оптимальних, а в деяких ситуаціях єдиним підходом, так як володіє відносно невисокою вимогливістю до обчислювальних ресурсів і при цьому має потенціал для проведення з його допомогою аналізу вакуумних систем будь-якого ступеня складності, в тому числі що знаходяться в нерівноважних умовах, з урахуванням нестаціонарності процесів, що протікають, і інших чинників, що визначають параметри функціонування вакуумних систем. Єдиним обмеженням застосування методу пробної частинки в даному напрямку є мала розвиненість відповідних методик і підходів.

Для розробки якісного проекту до процесу проектування необхідно розробити розрахунковий комплекс, який включає математичні моделі розрахунку трубопроводів, баку зберігання відходів, задля отримання проектних даних для проектування.

1.6. Висновки з розділу 1.

1. Виконано аналіз основних методів проектування систем, типів стратегій проектування, реалізація підходів до проектування їх основні принципи та особливості.
2. Окреслені завдання, які вирішуються системою видалення відходів на літаку і їх особливості.

3. Виконано аналіз різних типів систем видалення відходів, їх класифікацію, порівняння систем та сформовано перелік переваг та недоліків, оцінено сучасний стан розробки системи видалення відходів.
4. На основі проведеного аналізу методів, принципів і підходів, сучасних потреб до проектування, постає науково-прикладна задача створення методик проектування та розрахунку СВВ вакуумного типу для отримання повноцінних проектних рішень та характеристики майбутньої системи, досягнути об'єм та етапність розробки.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ

2.1. Формування та реалізація характеристик системи видалення відходів на стадії проектування

Вимоги є основою для будь-якого проекту. Вони визначають ті потреби «зацікавлених сторін» - користувачів, споживачів, постачальників, розробників і самого бізнесу, - які є для них необхідними, а також той функціонал, яким система повинна згодом мати, щоб задовольнити ці потреби [53].

Тільки узгоджені вимоги можуть бути основою для проекту, однак, з часом потреб у різних сторін може ставати все більше і більше і це при тому, що інтереси сторін можуть вступати в конфлікт межу собою. Крім того, потреби можуть бути нечітко виражені на початку проекту, їх задоволення може бути обмежена факторами, що лежать в неконтрольованій області, на задоволення потреб можуть впливати інші цілі проекту, які, в свою чергу, теж можуть змінюватися з плином часу та по мірі розробки проекту.

Вимоги забезпечують представлення переліку завдань, які необхідно виконати (так звана «дорожня карта») та засоби управління, і допомагають досягти бажаної цілі проекту.

Узгоджені вимоги забезпечують базу для планування розробки системи і її приймання після закінчення робіт. Вимоги необхідні, коли доводиться йти на компроміси, і вони життєво важливі, коли в процесі розробки доводиться вносити зміни, що фактично неминуче для будь-якого з проектів.

Після окреслення і визначення проблем і їх рішення, постає завдання оцінки ризиків, які можуть призвести до відхилення або невиконання проекту. Замовник не затвердить проект без переконливої стратегії управління ризиками. Організація роботи з вимогами дозволяє управляти ризиками на самих ранніх стадіях розробки. Так ризик, який впливає з певної вимоги, може бути відстежено, може бути проведена оцінка його

впливу, ймовірність його появи (реалізації), і, як наслідок, може бути розроблений попередній план щодо запобігання та усунення наслідків цього ризику. І що найголовніше, - все це можна виконати задовго до того, як виникне необхідність відповідних витрат [54].

Вимоги є основою для: планування проекту; управління ризиками; приймального тестування; погоджень; управління змінами.

Формування характеристик майбутньої системи в великій мірі залежить від тих критеріїв та вимог які закладаються на попередньому етапі розробки системи (дивись пункт 2.2). Так основні вимоги до СВВ формуються з авіаційних норм та санітарних норм і норм гігієни (дивись рис. 2.1).

Ключовими є критерії та вимоги: замовника, розробника, виробництва та загальні вимоги до системи. Кожна з цих груп має свій набір вимог з яких і формуються рамки в межах яких буде розроблятися майбутня система.

Проблеми при розробці проектів систем можуть виникати через неформальний збір інформації, передбачуваної функціональності, помилкових або узгоджених не функціональних вимог до системи, а також нерегламентованою процедури їх зміни. Організація управління вимогами насамперед спрямована на виявлення таких проблем за рахунок документування, узгодження, удосконалення способів збору і модифікації вимог до системи, відстеження вимог зацікавлених осіб та з інших джерел, що їх потребують.

Управління вимогами - процес, що включає ідентифікацію, виявлення, аналіз, документацію, пріоритизацію вимог, відстеження, досягнення угод по вимогам і потім управління змінами і повідомлення зацікавлених осіб. Управління вимогами - безперервний процес який виконується та відстежується протягом усього життєвого циклу продукту.

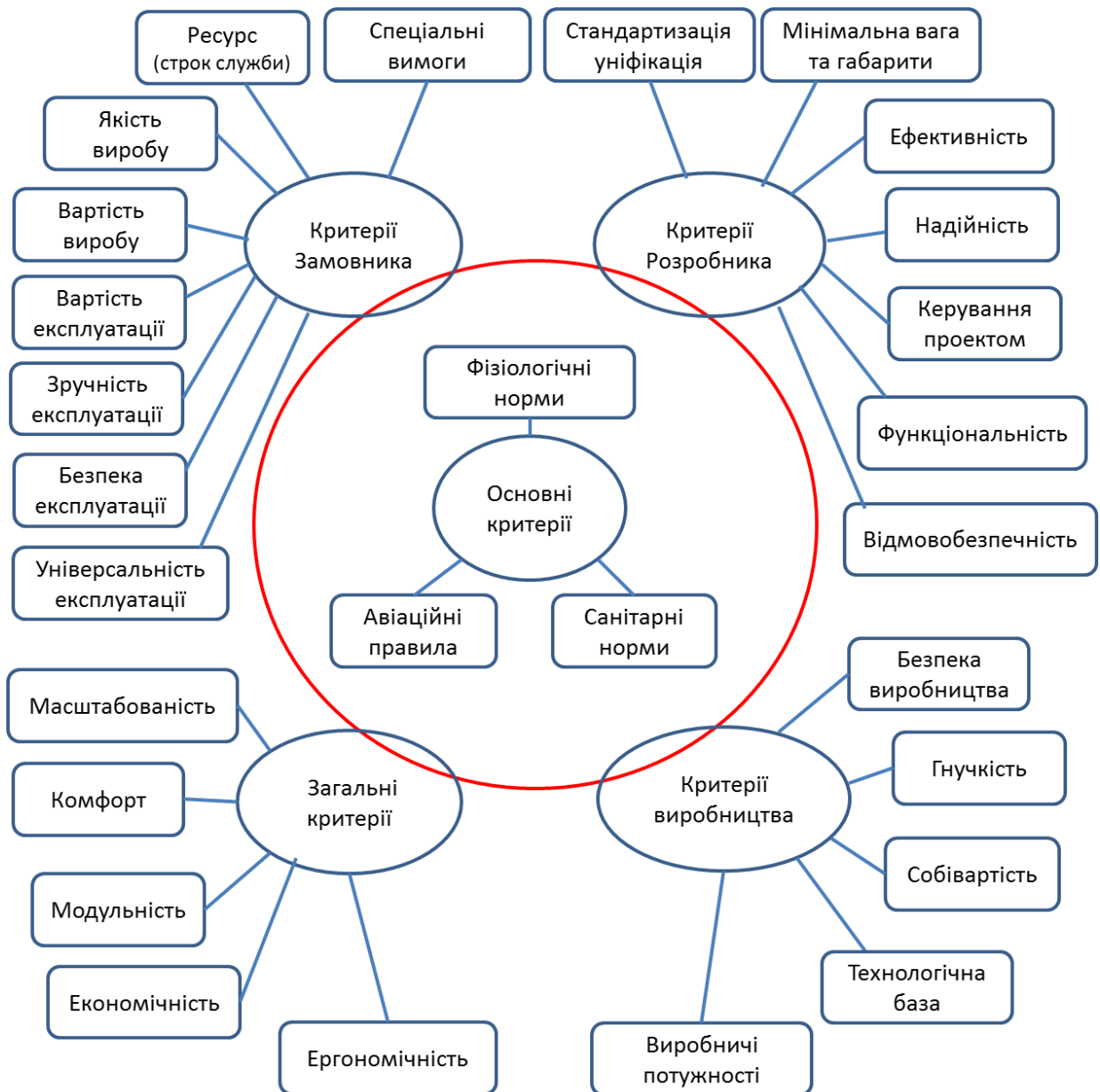


Рис. 2.1. Критерії та вимоги до формування СВВ.

Регламентация процедур управління вимогами повинна забезпечити високу якість роботи з ними в проектах які пов'язані з розробкою, супроводом, створенням автоматизованої системи, розробкою їх організаційно-методичного забезпечення, а також впровадження готових систем за рахунок зменшення типових помилок при роботі з вимогами.

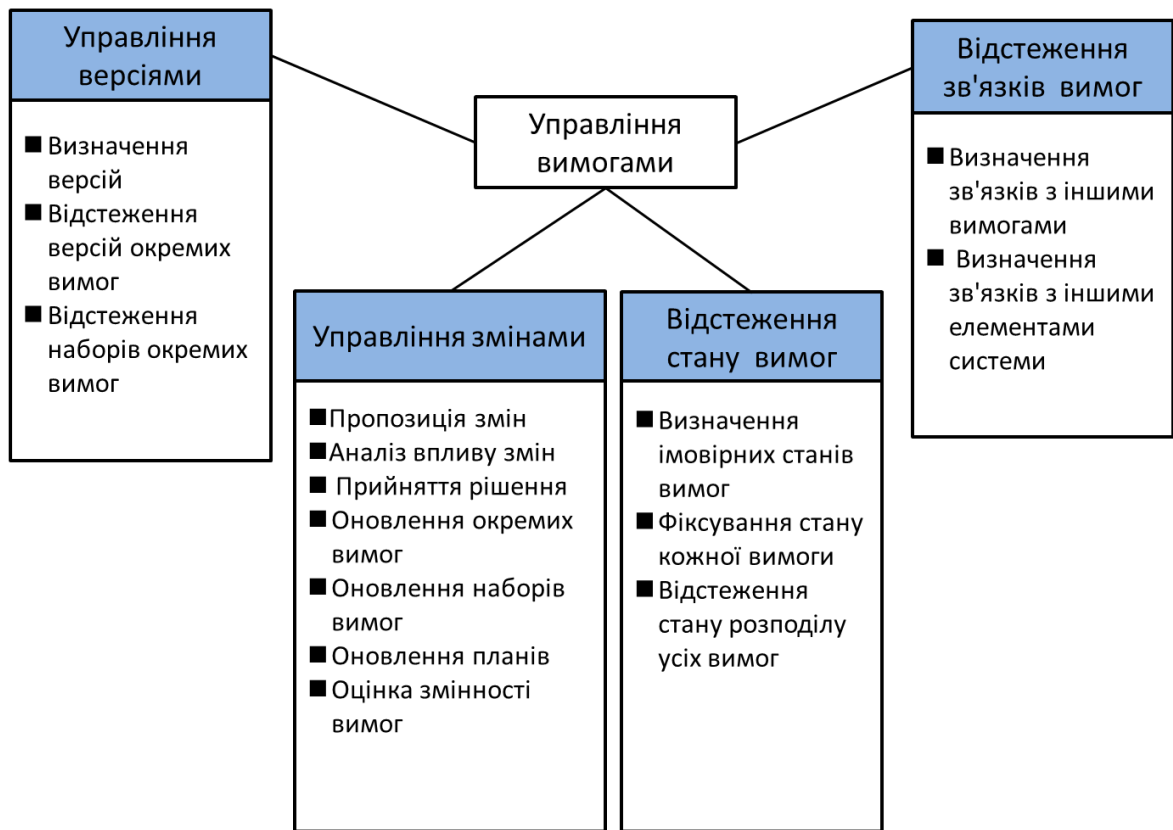


Рис. 2.2. Управління вимогами.

Збір вимог з одного боку являє собою доволі просту задачу, проте в реальності по ряду причин виникають труднощі:

- Вимоги не завжди є очевидними і приходять з декількох джерел (вимоги норм льотної придатності, гігієнічні норми, вимоги заказчика, тощо).
- Вимоги не завжди вдається ясно висловити словами.
- Існує багато різних типів вимог на різних рівнях деталізації.
- За відсутності контролю число вимог може стати некерованим.
- Вимоги пов'язані між собою і з робочими продуктами процесу проектування.
- Вимоги мають унікальні властивості або значення властивостей (розрізняються за важливістю і складності реалізації).
- Існує багато зацікавлених сторін, що означає необхідність управління вимогами з боку груп співробітників з пересічними функціями.
- Вимоги змінюються.

Для подолання труднощів у процесі управління вимогами застосовується моделювання вимог. Моделювання вимог дозволяє, визначити ієрархію вимог, що сприятиме кращому розумінню проектувальником, а також дасть наочне графічне представлення вимог і залежностей між ними, і дозволить зв'язати графічну форму представлення з текстовою, забезпечуючи людину повною інформацією.

Система видалення відходів є однією з найважливіших систем в салоні літака і повинна витримувати високі швидкості при видаленні відходів, а також забезпечувати герметичність системи. Система повинна бути міцною і мінімізувати використання води, щоб зробити літак легшим для досягнення більш високої паливної ефективності і мати здатність витримувати часте використання пасажирами. Дизайн туалету варіюється від літаків до літаків і авіакомпаній до авіакомпаній в залежності від їх вимог. Розробники обладнання поступово поліпшують дизайн, і роблять його легшим з використанням передових матеріалів. Також зменшуються розмір туалету, не жертвуючи комфортом для пасажирів. Поліпшення стосуються і більш раннього повторного використання туалету протягом певного періоду часу.

Сучасні існуючі вакуумні системи модернізують до компактного вакуумного унітазу з високою продуктивністю.

Розподіл ринку виробників представлений на рисунку 2.3.

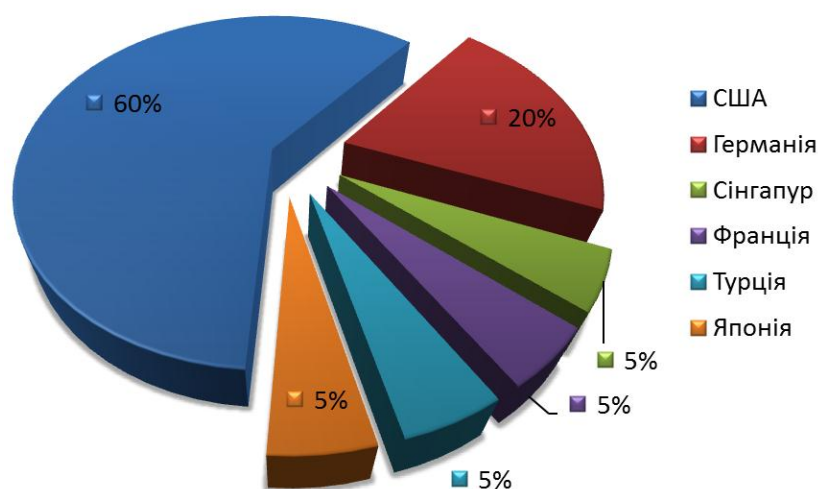


Рис. 2.3. Доля ринку по країнам розробникам компонентів та систем водозабезпечення та видалення відходів.

Розробками комплектуючих виробів для систем видалення відходів займається більше ніж два десятки компаній світу. Основними постачальниками (інтеграторами) систем у світі є дві компанії - В/Е Aerospace та Monogram Systems. Враховуючи зростання ринку виробів систем [55], не виключена і поява нових компаній виробників, у тому числі з Китаю.

2.2. Методика проектування системи видалення відходів в комплексі розробки літака.

Розвиток науки в області механіки, нелінійного математичного програмування, чисельних обчислень зумовив появу у розробника нових ефективних технологічних інструментів цифрового проектування у вигляді програмних обчислювальних комплексів високоточного математичного моделювання. Найважливішим компонентом є математичне і технічне забезпечення зв'язку моделей і методик з суміжних дисциплін з метою трансформації процесу проектування в задачу багатодисциплінарної оптимізації.

Незважаючи на велику кількість проведених досліджень в цій області існує потреба розширення можливостей спрямованих на впровадження обліку додаткових факторів, які істотно впливають на кінцевий вигляд і показники ефективності літака та його систем.

Розробка складних систем на сьогоднішній день не укладається в загальну методологію проектування і вимагає вузькоспрямованих методик які дозволять виконувати проектні процедури в рамках окремої системи при цьому відображати її в загальному процесі проектування виробу або всього комплексу.

Сучасні умови проектування вимагають описаного послідовного викладу розробки системи і особливо це стосується початкового етапу проведення науково-дослідних і дослідно - конструкторських (робіт до

початку конструкторського проектування) де існують суттєві недоліки в організованій методології та підходах до проектування систем, в тому числі і систем видалення відходів.

До початку розробки нового літака виконується пошук, збір, та аналіз інформації щодо потреб ринку чи окремих експлуатантів. У результаті формуються ідеї концепції нового літака, які містять інформацію, щодо необхідності розробки нового за типом чи властивостями літака.

Роботи над проектом починаються після завершення прикладних НДР (аналізу здійсненності) за умови позитивних результатів економічного аналізу, який задовольняє фірму з точки зору її цілей, ресурсів і ринкових умов, технічних і технологічних можливостей, визначення компетенції, отримання висновку про необхідність розробки об'єкта і вироблення попередніх загальних вихідних даних про майбутнє об'єкті.

На наведених нижче рисунках 2.5, 2.7, 2.8, 2.9 представлено послідовний алгоритм проектування системи видалення відходів вакуумного типу [56].

На етапі макропроектування (зовнішнього проектування) розробка виконується як частина системи більш високого рівня (рівня літака).

На етапі виконується попередня робота по оцінці вимог до системи, де виробляються норми, і вимоги відповідно до яких буде розроблятися і сертифікуватися система, результатом якого є сертифікаційний базис (для цивільних літаків). Такими є міжнародні норми АП, FAR, CS, ІКАО, рекомендаційні циркуляри, директиви, тощо. Також важливим при проектуванні врахування перспективних норм (ті що знаходяться в стадії розробки, але не впроваджені), але треба зауважити що відповідність щодо норм визначається на день подання заявки на сертифікацію (при сертифікації приймаються ті норми які діють).

Після визначення базису визначаються умови застосування та функціонування системи, і визначається коло завдань, які повинна вирішувати система. В процесі аналізу виконується визначення типу

системи, виходячи з попередніх вимог до літака, і попередні характеристики системи, які можуть уточнюватися і коректуватися в процесі проектування літака.

Метою даного етапу є отримання інформації, необхідної для прийняття рішення про можливість і доцільність створення літака в заданих умовах.

Результатом етапу є вироблення вимог до системи і складання технічних вимог.

Саме процес вибору критеріїв і вироблення вимог є найважливішим етапом, який визначає вид, і характеристики майбутньої системи, а так само є ключовим при ухваленні концепцій і рішень виходячи з іноді суперечних вимог.

Будь-які вимоги до об'єкта можуть бути змінені (навіть самі початкові), тому важливим при розробці є впровадження процесу управління вимогами, процесу, що включає ідентифікацію, виявлення, документування, аналіз, відстеження, пріоритизацію вимог, досягнення угоди за вимогами і потім управління змінами і повідомлення відповідних зацікавлених осіб. Управління вимогами - процес, що виконується на протязі всього проекту розробки. Важливим елементом є зведення вимог до єдиного «документу» рівню, на якому будь-яка зміна могло відобразитися і бути виявлено усіма зацікавленими особами.

Процес проектування зводиться до вирішення багатокритеріальної задачі з оптимізацією по векторному критерію ефективності, під яким розуміється певний набір приватних критеріїв ефективності - технічних характеристик проектованої системи. Кожна така характеристика є окремо взятою і визначається тактичним призначенням якості, а весь набір - сукупність якостей, необхідних йому для вирішення завдань, що виникають при його застосуванні.

Одним з чинників які впливають на систему є визначення кількості відходів яке генерується при виконання одного рейсу літака. Кількість відходів в першу чергу залежать від тривалості польоту, кількості пасажирів

що перевозяться, а також норм зливу води, кількості харчування впродовж польоту, методу збору відходів з кухонь, методу збору «сірої» води (вода з раковин умивальників туалету та кухні). Такі показники для розрахунку наведені в РТМ 1652-81. На рисунку 2.4 наведений графік що розкриває середню норму відходів, а також приведено літаки різних класів за їх ємністю відходів.

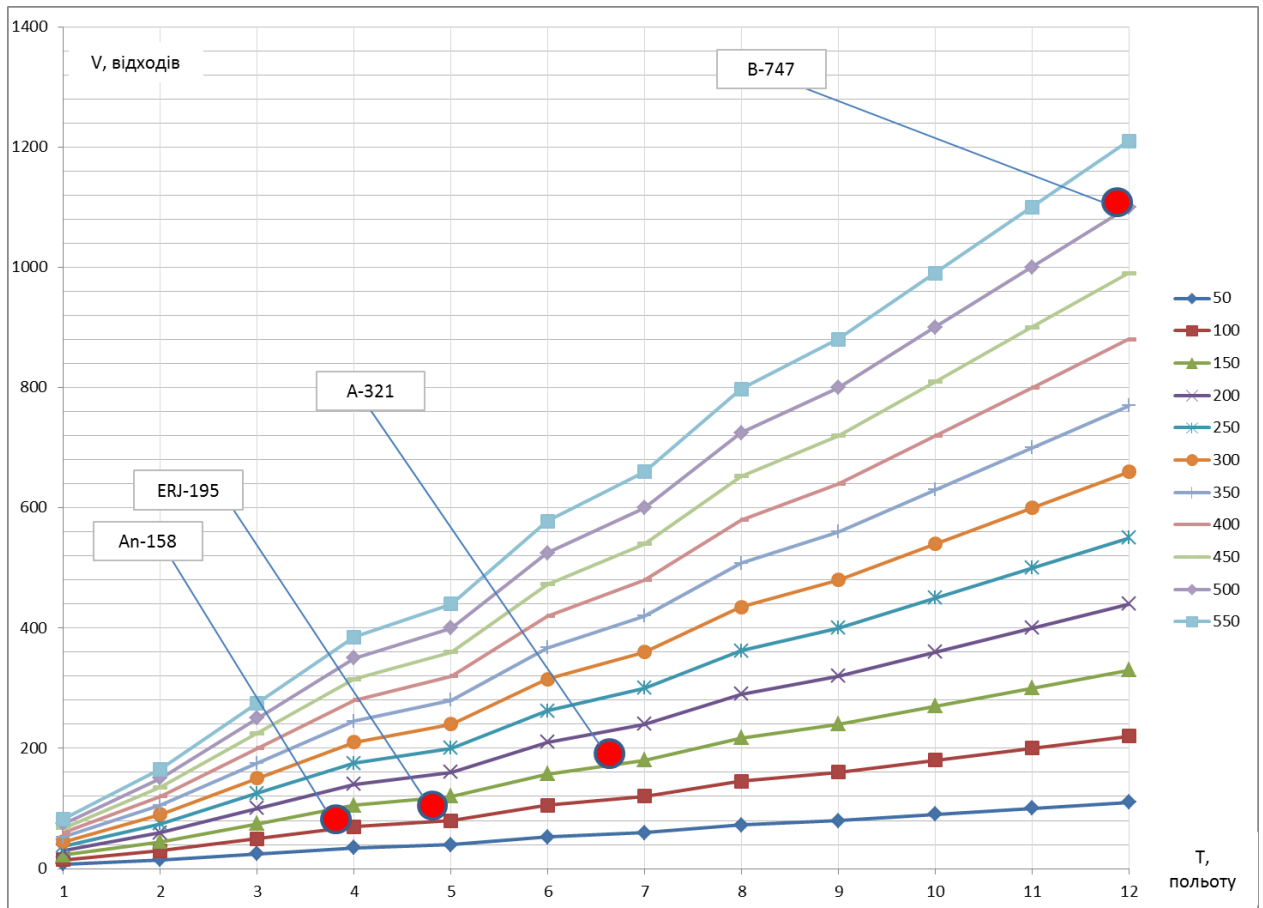


Рис. 2.4. Залежність об'єму відходів від часу польоту літака та кількості пасажирів.

Формування норм виходить з середньої добової норми відходів людини, а також з урахуванням статистики та досвіду експлуатації літаків, що проводиться у цивільній авіації. Так показники з часом можуть корегуватися виходячи з нових даних, рекомендацій та вимог авіакомпаній.

На етап зовнішнього проектування виконується розробка попередньої концепції та прогнозування системи.

Прогнозуванню характерно знаходження можливих майбутніх варіантів системи (майбутні модифікації і опції, установка додаткових санвузлів, введення видалення відходів кухонь і. т. д), і як наведено вище оцінкою перспективних норм, які можуть з'явитися як на момент виходу до продажу літака, так і в процесі експлуатації.

На етапі виконуються (закладаються) попередні вагові параметри майбутньої системи виходячи з попередніх даних літака.

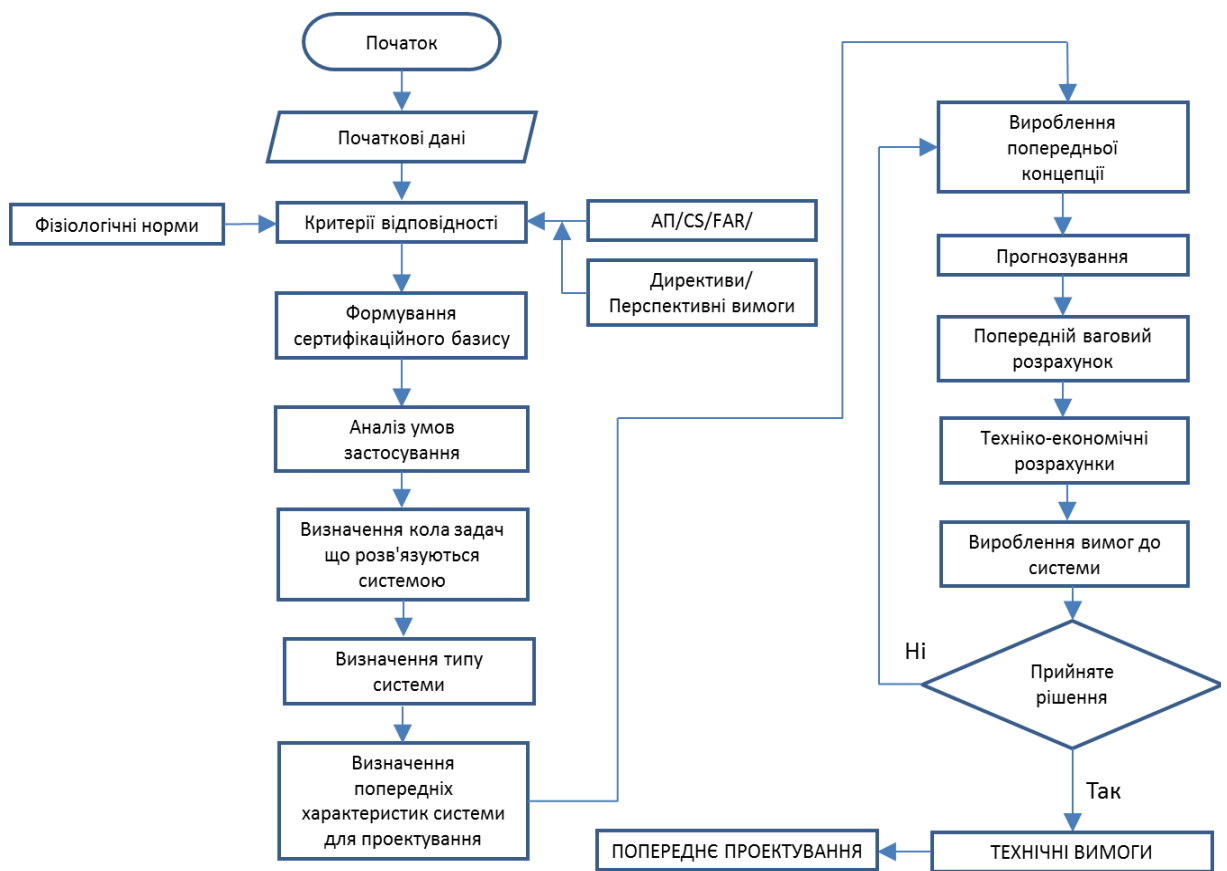


Рис. 2.5. Етап зовнішнього проектування (макропроектування).

Після вироблення технічних вимог системи і видачі для проектування, та прийняття рішення щодо їх впровадження, силами літакобудівної компанії або підрядником роботи переходять на етап попереднього проектування.

Попереднє проектування в першому наближенні визначає вимоги до досліджуваної системи. При цьому воно може містити і такі суттєві деталі, як тимчасові характеристики потреби в інформації, альтернативні варіанти і

типи пристроїв, які можуть бути використані при створенні системи. На цьому етапі отримується вигода яка залежить в значній мірі від того, наскільки більш нове, більш досконале обладнання передбачається встановити. Однак незалежно від прийнятих рішень по використанню того чи іншого типу обладнання сам по собі процес аналізу систем несе загальну інформацію щодо майбутньої системи.

Попередній проект повинен бути оцінений з точки зору витрат на обладнання, необхідне для збору і обробки інформації. Крім того, має бути приділено достатньо уваги питанням тренування обслуговуючого персоналу і навчання керівництва роботі в системі. Повинні бути враховані всі перспективні напрямки розвитку та ускладнення, що можуть виникнути при перегляді системи, причому всі небажані наслідки слід компенсувати тими поліпшеннями в роботі системи, які передбачається отримати за допомогою впровадження змін.

Даний етап фактично є початком проектування, і робота з проектування починається з виконання аналізу відмовобезпечності.

Виконання аналізу відмовобезпеки рекомендується виконувати з з урахуванням рекомендацій та вимог ARP4754A [57]. Даний документ розроблений компанією SAE International і використовується при розробці та сертифікації літаків та його систем. У процесі виконання аналізу визначається концепція майбутньої системи на підставі базових вимог до системи і її основних характеристик і розглядаються процеси функціональної безпеки та забезпечення проектування.

За допомогою вимог викладених у нормах ARP4754A з високою ймовірністю отримується заявлений рівень надійності та облік максимальної кількості зв'язків.

Важливим при розробці даного аналізу те що його розробці паралельно беруть участь всі зацікавлені сторони (системи), таким чином отримується максимальне наповнення зв'язків і їх можливе поєднання відмов, для подальшої оцінки надійності.

Найважливішим на етапі до написання ТЗ на систему є аналіз надійності систем, на основі якого з урахуванням норм і вимог до системи синтезується вигляд системи або концепт і далі перетворюється в ТЗ.

Виконується попередня принципова схема і попередні розрахунки. Під час аналізу виконується декомпозиція системи розчленування на окремі частини - елементи (підсистеми) з локалізацією функцій і цілей кожної з них; синтез структури (визначення стійких взаємозв'язків елементів системи); проектування окремих частин, налагодження частин і стикування елементів системи в цілому.

На рисунку 2.6 представлена декомпозиція системи видалення відходів у вигляді графа. Представлена ієрархія системи верхнього рівня: основні підсистеми, а так само вузли та агрегати, що входять в ці підсистеми.

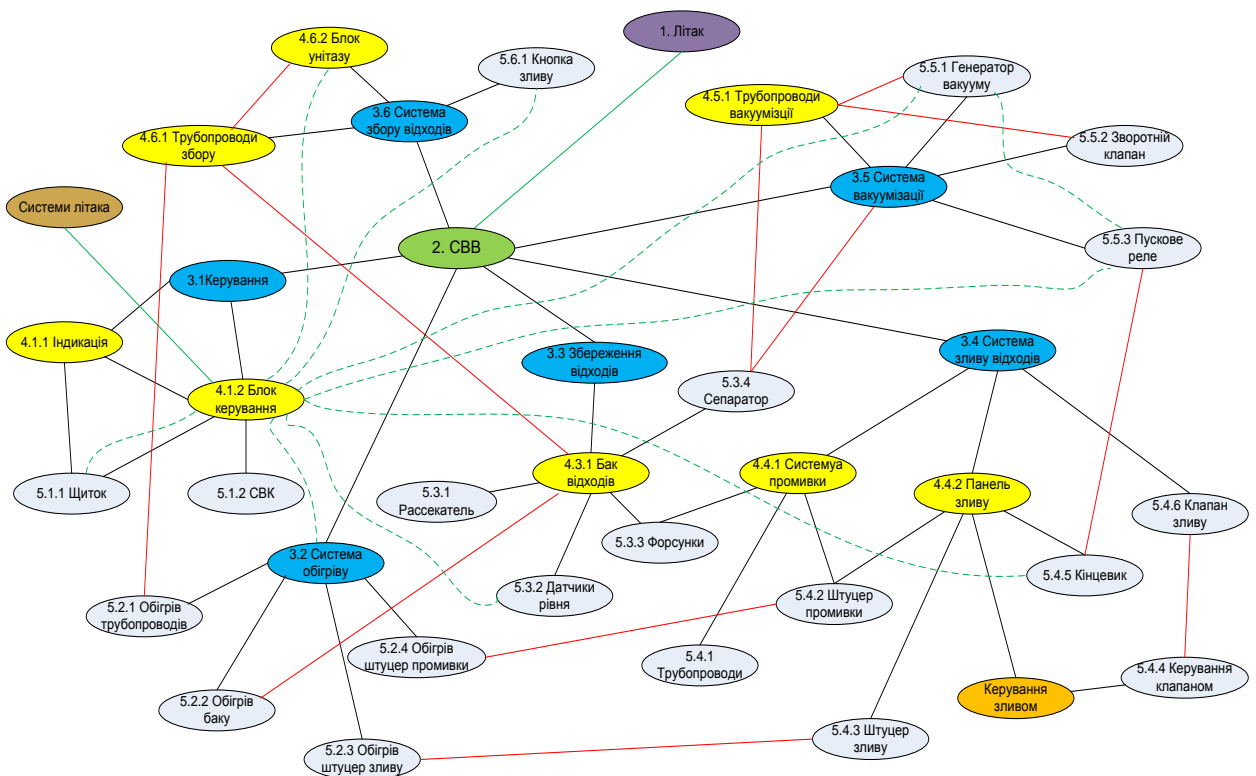


Рис. 2.6. Граф структури вакуумної системи видалення відходів.

Граф структури є візуалізацією розгалуженої структури, яка характеризується наявністю загальної задачі і цілей функціонування для всієї системи. Представлено взаємодія частин і елементів, поділ системи на підсистеми, ієрархічна структура зв'язків підсистем.

Таким чином система видалення відходів принципово складається з таких підсистем:

- блоку керування системою, який виконує безпосередню функцію керування системою, видачу інформації для екіпажу про стан системи та можливі відмови у системі, контроль за станом системи, та самоконтроль за станом блоку;
- системи обігріву, що включає обігрів штуцерів обслуговування системи, які виходять зовні за межі терморегулюючого відсіку, а також додаткового обігріву трубопроводів чи баків в залежності від потреби, з оглядаючи на умови експлуатації літака чи розміщення обладнання;
- системи зберігання відходів в яку входить сам накопичувальний бак, а також його обладнання (датчики, клапани. тощо);
- системи зливу відходів, в яку входить сервісна панель обслуговування та розміщені на ній штуцери зливу відходів та промивки баку;
- систему вакуумізації, за допомогою якої здійснюється з'єднання бака відходів з атмосферою, і де розташований генератор вакууму, що створює примусове розрядження в системі на землі та на малих висотах;
- системою збору відходів, яка складається з блоку унітазу(ів) а також магістралей трубопроводів що з'єднують блок унітазу з накопичувальним баком.

В процесі розробки попередньої принципової схеми виконуються попередні технічні вимоги до сумісних систем (електрична система, системи керування загальнолітаковим обладнанням, системи водопостачання, системи повітряних сигналів).

Виконуються попередні розрахунки системи – об'єму баку відходів, кількості туалетних приміщень, кількість води для потреб системи видалення відходів.

В результаті проведеного аналізу виробляється технічну пропозицію на розробку системи, а так само приватні технічні завдання на розробку окремих елементів або агрегатів.

Результатом робіт по виконанню технічного завдання, є технічна пропозиція(ї), з обов'язковими техніко-економічними розрахунками.

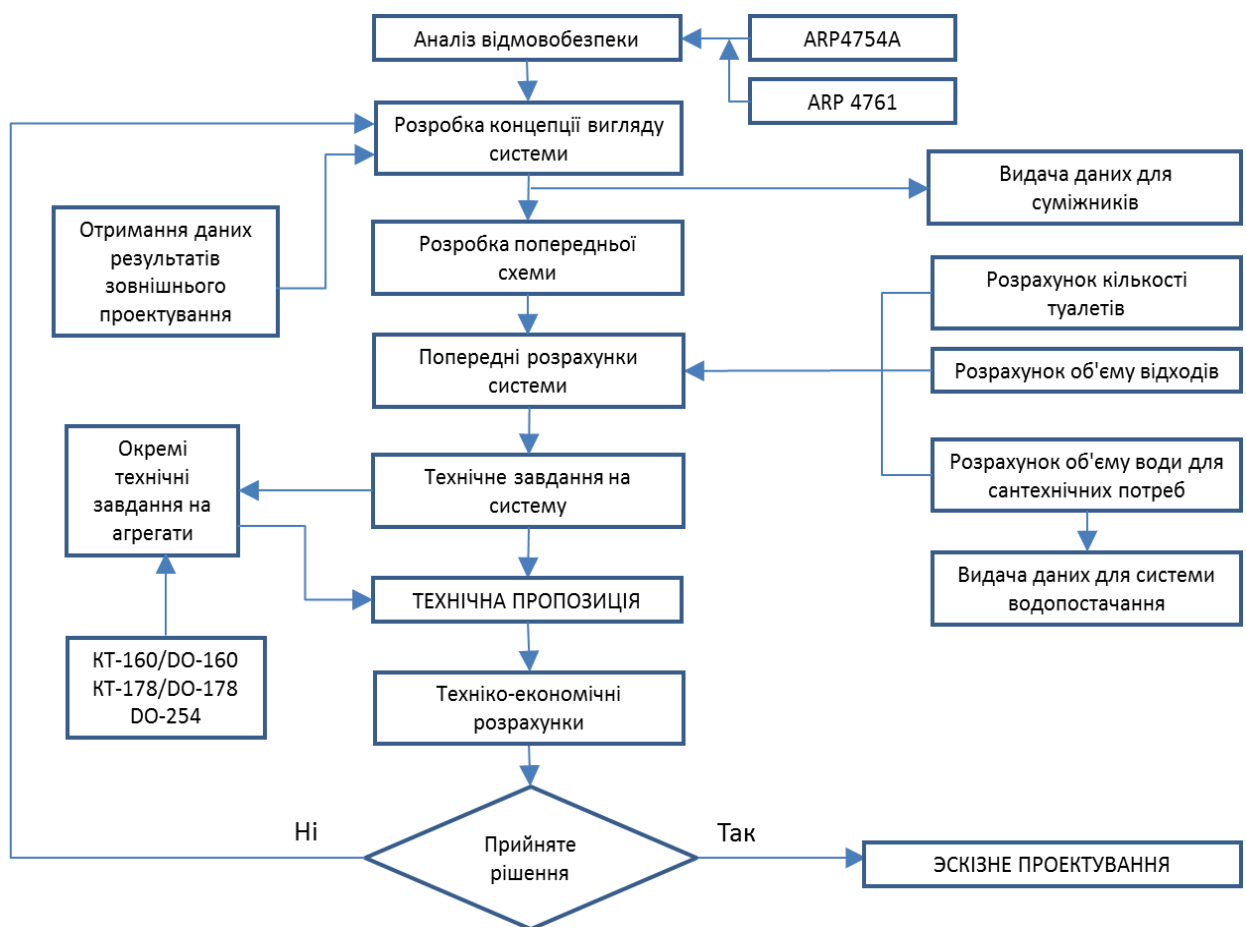


Рис. 2.7. Етап попереднього проектування.

Підсумком етапу попереднього проектування є затвердження найбільш відповідній технічному завданню технічної пропозиції, яка задовольняє розробника та замовника робіт і після прийняття позитивного рішення виконується перехід до етапу ескізного проектування.

Етапу ескізного проектування починається з синтезу системи, розробки остаточної принципової схеми заснованої на результатах аналізу відмовобезпечності, і видачі уточнених вихідних даних (вимог) для суміжних систем.

На етапі виконується попередній розрахунок трубопровідної мережі (газодинамічний розрахунок), попередній розрахунок об'єму бака зберігання відходів, розрахунок і вибір вакуумного генератора, і аналіз отриманих результатів розрахунків.

Розробляється технічна специфікація яка є документом що охоплює опис основних характеристик та параметрів системи її підсистем та елементів опис роботи системи. Надаються параметрів функціонування, умови застосування та обмеження системи. Складається перелік задіяних у системі виробів.

Виконується оцінка в технологічності конструкції та застосування матеріалів з яких виробляються елементи системи. З огляду на специфічність складу відходів та їх значну агресивність до матеріалів слід ретельно підходити до вибору основного матеріалу (трубопроводи, бак(и) арматура, тощо). Так у системі рекомендовано застосовувати матеріали з титану, корозійно-стійкої сталі, полімерних матеріалів здатних працювати у агресивному середовищі відходів, при цьому мати характеристики міцності так як елементи працюють під дією розрядження.

На етапі ескізного проектування складається перелік робіт які потрібно провести на наступних етапах розробки, розробку необхідних випробувальних стендів.

Ескізний проект розробляється з ціллю встановлення принципіальних конструктивних, схемних рішень які дають уяву про устрій та принцип роботи системи, направлених на забезпечення показників надійності заявлених у технічному завданні.

Основною метою ескізного проектування є чітке визначення технічних характеристик системи.

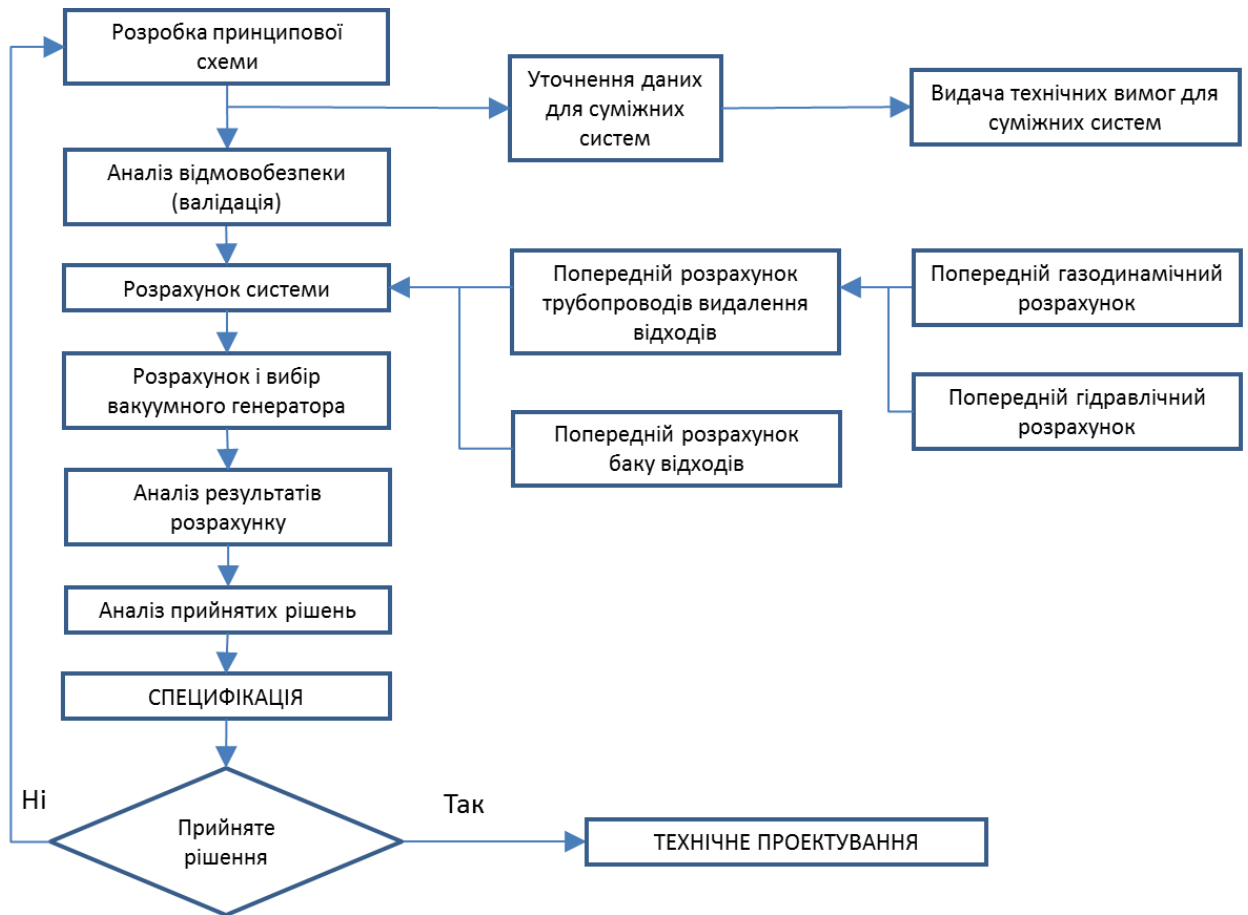


Рис. 2.8. Етап ескізного проектування.

Наступний за етапом ескізного проектування етап технічного проектування характерний виконанням робіт по компоновці систем і устаткування і включає в себе зональний розподіл, видачу вимог для конструювання: технічних вимог для установки, технологічності, обслуговування. Виконується визначення масово-габаритних характеристик для складання центрувальних характеристик літака, і виконання попередньої компоновки літака.

З точки зору компоновання обладнання найбільш вразливим елементом системи є бак зберігання відходів. Бак є найбільш габаритним вузлом, з урахування проектування в обмеженому просторі його розміщення суттєво впливає і на масово-габаритні характеристики самого баку так і на інші підсистеми (трасу трубопроводів видалення відходів, лінію вакуумізації, панель обслуговування).

Подання виробу у вигляді електронної моделі та електронної конструктивної структури виробу дозволяє забезпечити перехід до нової, ефективної методики, в рамках якої джерелом вихідної інформації про виріб для технологічної підготовки виробництва і подальших стадій ЖЦВ є безпосередньо 3D-модель.

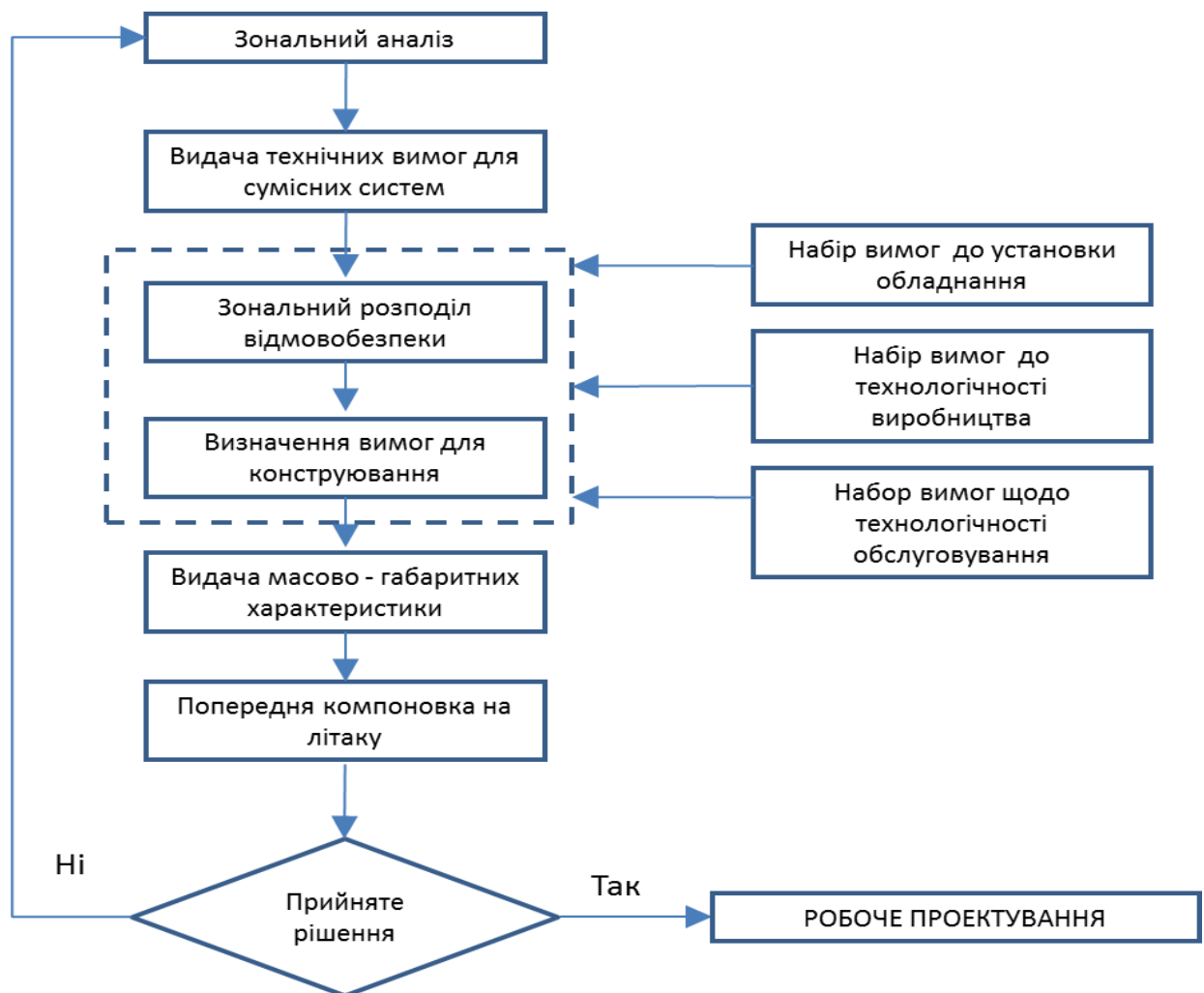


Рис. 2.9. Етап технічного проектування.

Пріоритетними напрямками в проєктах впровадження є:

- проєктування на базі електронної геометричній моделі виробу. Це значно збільшує цінність і повноту використання 3D-даних, дозволяє створювати вироби в значно коротші терміни.

- формування та управління електронної конструктивної структурою виробу. Це дозволяє забезпечити колективну роботу фахівців з актуальною і

достовірною інформацією про зміни виробу, скорочує кількість помилок і підвищує ефективність процесів проведення змін.

Автоматизація робочих процесів.

Автоматизація процесів розробки виробів і управління ними реалізується за допомогою механізмів управління потоками робіт.

У проектах впровадження PLM-рішень створюються електронні шаблони інженерних процесів, регламентованих на підприємстві, що дозволяє формалізувати та оптимізувати діяльність підрозділів для максимально повного та ефективного досягнення цілей і результатів на конкретній стадії ЖЦВ.

2.3. Методика розрахунку системи видалення відходів.

Розрахунок вакуумної системи дозволяє винайти основні характеристики системи необхідні для проектування та прийняття рішень щодо коректного вибору складу системи, виконати оптимізацію за потрібними параметрами, що дає необхідну гарантію якості кінцевою продукту, раціонального використання елементів вакуумної системи, а також їх узгодженої роботи. Крім того, важливе значення має економічний фактор, так як невірний вибір елементів вакуумної системи може призвести до істотного подорожчання технологічного процесу і, відповідно, одержуваних виробів.

Вихідними даними при вакуумному розрахунку є:

- робочий тиск в системі;
- геометричні розміри елементів вакуумної системи;
- час вакуумування;
- довідкові дані по елементах вакуумних систем і застосовуваним в них матеріалами;
- особливі або додаткові умови.

Розрахунок вакуумної системи здійснюють, як правило, в два етапи і вони мають ітераційний характер, якій залежить від змін попередніх даних та змін що проводяться впродовж розробки системи і літака в цілому.

Розрахункова частина системи являється невід'ємною частиною процесу проектування і виконується і верифікується на різних етапах розробки системи але, тим не менш, є відокремленою роботою, процес (алгоритм) її виконання представлена на рисунку 2.10.

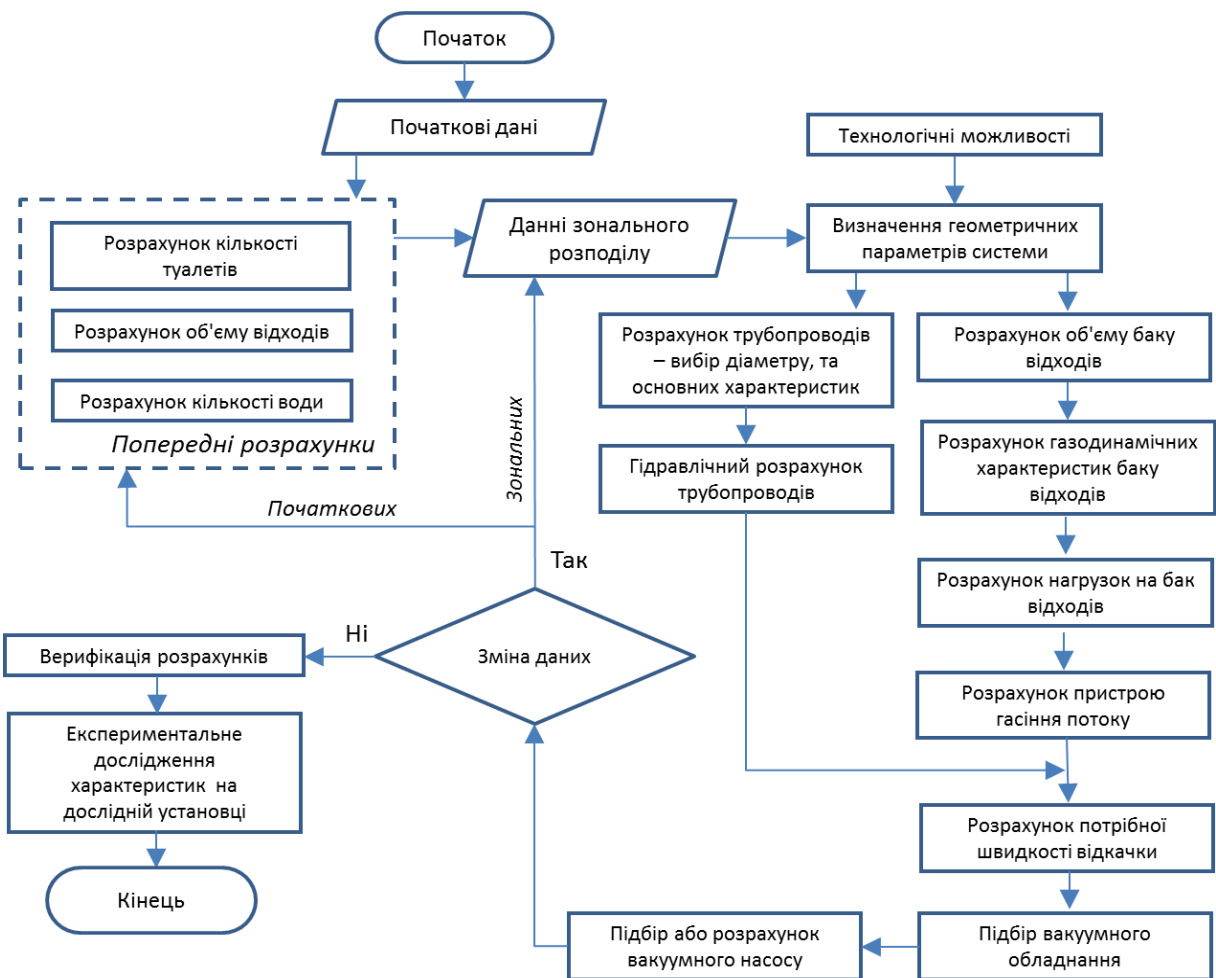


Рис. 2.10. Алгоритм розрахунку вакуумної системи видалення відходів літака.

Представлений алгоритм розрахунку системи починається з попередніх вихідних даних, які необхідні для попередніх розрахунків і уявлення про систему. Попередні розрахунки зводяться до визначення кількості туалетів на борту літака, визначення кількості відходів для розрахунку баку(ів) відходів,

і даних для системи водопостачання про кількість води, що використовується для потреб зливу в туалеті (вибір відбувається згідно з таблицею 1). Попередні дані використовуються при розробці принципів схем та постановці завдання зонального розподілу простору і попередньої компоновки літака.

Важливим елементом при визначенні геометричних параметрів системи є технологічні можливості виробництва або підрядників. Після зонування системи стає можливим розрахунок бака відходів і виконання попередніх габаритів. Паралельно виконується розрахунок потрібних трубопроводів і їх газодинамічних характеристик і розрахунок траси системи вакуумування (вибір вакуумного насоса і трубопроводів вакуумізації).

Розрахунок обсягу бака відходів є результуючою після проведення комплексу розрахунків, а саме:

- Розрахунок газодинамічних характеристик бака, даний розрахунок надає собою визначення наповнюваності бака (рішення даного завдання запропоновано в розділі 4);
- Розрахунок пристрою для гасіння потоку відходів після входу в бак відходів;
- Розрахунок вологовідділювача;
- Розрахунок навантажень на бак (міцнісний розрахунок).

Наступний етап розрахунку полягає у визначенні швидкості відкачування з наступним вибором вакуумного обладнання зокрема вакуумного насоса.

Після проведення розрахунків перевіряється адекватність на розробленому стенді, який підтверджує правильність розрахунків.

Проаналізувавши алгоритм розрахунку були виявлені не вирішені питання та розрахунки що потребують проведення дослідження та включення до розрахункової практики.

2.4. Розрахунковий комплекс системи видалення відходів вакуумного типу.

Для реалізації розрахункової частини проектування системи видалення відходів розрахунки зведені у розрахунковий комплекс, на основі розроблені моделі автоматизованого проектування елементів системи і дозволяють уніфікувати і автоматизувати процедуру проектування, скоротити строки та підвищити якість проектування.

На рис. 2.11 представлено впроваджений комплекс технічних та програмних засобів розрахунку системи видалення відходів літака. В основу комплексу покладено систему функціональних модулів, пов'язаних між собою єдиною інформаційним середовищем. Це середовище називається проектом і містить повну інформацію про розрахунковій схемі.

Комплекс складається з чотирьох модулів: попередніх розрахунків, розрахунку трубопроводу, розрахунку баку відходів, розрахунку генератора вакууму.

Кожен модуль має свій набір атрибутів для вирішення комплексної задачі розрахунку.

Комплекс включає стандартні програмні засоби на основі яких розробленні розрахункові модулі які використовуються для розрахунку системи, а також запропонована послідовність дій при виконанні розрахунку.

В результаті виконання роботи сформована система моделювання, що представляє собою методику, комп'ютерне середовище і систему моделей, призначену в єдиному ключі на системній основі і комплексно використовувати моделювання елементів і систем видалення відходів для їх автоматизованого проектування. Комплекс включає програми NX, MathCAD, ANSYS, NASTRAN для 3-х мірного твердотільного моделювання, гідродинамічного моделювання потоків, моделювання напружено-деформованого стану навантажених елементів системи (трубопроводів, бак) для імітаційного моделювання.

Одним з завдань, яке реалізовано, при розробці комплексу розрахунку системи, у тому числі і вибір програм для розв'язання завдань, можливість інтеграції у загальний комплекс автоматизованого проектування літака, що дозволяє отримання коректних вихідних даних для розрахунків, їх візуалізацію, та можливість обробки у прийнятному вигляді.

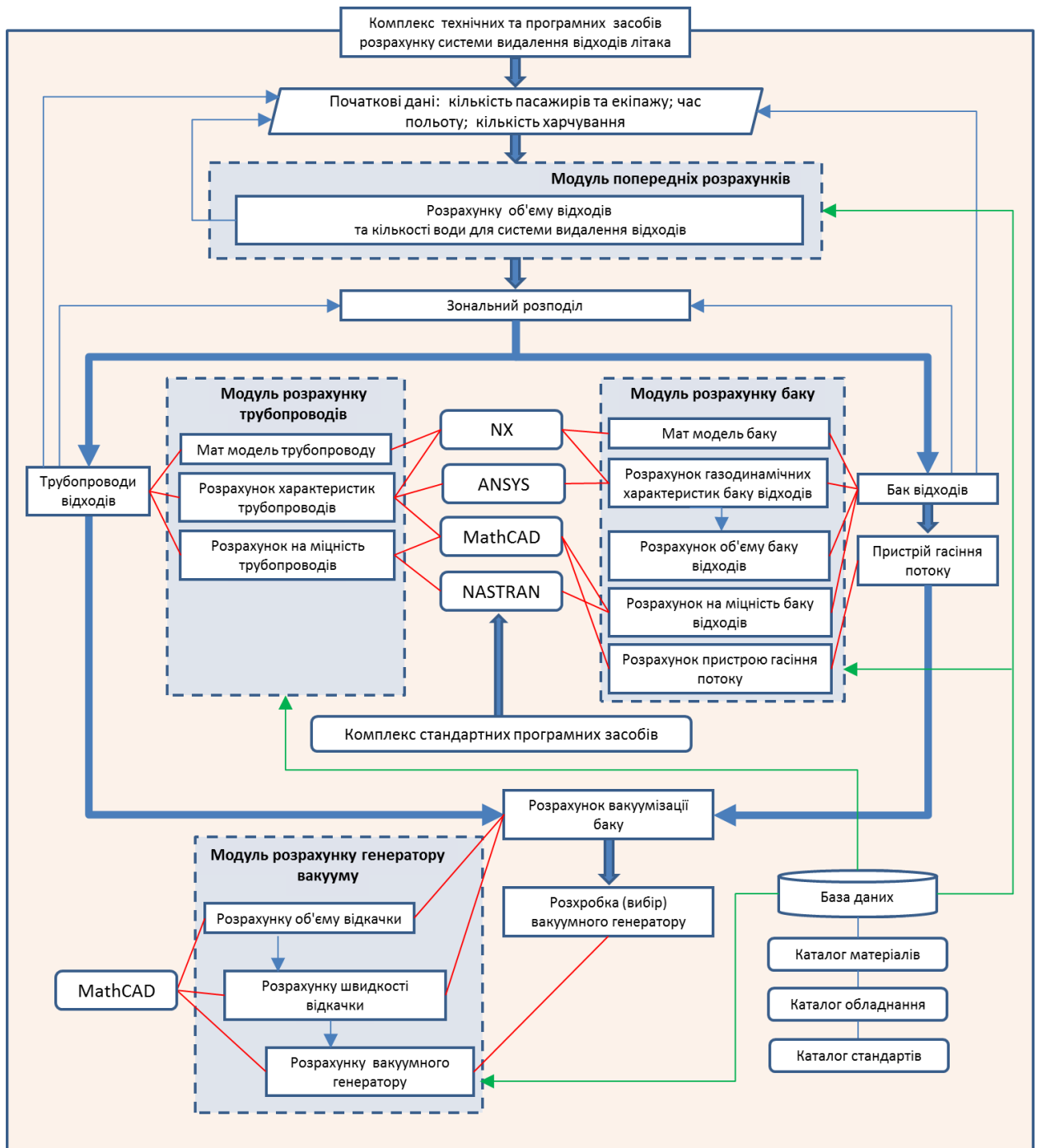


Рис. 2.11. Комплекс технічних та програмних засобів розрахунку системи видалення відходів літака.

2.5. Висновки з розділу 2.

1. Розглянуті вимоги які пред'являються системі видалення відходів при формуванні концепції системи і літака.
2. Розроблено алгоритм розрахунку системи видалення відходів, який упорядковує процес розробки системи та видачу нагальної інформації для формування вимог літака та здійснення проектування системи.
3. Розроблено розрахунковий комплекс, який на базі стандартних програм охоплює всі основні розрахунки системи, дозволяє автоматизувати процес і тим самим скоротити час проектування, а також дає достатні кількісні показники системи задля якісного прийняття рішень на подальших етапах проектування.
4. Вказані основні аспекти на які варто звернути увагу при проектуванні системи на рівні розробки літака: наявність цілі (програми створення літака); керування технічними вимог; аналіз відмовобезпеки; керування проектом, пошук оптимальних параметрів.

Розроблені метод проектування і розрахунку дозволяють уніфікувати і автоматизувати процедуру проектування, скоротити терміни і підвищити якість проектування, знизити ризики отримання негативного результату, оперативно виявляти і вчасно знімати ризики прийняття неправильних інженерних рішень за рахунок зворотного зв'язку, уникнути можливих проблем, пов'язаних з проектуванням і виробництвом. Це забезпечується вивіреним послідовності проведення робіт, охопленням і урахуванням усіх норм і чіткого визначення вимог до системи і її складових, автоматизацією процесу, застосуванням сучасних методів при проектуванні і використанні останніх програмних засобів, зведених в єдиний проект.

Ключовим завданням яке вирішується при створенні методик є здійснення процесу паралельного проектування системи видалення відходів з усіма ланками які задіяні у розробці літак, у тому числі і співвиконавців, а також структурування процесу проектування.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ ВИДАЛЕННІ ВІДХОДІВ

3.1. Моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі вакуумної системи

Сучасні вакуумні системи є складними комплексами, як з технологічної, так і з економічної точки зору. Вибір оптимальних параметрів системи ускладнює недостатнє дослідження процесів, які протікають в агрегатах системи, у зв'язку з чим необхідне проведення натурних досліджень агрегатів системи на початкових етапах проектування. Проведення випробувань є складним завданням, а в деяких випадках неможливим. Також необхідно враховувати те, що для різних типів літаків системи вакуумного типу мають відмінності, що ускладнює застосування систем вже попередньо спроектованих.

У зв'язку з цим особливого значення набуває проведення попереднього аналізу системи [58]. Цілями такого аналізу можуть бути: отримання попередніх даних, моделювання робочих режимів, оптимізація по заданих параметрах, порівняння декількох альтернативних конструкцій та ін., характерними дослідженнями є [59-62].

Вищезазначені чинники обумовлюють необхідність розвитку таких методів проектувальних розрахунків вакуумних систем, які не потребують доопрацювання і аналізу для кожної конкретної системи, що проектується для різних типів літаків, а з іншого боку, дають можливість враховувати ключові фактори, що роблять істотний вплив на умови функціонування реальної вакуумної системи [63, 64].

3.1.1. Математична модель процесу видалення відходів в трубопроводі видалення відходів.

Важливою умовою для функціонування СВВ є визначення параметрів трубопроводу від яких значною мірою залежить система керування зливом відходів (час відкриття заслінки), а також витрати трубопроводу.

Переміщення відходів з пристрою збору відходів (унітазу) до баку зберігання відходів у польоті відбувається за рахунок перепадів тиску між кабіною літака і атмосферою, що утворюється у трубопроводі та баку системи. На землі заданий рівень розрідження досягається за допомогою вакуумного генератору.

Для дослідження нестационарних гідравлічних процесів у пневматичному трубопроводі була розроблена відповідна математична модель [65].

Відходи, що переміщується трубопроводом представлені у вигляді матеріальної точки, яка рухається під дією різниць тиску по траєкторії визначеній формою трубопроводу.

При описі процесу переміщення приймаємо наступні припущення:

- процес є квазістационарним;
- стінки трубопроводу гідравлічно гладкі;
- режим течії в трубопроводі - турбулентний;
- газонатіканням та газовиділенням нехтуємо.

Параметри руху матеріальної точки будемо визначати: швидкість $V(t)$, координату $x(t)$. Для матеріальної точки, напишемо рівняння другого закону Ньютона:

$$m \cdot a = F_{\text{заг}} \quad (3.1)$$

де a - прискорення руху, $\frac{M}{c^2}$;

m - маса матеріальної точки, кг;

$F_{\text{заг}} = \sum F_i$ - алгебраїчна сума сил, які діють на матеріальну точку, $\frac{kg \cdot M}{c^2}$.

У нашому випадку робота сил тертя $F_{заг}$ складається з сил тертя витрачених на переміщення повітря вздовж трубопроводу (3), а так же сил тертя при переміщенні об'єкта по трубопроводу - рисунку 3.1.

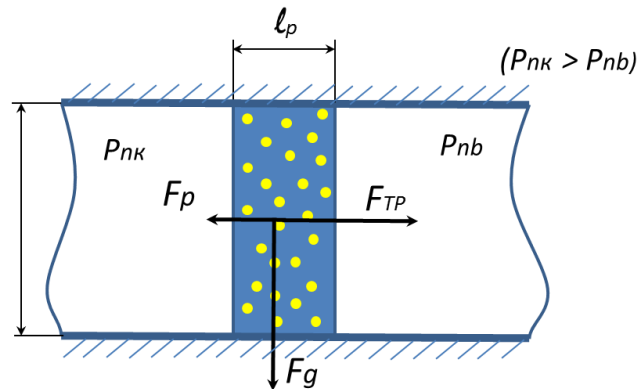


Рис. 3.1 - схема дії сил на відходи в трубопроводі видалення.

Тоді $F_{заг}$ можна записати у вигляді:

$$F_{заг} = F_{mp} + F_p \pm F_g \quad (3.2)$$

де,

$F_{тр}$ – сила обумовлена різницею тиску на поверхні об'єкту, що видаляється з урахуванням сил тертя, $\frac{кг \cdot м}{с^2}$;

F_g – гравітаційна сила, яка діє на масу об'єкту, $\frac{кг \cdot м}{с^2}$;

F_p – сила опору руху, яка обумовлена тертям об'єкту, що видаляється по внутрішній поверхні трубопроводу, $\frac{кг \cdot м}{с^2}$.

Сила тертя F_p у нашому випадку складається з сил тертя зумовлених переміщенням повітря вздовж трубопроводу, а також сил тертя при переміщення об'єкту вздовж трубопроводу.

Силу, обумовлену різницею тиску можна визначити наступним чином:

$$F_{mp} = S \cdot (P_{nk} - P_{nb}) \quad (3.3)$$

де S - площа перерізу трубопроводу, $м^2$;

p_{nk} - тиск повітря на торцеву поверхню відходу з боку кабіни, $\frac{кг}{м \cdot с^2}$

p_{nb} - тиск повітря на торцеву поверхню відходу з боку баку, $\frac{кг}{м \cdot с^2}$.

Для визначення сили від перепаду тисків, що діє на об'єкт, використаємо узагальнене рівняння енергії, яке наведене в [66]:

$$Q + \frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} = L + L_p + g(z_2 - z_1) + U_2 - U_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (3.4)$$

де

Q – підведене тепло;

$p_{1,2}$ – тиск в перерізі 1, 2;

$\rho_{1,2}$ – густина в перерізі 1, 2;

L – технічна робота;

L_p – робота сил тертя;

$g(z_1 - z_2)$ – потенційна енергія;

$U_{1,2}$ – внутрішня енергія в перерізі 1, 2;

$V_{1,2}$ – швидкість в перерізі 1, 2;

Виконавши аналіз членів що входять в дане рівняння приймемо такі припущення:

- процес енергетично ізолюваний, технічна робота і теплообмін з навколишнім середовищем відсутній;

- зміною потенційної енергії нехтуємо;

- внутрішня енергія одиниці маси газу не змінюється.

В результаті рівняння (3.4) набуде вигляду узагальненого рівняння Бернуллі для стисливої рідини з роботою сил тертя:

$$\frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} = L_p + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (3.5)$$

тоді

$$L_p = \frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p_2}{\rho_2} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \quad (3.6)$$

В кабіні та в баку швидкість руху повітря дорівнює 0. Тоді дію тиску повітря на торцеву поверхню відходу з боку кабіні можна записати:

$$p_{nk} = p_k^* - \frac{\rho_{nk} \cdot V^2}{2} - \xi_{nk} \frac{\rho_{nk} \cdot V^2}{2} \quad (3.7)$$

де p_k^* – повний тиск повітря в кабіні, $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$;

ξ_{nk} – коефіцієнт опору руху в трубопроводі повітря, що надходить з кабіни;

ρ_{nk} – густина повітря, що надходить з кабіни, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

V – швидкість руху відходу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Дію тиску повітря на торцеву поверхню відходу з боку баку запишемо:

$$p_{nb} = p_b^* - \frac{\rho_{nb} \cdot V^2}{2} - \xi_{nb} \frac{\rho_{nb} \cdot V^2}{2} \quad (3.8)$$

де p_b^* – повний тиск повітря в баку, $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$;

ξ_{nb} – коефіцієнт опору руху в трубопроводі повітря, що надходить з баку;

ρ_{nb} – густина повітря що надходить з баку, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Коефіцієнти опору руху повітря в трубопроводі складаються з коефіцієнтів опорів тертя і сум коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\xi_{nk} = \xi_{nkmp} + \sum \xi_{nko} \quad (3.9)$$

$$\xi_{nb} = \xi_{nbmp} + \sum \xi_{nbo}$$

Коефіцієнти опорів тертя згідно з [67] можуть бути визначені через коефіцієнт тертя наступним чином:

$$\xi_{nmp} = \lambda_{nmp} \frac{l_{mp}}{d} \quad (3.10)$$

де l_{mp} – довжина трубопроводу, по якому рухається повітря, м;

λ_{nmp} – коефіцієнт тертя;

d – гідравлічний діаметр трубопроводу, м.

Коефіцієнт тертя визначимо згідно із зазначеною в [67] залежності.

Згідно дослідних даних ($Re \geq 10^5$) режим течії в досліджуваному об'єкті відповідає так званому квадратичному режиму течії і не залежить від числа Re , в зв'язку з чим приймаємо коефіцієнт тертя $\lambda = 0,02$.

Дію різниці тисків на поверхні відходу що видаляється, з урахуванням виразів (3.7) і (3.8) можна записати таке співвідношення:

$$p_{nk} - p_{nb} = p_k^* - \frac{\rho_{nk} \cdot V^2}{2} + \xi_{nk} \frac{\rho_{nk} \cdot V^2}{2} p_b^* + \frac{\rho_{nb} \cdot V^2}{2} + \xi_{nb} \frac{\rho_{nb} \cdot V^2}{2} \quad (3.11)$$

Або після введення позначень і виконання перетворень:

$$p_{nk} - p_{nb} = \Delta p_n^* - \frac{\xi_n \cdot \rho_{nk} \cdot V^2}{2} \quad (3.12)$$

де, $\Delta p_n^* = p_k^* - p_b^*$ - перепад тисків повітря між кабіною і в баком;
 $\xi_n = (1 + \xi_{nk}) + (1 + \xi_{nb})$ - сумарний коефіцієнт опору руху повітря трубопроводу.

Після підстановки в вираз (3.3) співвідношення (3.12), силу обумовлену різницею тисків, можна визначити так:

$$F_{mp} = S \cdot \left(\Delta p_n^* - \frac{\xi_n \cdot \rho_{nk} \cdot V^2}{2} \right) \quad (3.13)$$

Якщо при визначенні опору повітря в трубопроводі врахувати лише тертя, то для визначення сили обумовленою різницею тисків, маємо співвідношення:

$$F_{mp} = S \cdot \Delta p_n^* - S \cdot \lambda_{mp} \cdot \rho_n \cdot \frac{l_{mp} \cdot V^2}{2d} \quad (3.14)$$

Гравітаційну силу, що діє на масу об'єкту, визначимо так:

$$F_g = m \cdot g \quad (3.15)$$

g - прискорення земного падіння, $\frac{M}{c^2}$;

Силу опору руху об'єкту визначимо як силу тертя рідини, що рухається в трубопроводі:

$$F_{mp} = S \cdot \Delta p_n^* - S \cdot \lambda_{mp} \cdot \rho_n \cdot \frac{l_{mp} \cdot V^2}{2d} \quad (3.16)$$

де, де ρ_p - густина рідини, $\frac{Kz}{M^3}$;

λ_{mp} - коефіцієнт тертя опру рідини ,що рухається в трубопроводі;

l_p - довжина розташування об'єкту в трубопроводі, m .

Коефіцієнт тертя визначимо згідно із зазначеною в [67] залежності.

Згідно дослідних даних ($Re \geq 10^5$) режим течії в досліджуваному об'єкті відповідає так званому квадратичному режиму течії і не залежить від числа Re , в зв'язку з цим приймаємо коефіцієнт тертя $\lambda = 0,02$.

Масу об'єкту можна визначити наступним чином:

$$m = \rho_p \cdot S \cdot l_p \quad (3.17)$$

l_p - довжина відходу в трубопроводі, м.

Рівняння (3.2) після підстановки (3.14), (3.15), (3.16) можна записати:

$$F_{заг} = S \cdot \Delta p_n^* - S \cdot \lambda_{nmp} \cdot \rho_n \cdot \frac{l_{mp} \cdot V^2}{2d} - S \cdot \lambda_{pmp} \cdot \rho_p \cdot \frac{l_p \cdot V^2}{2d} \pm F_g \quad (3.18)$$

Якщо не враховувати гравітаційну силу після введення позначень і перетворень рівняння (3.18) можна записати у вигляді:

$$F_{заг} = S \cdot \Delta p_n^* - \xi' \cdot V^2 \quad (3.19)$$

$$\text{де } \xi' = S \cdot \lambda_{nmp} \cdot \rho_n \cdot \frac{l_{mp}}{2d} + S \cdot \lambda_{pmp} \cdot \rho_p \cdot \frac{l_p}{2d}$$

Визначивши $F_{заг}$ підставимо рівняння (3.19) до рівняння (3.1):

$$m \cdot a = S \cdot \Delta p_n^* - \xi' \cdot V^2 \quad (3.20)$$

де

$$a = \frac{dV}{dt};$$

Рівняння (3.20) запишемо:

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = S \cdot \Delta p_n^* - \xi' \cdot V^2 \quad (3.21)$$

Максимальну швидкість об'єкту можна визначити з рівняння (3.21) при $\frac{dV}{dt} = 0$ (стаціонарний рух):

$$V_{max}^2 = \frac{S \cdot \Delta p_n^*}{\xi'} \rightarrow V_{max} = \sqrt{\frac{S \cdot \Delta p_n^*}{\xi'}} \quad (3.22)$$

З урахуванням визначення (3.22) рівняння (3.21) можна записати так:

$$m' \cdot \frac{dV}{dt} = V_{max}^2 \cdot V^2 \quad (3.23)$$

$$\text{де, } m' = \frac{m}{\xi'} \quad [M]$$

Для повного формулювання математичної задачі необхідно визначити значення невідомої функції в початковий момент часу:

$$V(t=0)=V_0 \quad (3.24)$$

Розв'яжемо диференціальне рівняння (3.23). Після розділення змінних маємо:

$$m' \cdot \frac{dV}{V_{max}^2 - V^2} = dt \quad (3.25)$$

Інтеграл правої частини цього рівняння визначимо у відповідності з [68]:

$$\int \frac{m' \cdot dV}{V_{max}^2 - V^2} = \frac{m'}{2V_{max}} \ln \left| \frac{V_{max} + V}{V_{max} - V} \right| \quad (3.26)$$

Рішенням рівняння (3.25) при початковій умові $V_0=0$, з урахуванням виразу (3.26), є наступна залежність:

$$t = \frac{m'}{2V_{max}} \ln \left| \frac{V_{max} + V}{V_{max} - V} \right| \rightarrow t = -\frac{m'}{2V_{max}} \ln \left| \frac{V - V_{max}}{V + V_{max}} \right| \quad (3.27)$$

Залежність швидкості руху об'єкту від часу визначимо з виразу (26) після елементарних перетворень:

$$V(t) = V_{max} \frac{e^{\frac{2V_{max} \cdot t}{m'}} - 1}{e^{\frac{2V_{max} \cdot t}{m'}} + 1} \quad (3.28)$$

Після введення заміन виконуємо інтегрування першої та другої частин визначимо переміщення:

$$X(t) = m' \cdot \ln \left(e^{\frac{2V_{max} \cdot t}{m'}} + 1 \right) - V_{max} \cdot t$$

Час руху об'єкту:

$$t = \frac{m'}{2V_{max}} \ln \left(\frac{2}{e^{\frac{2x}{m'}} - 2} \right)$$

Після реалізації моделі у програмі Mathcad отримані наглядні залежності різних параметрів, що визначають характеристику трубопроводу, дивись рисунки 3.2-3.7.

На рисунку 3.2 представлена залежність швидкості переміщення об'єкту (відходів) від часу (на початковій ділянці) для різних діаметрів трубопроводу, при сталому перепаді тиску еквівалентному тиску атмосфери на висоті польоту 5000 м. Результат розрахунку показує, що швидкість руху та час видалення відходів суттєво залежать від вибраного діаметру трубопроводу. Вихід на сталий показник швидкості практично не залежить від діаметру трубопроводу і становить приблизно 0,5 секунди.

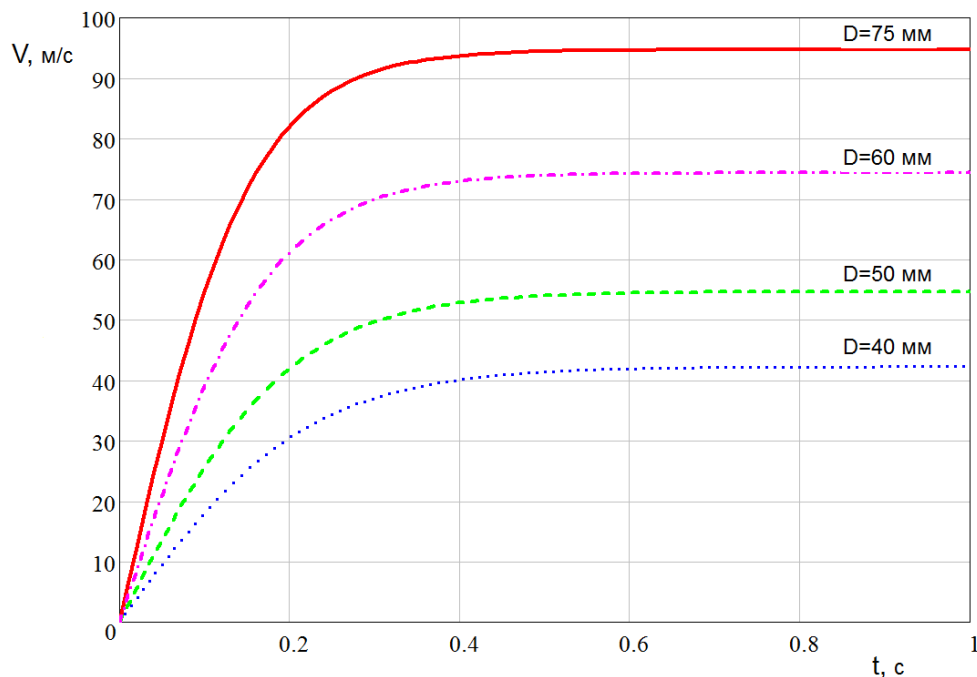


Рис. 3.2 Залежність швидкості порції відходів від часу (на початковій ділянці), діаметру трубопроводу при сталому перепаді тисків (еквівалентному висоті 5000 м).

На рисунку 3.3 представлена залежність часу переміщення об'єкту від діаметру трубопроводу.

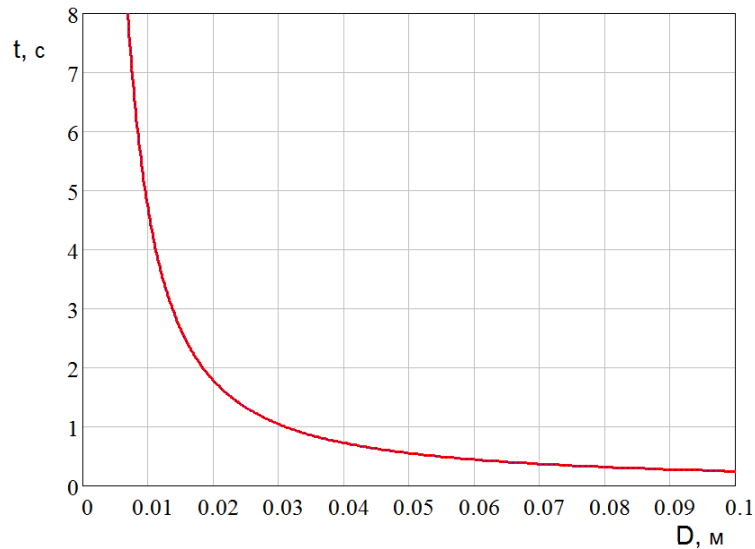


Рис. 3.3 Час переміщення порції відходів в залежності від діаметру трубопроводу для трубопроводу довжиною 20 м.

Розрахункова довжина трубопроводу 20 м. Результат розрахунку показує що на час переміщення відходів суттєво впливає розмір діаметру від 10 до 30 мм, и навпаки на діаметрах трубопроводу 60 мм і більше час переміщення не суттєво залежить від діаметру трубопроводу.

На рисунку 3.4 представлена залежність швидкості переміщення об'єкту від перепаду тиску (висоти польоту) для трубопроводу довжиною 20 м.

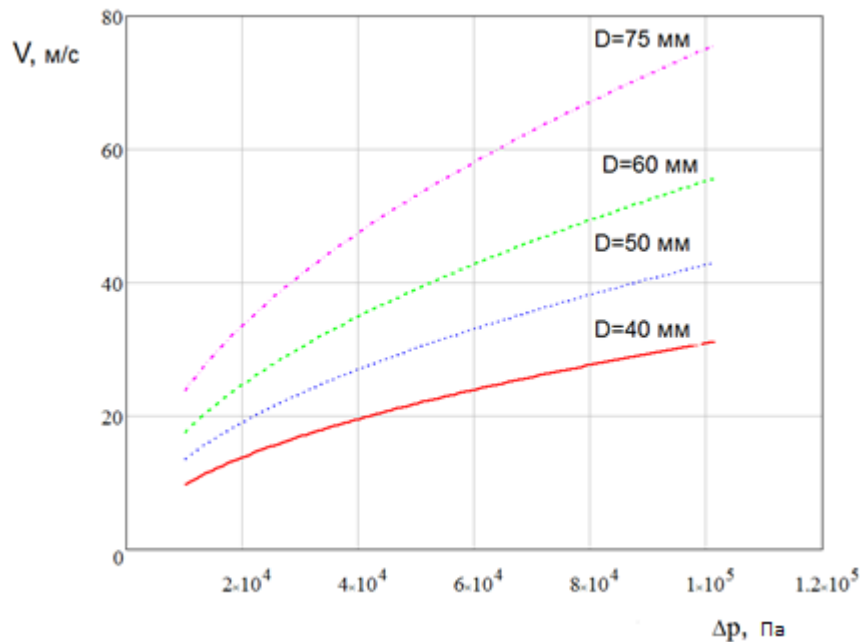


Рис. 3.4 Залежність швидкості переміщення об'єкту від перепаду тиску (висоти польоту).

Результат розрахунку показує що чим більший перепад тисків між кабіною і атмосферою та діаметр тим більше швидкість видалення відходів.

На рисунку 3.5 представлена залежність часу видалення відходів від маси відходу при різних діаметрах трубопроводу.

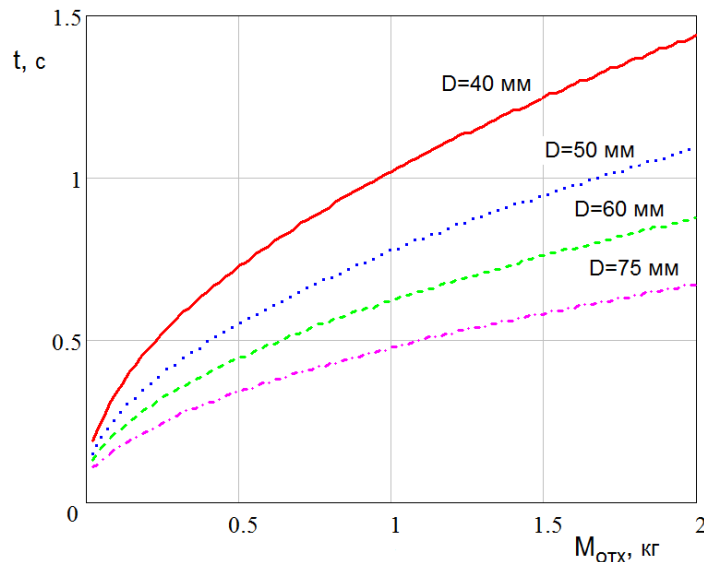


Рис. 3.5. Час видалення відходу від у залежності маси відходу від діаметру трубопроводу.

Також за допомогою даної моделі можливо розрахувати додаткові параметри такі як: залежність часу відкачки від ваги відходів в залежності від діаметру трубопроводу (Рис. 3.6), залежність часу відкачки в залежності від діаметру трубопроводу і перепаду тиску (Рис. 3.7).

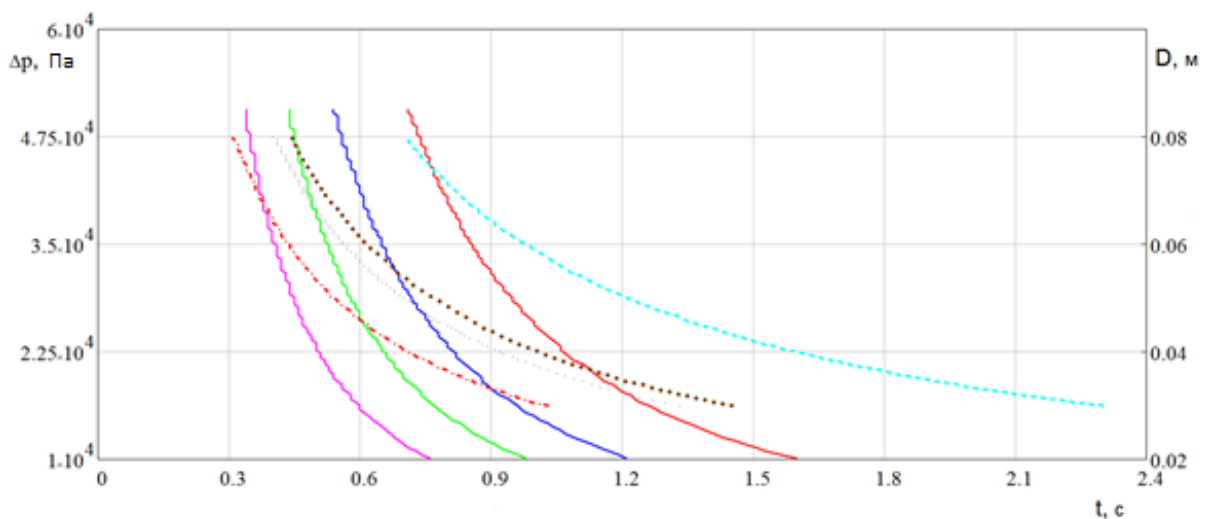


Рис. 3.6. Час відкачки відходів в залежності від діаметру трубопроводу і перепаду тиску.

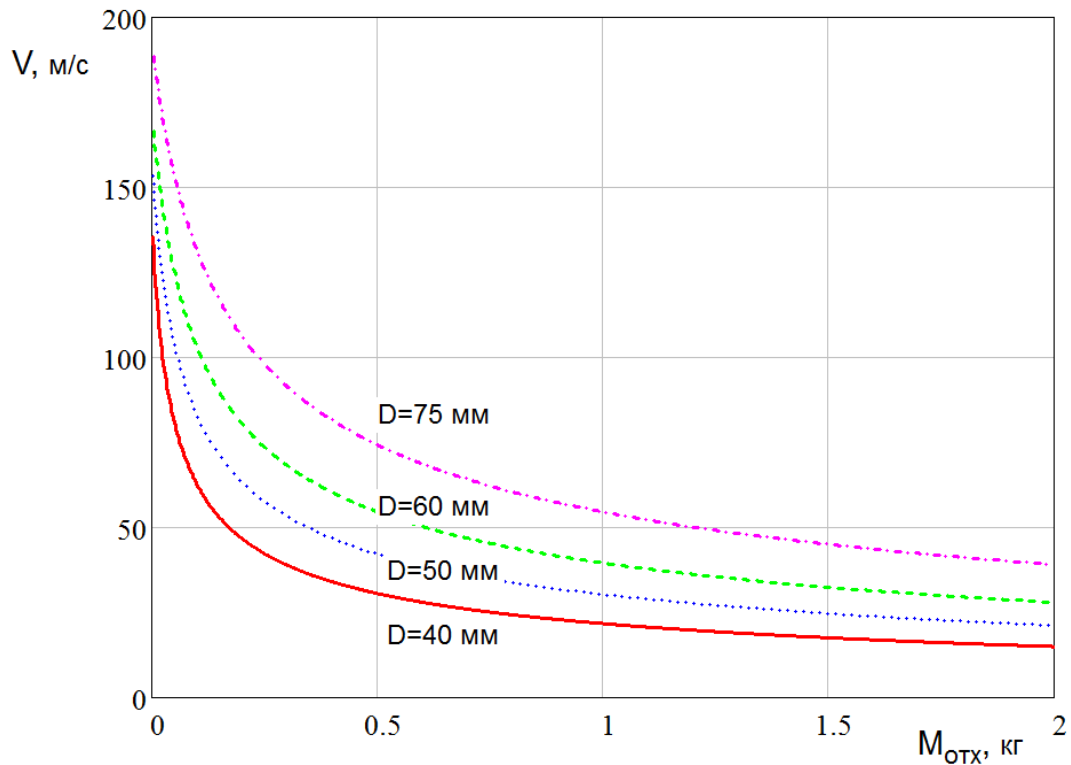


Рис. 3.7. Залежність швидкості видалення від ваги відходів при сталому перепаді тисків для різних діаметрів.

3.1.2. Програмна реалізація математичної моделі процесу видалення відходів в трубопроводі

Рішення математичної моделі трубопроводу було реалізовано за допомогою програми MathCAD [69], що дозволяє вирішувати диференціальні рівняння до четвертої похідної. Завдяки цьому розрахунки істотно спростилися і зменшився час, який витрачався на розрахунки вручну.

На рисунку 3.8 представлено діалогове вікно з програми MathCAD, в котрому представлені блоки для вводу первинних даних.

Програма дозволяє виконувати розрахунок різних залежностей і характеристик трубопроводу, а саме:

- швидкості порції відходів від часу та діаметру трубопроводу при заданому перепаді;
- час переміщення порції відходів від діаметру трубопроводу;
- швидкості переміщення об'єкту від перепаду тиску (висоти польоту);

- час видалення відходу від маси відходу від діаметру трубопроводу;
- час відкачки відходів від діаметру трубопроводу і перепаду тиску;
- швидкість відкачки від ваги відходів та діаметру трубопроводу.

Normal Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Давление воздуха в кабине: $p_k := 1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 0.968 \text{ atm}$

Давление воздуха в баке: $p_b := 0.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 0.484 \text{ atm}$

Плотность воды (объекта): $\rho_r := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Температура в кабине: $T_k := 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Площадь трубопровода: $d := 50\text{mm}$

Длина трубопровода: $L_{tr} := 17\text{m}$

Масса объекта: $m_r := 0.200\text{kg}$

Коэффициент трения воздуха: $\lambda_n := 0.013$

Коэффициент трения объекта: $\lambda_r := 0.013$

Газовая постоянная воздуха: $R := 29.27 \frac{\text{m}}{\text{K}}$

Шаг расчета: $\Delta t := 0.1\text{s}$

Рис. 3.8. Вікно завдання даних для розрахунку.

Результати розрахунків можливо представляти у табличному чи графічному вигляді. Представлення результатів розрахунку дозволяє на якісному рівні проаналізувати поведінку системи при різних сполученнях діаметру, перепадів тиску, ваги відходів, швидкості переміщення відходів.

Результати графічного представлення розрахунку показані на рисунках 3.2-3.7.

3.2. Моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі видалення відходів чисельним методом

Сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки і комп'ютерних технологій випереджає експериментальні дослідження і за допомогою методів чисельного моделювання дозволяє оцінити можливість і визначити

область існування майбутньої на концептуальному рівні при розробці технічних пропозиції і технічних завдання, при цьому:

- звести до прийняттого мінімуму кількість масштабних моделей і їх конфігурацій;
- звести до мінімуму ймовірності виникнення суттєвих невідповідностей технічним завданням в ході експериментальних досліджень;
- надають можливості краще зрозуміти досліджувані процеси і отримувати більш прогнозовані результати в ході модифікації моделей;
- виробити шляхи і стратегію оптимізації для кожного конкретного випадку.

Це дозволяє більш раціонально витратити ресурси під час підготовки найбільш ресурсномісткою стадії попереднього проектування випробувань на масштабних моделях і знизити витрати за рахунок скорочення програми досліджень.

Розвиток обчислювальної техніки послужило появою програмного забезпечення, яке використовує об'ємне моделювання на основі кінцево-різницевого методів чисельного розрахунку. Дані методи мають перевагу перед двовимірним моделюванням потоку рідини дозволяючи отримати об'ємну картину що відбуваються в об'єкті процесів (розподіл швидкості, температури, тиску, і т.д.), що безумовно допомагає інженерам при проектуванні складних систем. У зв'язку з цим необхідно провести аналіз коректності обчислення газодинамічних характеристик трубопроводу наявними в розпорядженні засобами. З визнаних і використовуваних при проектуванні систем можна виділити деякі програмні комплекси: ANSYS, FlowVision, Feniks.

Для цього використовувався додаток Fluent програми ANSYS, який було вибрано в якості інструменту для аналізу подібного режиму течії з ряду подібних програм в зв'язку з тим, що результати, отримані з його допомогою, найбільш точно збігаються з даними, отриманими під час випробувань.

Тривимірний модель трубопроводів була створена в середовищі NX 8.5, яка потім була імпортована в програму ANSYS. При розрахунку аналізувалися такі фактори, що впливають на коректність створення математичної моделі течії рідина-газ: модель турбулентності, побудова розрахункової сітки - її вид, товщина пристінного шару і градієнт його зміни, шорсткість стінки.

Згідно з результатами розрахунку найбільш точні дані були отримані при використанні трьох теорій турбулентності, представлених в програмі:

$k - \epsilon$ ($k - \epsilon$) - двопараметрична диференціальна модель турбулентності заснована на розгляді кінетичної енергії турбулентних пульсацій. При використанні даної моделі встановлювалася різна шорсткість стінки: 1, 5, 15, 50 і 100 мкм;

$k - \omega$ ($k - \omega$) - дана модель турбулентності має перевагу перед $k - \epsilon$ при моделюванні пристінкових течій;

Розрахункова область була представлена сіткою, осередки якої мали вигляд тетраедра, а пристінковий шар розбитий на 10 підслоїв, осередки яких мали форму призми.

Результати розрахунку, отримані за допомогою програмного пакету чисельного моделювання Ansys CFX, представлені на рис. 3.9 – 3.11.

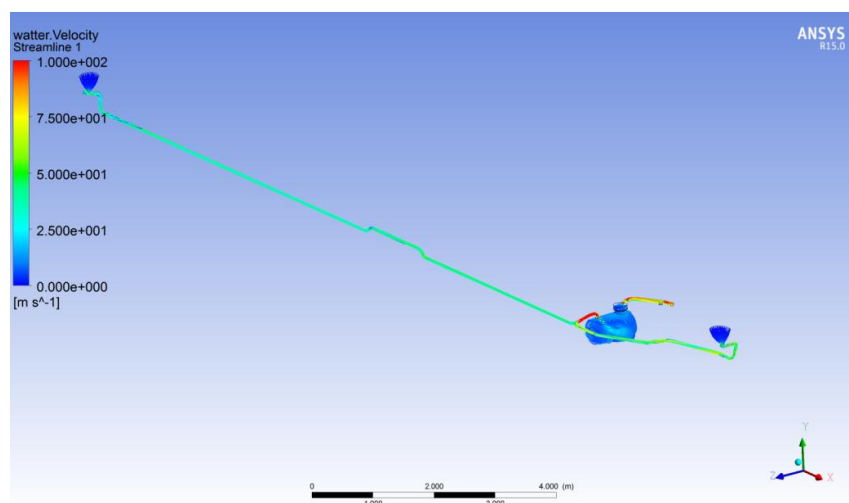


Рис. 3.9. Вакуумування трубопроводів і бака відходів.

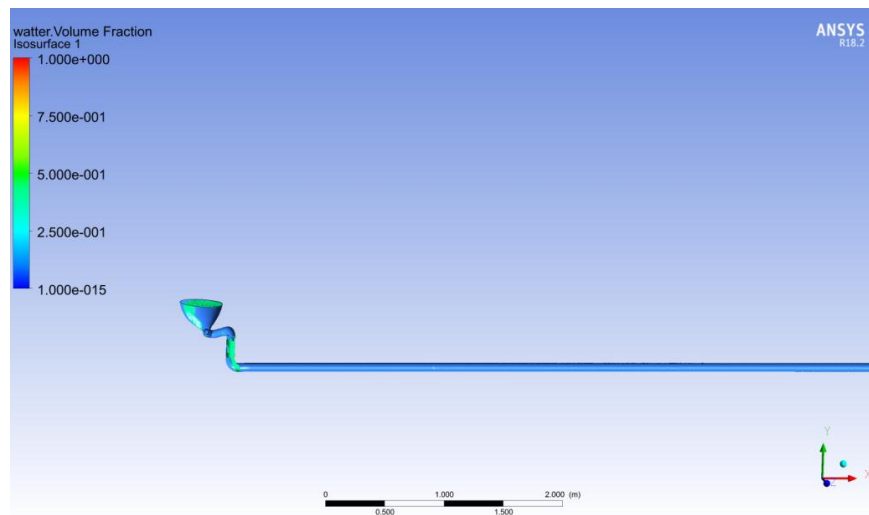


Рис. 3.10. Початок руху порції відходів у трубопроводі.

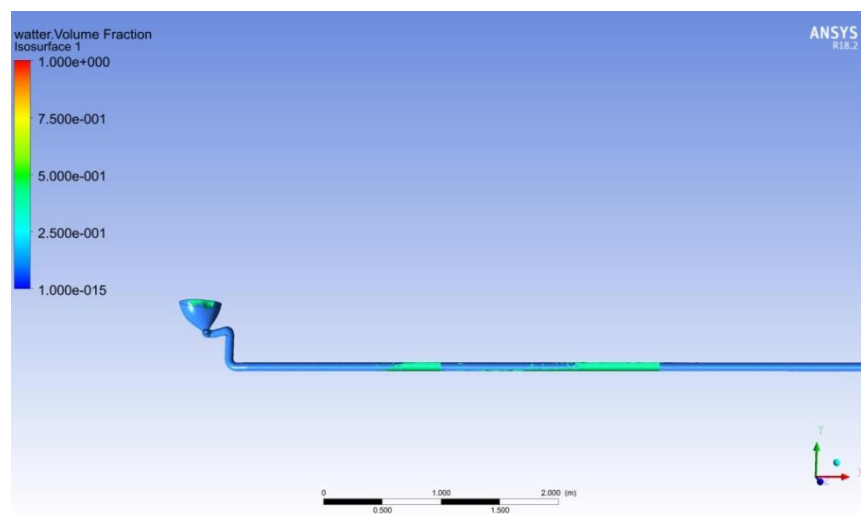


Рис. 3.11. Руху порції відходів у трубопроводі.

Для оцінки отриманих результатів моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі вакуумної системи виконаних аналітично та за допомогою чисельного методу отриманих програмою Ansys CFX побудовано порівняльну залежність швидкості руху відходів від діаметру трубопроводу (при фіксованому перепаді тиску, масі відходу), рисунок 3.12. Данні розрахунків вказують на достатню збіжність результатів та можливість використання. Знаком \diamond позначені результати отримані за допомогою розробленої математичної моделі, знаком \square позначені результати чисельного моделювання у Ansys CFX.

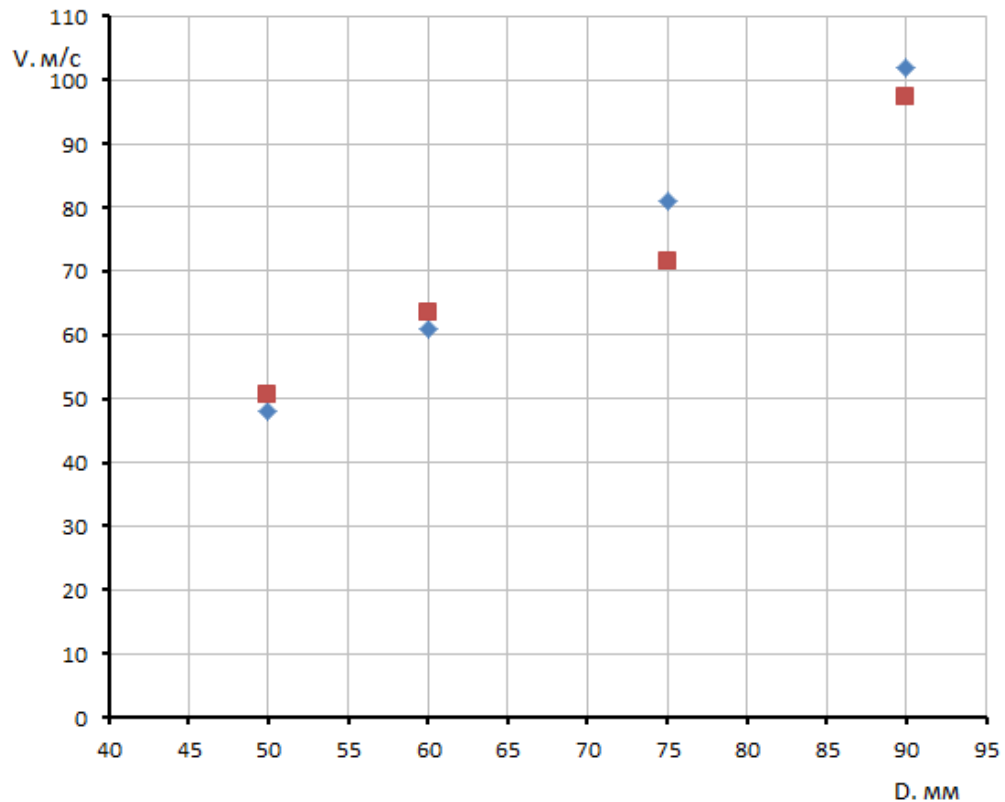


Рис. 3.12 Залежність швидкості руху відходів від діаметру трубопроводу (при фіксованому перепаді тиску, масі відходу).

3.3. Енергетична і вагова оптимізація траси трубопроводі системи видалення відходів.

Основними конструктивними параметрами траси трубопроводів системи видалення відходів літака є: довжина, діаметр і товщина стінок трубопроводів, конструкційний матеріал на різних ділянках і конструктивні рішення, викликані специфікою авіаційного проектування в обмеженому просторі (рис. 3.13) [70].

Довжина трубопроводів визначається конкретної прив'язкою мережі до геометрії літака.

Діаметри трубопроводів визначаються допустимими енергетичними втратами, а також допустимою швидкістю транспортування відходів в різних зонах траси, що виключають місцевий динамічний удар.

Товщина стінки знаходиться з умови міцності і довговічності в залежності від ступеня вакуумування, динамічних впливів відходів і застосовуваних технологічних процесів.

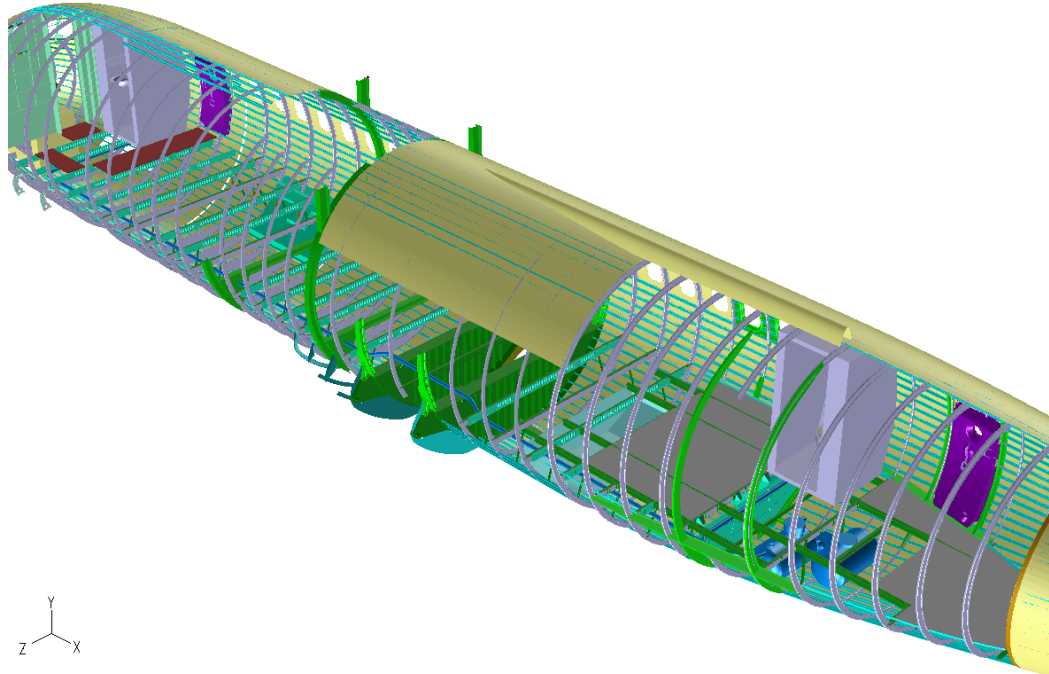


Рис. 3.13 Фрагмент траси трубопроводів системи видалення відходів пасажирського літака.

Матеріал трубопроводів визначається з умов речовин які знаходяться у контакті з трубопроводом (вода, сеча, папір, кал і т. п.).

Тому постає завдання розробка методу, який би дозволяв визначати ці основні параметри трубопроводів системи видалення СВВ з урахуванням процесу транспортування і ресурсних характеристик [71, 72].

3.3.1. Вибір моделі проектування

В основу моделі вибору основних конструктивних параметрів трубопроводів системи покладена вимога забезпечення мінімальної маси мережі:

$$m_{\Sigma} = \sum m_i = k_1 \cdot k_2 \cdot \pi \sum_{i=1}^n d_i s_i \ell_i \gamma_i \rightarrow \min \quad (3.29)$$

де, k_1 - коефіцієнт, що враховує масу закінцівок труб;
 k_2 - коефіцієнт, що враховує масу кріплення труб;
 l_i - довжина i -го трубопроводу;
 d_i - діаметр i -го трубопроводу;
 s_i - товщина стінки i -го трубопроводу;
 n - число ділянок трубопроводів;
 γ_i - питома щільність матеріалу на i -ій ділянці трубопроводу.

Відмінною особливістю запропонованого методу є та обставина, що вираз (3.29) реалізується з урахуванням обмежень, що враховують наявну потужність, допустиму швидкість з урахуванням динамічного впливу на стінки трубопроводів відходів, а так же ресурсні характеристики. Потрібно вирішити задачу оптимізації при наступних обмеженнях:

- по наявному перепаду тиску

$$\Delta P_{\Sigma} \rightarrow P_{\text{задане}} \quad (3.30)$$

- по втраті тиску на ділянці

$$\Delta P_i \rightarrow P_i \text{ min} \quad (3.31)$$

- по швидкості течії відходів

$$W_i \leq W_i \text{ задане} \quad (3.32)$$

- по допустимій динамічній швидкості на ділянках

$$Q_i = \text{const} \quad (3.33)$$

- по заданій довговічності

$$\sigma_i \rightarrow \sigma_N \quad (3.34)$$

На основі математичної моделі (3.29) - (3.34) з урахуванням вимог і особливостей трубопроводів системи, блок-схема вибору основних параметрів трубопроводів видалення відходів може бути представлена у вигляді, показано на рис. 3.14.

З огляду на дискретний характер зміни d_i та s_i , а також дискретний вплив технологічних особливостей конструкції, розробку моделі

проектування будемо вести в області методів математичної статистики, де найбільшого поширення набули:

- метод крутого сходження (МКС), що відноситься до групи градієнтних методів;
- послідовний симплексний метод (ПСМ);
- випадковий пошук з використанням $ЛП_\tau$ - послідовний (ВП).

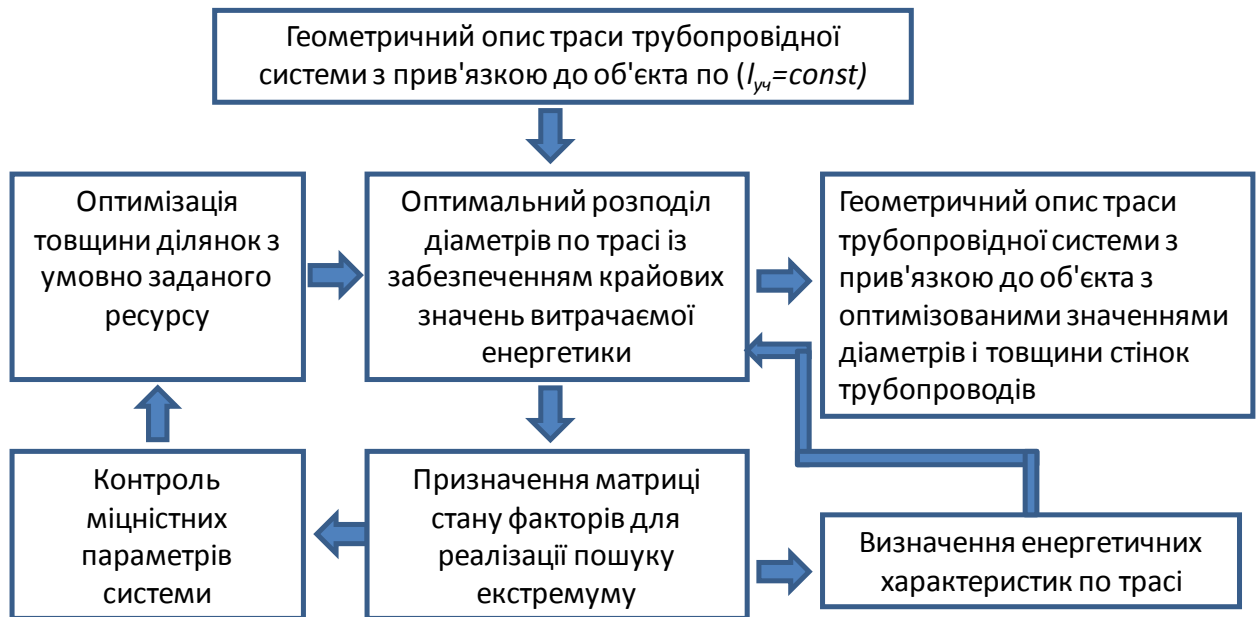


Рис. 3.14 Блок-схема вибору основних параметрів трубопроводів системи видалення відходів

Порівнюючи зазначені методи за критерієм пошуку глобального екстремуму в багатовимірному факторному просторі ($K = 20 \dots 100$), необхідно відзначити наступне:

1. МКС базується на обчисленні градієнта по експериментальним вихідними даними. У разі погано обумовлених поверхонь ("ярові", "фіордові" поверхні відгуків) такий метод оптимізації малоефективний.
2. МКС і ПСМ забезпечують пошук в разі багатоекстремального поверхонь локальних екстремумів. Для пошуку оптимального екстремуму з використанням цих методів необхідно процес пошуку повторити багаторазово з різних вихідних точок факторного простору.

3. Для ПСМ в разі тривалого проведення окремого досвіду загальний час оптимізації може стати неприпустимо великим.
4. Ефективність - в сенсі досягнення глобального екстремуму - при використанні ВП вище, ніж у регулярних методів (МКС і ПСМ), особливо для випадків з погано обумовленою факторним простором, всілякими обмеженнями за такими чинниками, функцій та ін. обмежуючим умовам.
5. Ефективність ВП - в сенсі необхідних витрат на реалізацію його процедури - в порівнянні з МКС і ПСМ вище: зі зростанням числа факторів K до оптимізуємої системи витрати на пошук для МКВ і ПСМ зростають пропорційно $(K + 1)$ (тобто лінійно), а для СП – як $\sqrt{K} \sqrt{K}$.
6. Використання ВП порівняно просто. Необхідну матрицю знань чинників для пошуку глобального екстремуму можна розрахувати на ЕОМ. Число факторів для $ЛП_r$ - послідовність становить до 51. Для інших рівномірно розподілених послідовностей число чинників може бути більш 100.
7. Ефективність пошуку глобального екстремуму ВП не зменшується, якщо для деяких сполучень значень факторів не можна отримати значення відгуків

Численні різновиди ВП розроблені за участю та під керівництвом Л.А. Растрігіна [73]. У них використовувалися випадкові точки для зондування простору з таблиць випадкових чисел або алгоритмів їх отримання. Такі цифри не перевірялися на "рівномірність" розподілу в факторному просторі, і ефективність пошуку глобального екстремуму залишалася необґрунтованою.

Запропоновані алгоритми генерування пробних точок, рівномірно розташованих в багатовимірному кубі. Від багатовимірного куба завжди можливо перейти до багатовимірного паралелепіпеда, всередині якого можна розташувати цікаву для нас область факторного простору.

Послідовність P_1, \dots, P_i, \dots називається рівномірно розподіленою (РР) в K^n для любого Π :

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{S_N(\Pi)}{N} = V_n \quad (3.35)$$

де,

V_n - об'єм (n-мірного) паралелепіеду Π ;

$S_N(\Pi)$ - кількість точок P_i з номерами, що належать Π ;

K^n - факторний простір розмірності n ;

$\mathcal{L}\Pi_\tau$ - послідовності, які «є найбільш рівномірно розподіленими серед усіх відомих в даний час послідовностей».

При використанні $\mathcal{L}\Pi_\tau$ - послідовностей в ВП з алгоритмами накидного типу ймовірність попадання хоча б однієї точки в зону екстремуму вище, ніж у інших послідовностей випадкових точок, при рівній кількості пробних точок для порівнюваних послідовностей. «Численні експерименти, проведені з метою порівняння $\mathcal{L}\Pi_\tau$ - пошуку з найпростішим випадковим пошуком, незмінно показували перевагу $\mathcal{L}\Pi_\tau$ - пошук».

В даному випадку розглядається технічна система, до якої завжди пред'являється ряд вимог (критеріїв):

$$\begin{aligned} Y_1 &\rightarrow \max; \\ Y_2 &\rightarrow \min; \\ Y_{3 \min} &\leq Y_3 \leq Y_{3 \max}; \\ Y_4 &\geq Y_{3 \max} \quad \text{и др.} \end{aligned} \quad (3.36)$$

Розглянемо визначення найкращого (в компромісному сенсі) поєднання критеріїв якості при багатокритеріальної оптимізації. Утворити, простір критеріїв якості, осі якого будуть висловлювати критерії якості технічної системи. Поєднання будь-яких екстремальних значень критеріїв якості являє собою в ідеальному випадку одну з вершин багатовимірного паралелепіеда. Однак в загальному випадку вибір в реальній задачі найкращого поєднання неможливий через суперечливого характеру цих критеріїв один щодо одного. Тому необхідно висловлювати одне з реальних сполучень цих критеріїв, яке

буде найбільш близьким ідеального. Таке поєднання і буде компромісним по Парето.

Припустимо наступні вимоги до критеріїв: $Y_1 \rightarrow \max$, $Y_2 \rightarrow \max$. По матриці плану експерименту має бути проведено N дослідів. Коефіцієнти точок в багатофакторному просторі будуть розраховані по $ЛП_\tau$ - РР послідовностям для факторів даної технічної системи. Простір критеріїв якості для Y_1, Y_2 показано на рис. 3.15.

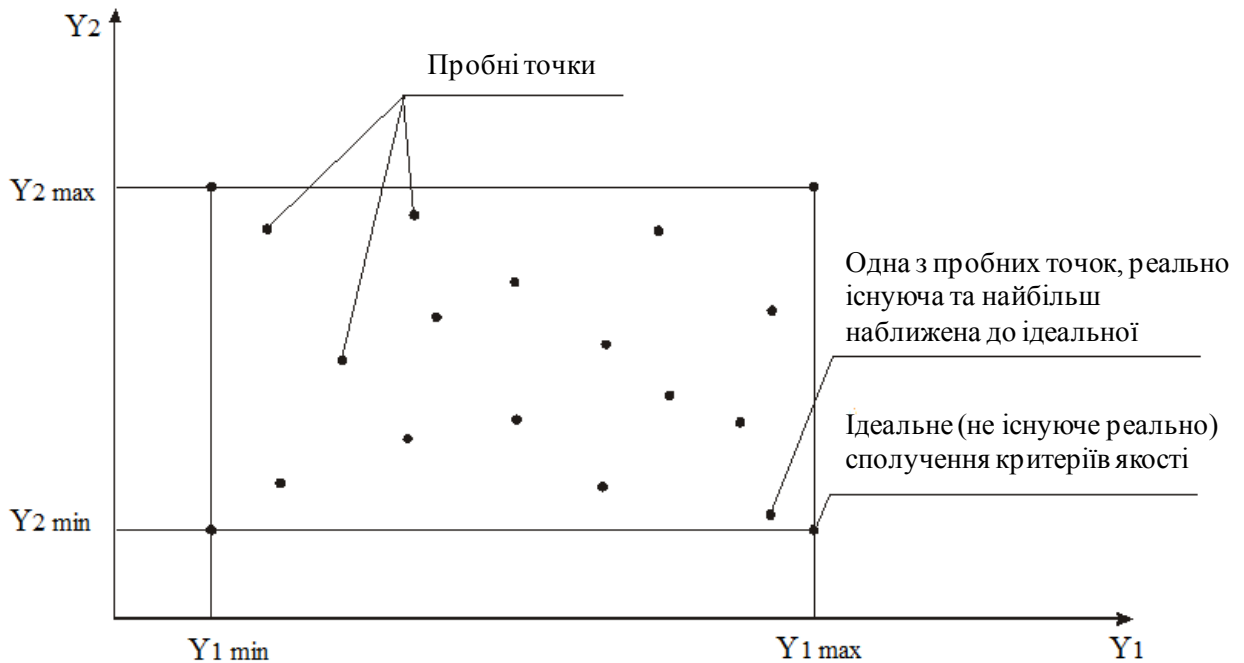


Рис. 3.15 Простір критеріїв якості Y_1, Y_2

Ідеальне поєднання критеріїв якості представляється точкою 2, для якої $Y_1 = \max$, $Y_2 = \max$.

Пробні точки в кількості 32, 64, 128 перевіряються на предмет близькості до ідеальному поєднанню, тобто до точки 2. Одна або кілька точок і будуть шуканими.

3.3.2. Схема побудови циклів вибору параметрів

При організації обчислювального процесу з використанням $ЛП_\tau$ - послідовності необхідно враховувати особливості перебігу відходів в трубопроводах

Для перебігу відходів характерна зміна щільності з ростом швидкості, що змінює і саму зв'язок між повними тисками в розраховуються перетинах. Ця особливість перебігу відходів, а також той факт, що коефіцієнт гідравлічного опору в ряді випадків також залежить від швидкості течії, зумовлює те, що послідовність досліджень для отримання оптимальних значень розподілів діаметрів бажано починати з малих швидкостей течії відходів (з великих значень d). Вихідні значення діаметрів доцільно призначати з умови рівної розрахункової швидкості течії відходів в перетинах. У зв'язку з тим, що до 30% втрат в трубопроводах пов'язані з втратами на вузлах злиття і поділу потоку, і коефіцієнт гідравлічного опору трійників

$$\xi_{mp} = f\left(\frac{\sigma_{\delta,o}}{\sigma_{cp}}, \frac{F_{\delta,o}}{F_{cp}}\right) \quad (3.37)$$

співвідношення площ при аналізі не повинно сильно "плавати", тобто розглядатися повинна не вся область можливих діаметрів, а найближчі їх значення з стандартизованого ряду.

Будь-яку систему опалення, можна описати як поєднання ділянок с дискретно заданими діаметрами і провести оптимізацію за поєднанням діаметрів, що приводить до мінімізації настановної маси.

З цією метою для кожної ділянки задається 4 значення діаметра першого наближення і за допомогою алгоритму генерації послідовності пробних точок створюється матриця стану в $ЛП_r$ - послідовності.

огляду на значний ступінь впливу динамічних втрат від поєднання витрат і площ в вузлах злиття і поділу потоку, а також зміна фізичного опису процесів при досягненні кризових течій в елементах системи, доцільно рішення по оптимальному розподілу діаметрів по трасі починати з геометричного опису системи з $\Delta P_{розр} \leq \Delta P_{зад}$ з подальшим аналізом варіантів по приватним похідним $\partial m / \partial P$ використанням методу градієнтного спуску в зону задовільних рішень.

Схема вибору діаметрів трубопроводів представлена на рис. 3.16.

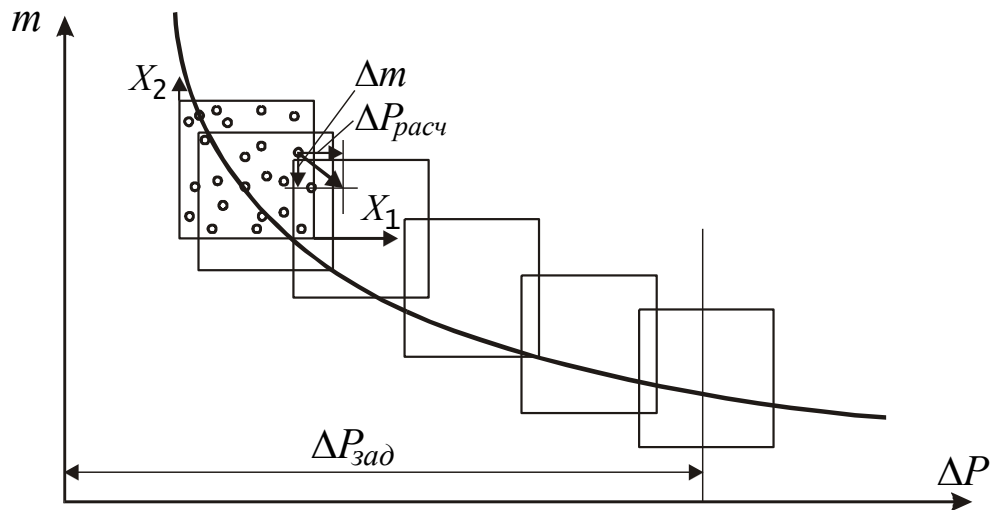


Рис. 3.16 Схема вибору діаметрів по трасі трубопроводів.

Оптимальне рішення досягається, як правило, за 3 ... 4 зсуву матриці можливих значень діаметрів. При цьому доцільно мати 4 варійованих діаметра на кожній ділянці, збудованих в бік зменшення за заданим ряду з другим значенням, рівним прийнятому діаметру попереднього наближення. У разі досягнення обмеження щодо застосування діаметр цієї ділянки фіксується. Така схема розрахунку зажадає від 32 до 96 варіантів газодинамічного розрахунку мережі.

З організацією автоматичного завдання варійованих параметрів і автоматичним аналізом отриманих варіантів по градієнтному методу це не призводить до ускладнення інженерного аналізу і в цілком доступний для огляду час забезпечує оптимізацію системи, що складається з 30 ... 40 ділянок.

Алгоритм пошуку оптимальних рішень ускладнюються незначно, якщо для будь-якого виду сполучень діаметрів виконати контроль міцності системи і оптимізувати товщини вхідних елементів. Це призводить лише до збільшення машинного часу, але не порушує загальну схему пошуку параметрів.

3.4. Висновки з розділу 3.

1. Розроблена математична модель, що описує квазістаціонарні гідравлічні процеси течії відходів в трубопроводі системи видалення відходів літака, за допомогою якої визначаються геометричні та газодинамічні характеристики трубопроводу.

2. Створено за допомогою програми MathCAD представлення математичної моделі течії відходів в трубопроводі системи видалення відходів і дозволяє візуалізувати результати розрахунків.

3. Розроблена розрахункова модель руху відходів у трубопроводі за допомогою програмного пакету чисельного моделювання Ansys CFX і отримані результати моделювання які вказують на достатню збіжність результатів процесу видалення відходів виконаних аналітично.

4. Запропоновано метод оптимізації параметрів трубопроводів системи видалення відходів з нелінійними характеристиками процесів, що протікають у цих елементах.

5. Запропоновано визначення конструктивних параметрів трубопроводів системи видалення відходів в об'єднаному розрахунку газодинаміки та міцності в одному циклі оптимізації конструктивних параметрів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БАКА ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ

4.1. Визначення основних методів чисельного рішення рівнянь для дослідження баку відходів.

На сьогоднішній день існує три основні підходи до чисельного вирішення рівнянь в частинних похідних.

Перший - методу скінчених різниць, який наведений в роботах [74 - 76]. Його суть полягає в прямій заміні похідних, що входять в вихідні рівняння, їх дискретними (різницеvими) аналогами. Пошук рішень виконується в вузлах сітки, на яку розбивається розрахункова область.

Другий - методом кінцевих об'ємів чи метод контрольного об'єму [77 - 80]. Суть методу полягає в тому, що за допомогою сітки розрахункова область розбивається на сукупність кінцевих об'ємів. Вузли, в яких виконується рішення, знаходяться в центрах цих об'ємів. Для кожного об'єму повинні виконуватися закони збереження маси, кількості руху і енергії. Іншими словами зміна в часі маси середовища в контрольному об'ємі може відбуватися тільки за рахунок зовнішнього потоку маси, що входить в об'єм, або за рахунок потоку маси, що виходить з даного об'єму. Метод кінцевих об'ємів застосовується в багатьох обчислювальних гідродинамічних (CFD) пакетах, таких як Ansys CFX, Ansys Fluent, FlowVision, Flow3d, PHOENICS і ряді інших.

Третій метод вирішення - Метод Скінчених Елементів (МСЕ) [81]. Суть методу виходить з його назви. Область, в якій виконується пошук рішень диференціальних рівнянь, розбивається на кінцеве число елементів. У кожному з елементів довільно вибирається вид апроксимуючої функції. За межами свого елемента апроксимуюча функція дорівнює нулю. Значення функцій на границях елементів вузлах є рішенням задачі і заздалегідь невідоме. В даний час метод скінчених елементів знайшов широке

застосування при вирішенні задач теплопровідності в твердих тілах і при розрахунках на міцність. Він застосовується в окремих пакетах обчислювального комплексу Ansys (Ansys Structural, Ansys Thermal і т.д.), обчислювальному комплексу Abaqus, обчислювальному пакеті Nastran т.ін.

Виходячи з описів методів, всі вони засновані на розбитті розрахункової області за допомогою сітки. Формування таких областей за допомогою розбиття сітки з часом є зовсім нетривіальним завданням, що вимагає залучення досить складного математичного апарату і істотних обчислювальних ресурсів. Вибір чи розробка способу чисельного вирішення рівнянь є одним з важливих завдань при розробці алгоритму вирішення задачі моделювання процесів в елементах системи.

Модель турбулентності перенесення зсувних напружень Флоріана Ментера (SST $k-\omega$) була розроблена для того, щоб об'єднати переваги стандартної $k-\omega$ моделі, що добре працює в прикордонному шарі і $k-\epsilon$, доброї роботи в областях, віддалених від стінки.

Головні відмінності SST (Shear Stress Transport) і стандартної $k-\omega$ моделей полягають в наступному:

- послідовна зміна від стандартної $k-\omega$ для внутрішнього прикордонного шару до високореїнольдсової $k-\epsilon$ моделі для зовнішньої області прикордонного шару;
- модифікована формула турбулентної в'язкості для обліку ефектів перенесення турбулентного зсувне напруження, що і послужило приводом для назви цієї моделі. Завдяки цьому SST модель має певні переваги в порівнянні, як зі стандартною $k-\omega$, так і з $k-\epsilon$ моделями.

Генерація і дисипація k і ω обчислюються за формулами змішання, в яких присутні функції змішування, що забезпечують плавний перехід від стандартної $k-\omega$ моделі поблизу стінки до $k-\epsilon$ на зовнішній границі прикордонного шару.

Так як модель SST побудована на основі змішання моделей $k-\omega$ і $k-\epsilon$, то в рівнянні для ω з'являється член перехресної дифузії.

Граничні умови побудовані таким чином, що дозволяють працювати як на грубих, так і дрібних сітках. Ці моделі не потребують функцій стінки.

Перевага SST $k-\omega$ модель турбулентності:

- при несприятливих градієнтах тиску і відривних течій SST $k-\omega$ модель може застосовуватися практично для будь-яких типів течій: з великими і малими числами Рейнольдса, навколосвукових течій, відривних і т. п.

Недоліки SST $k-\omega$ модель турбулентності:

- вимагає $y^+ = 1$, і не менше 10 осередків в прикордонному шарі;
- залежність від відстані до стінки робить її менш придатною для чисто зсувних

течій в порівнянні зі стандартною $k-\omega$ моделлю.

Більш докладно з відмінностям можна ознайомитися у [82].

4.2. Модель вільної поверхні.

Дослідження процесу наповнюваності бака виконується чисельними методами. Розглядаються нестационарні гідравлічні процеси при взаємодії двофазового середовища відходи-повітря, які розділені вільною поверхнею [83].

У статті [84] представлений аналіз існуючих математичних моделей для моделювання потоків з вільною поверхнею, який показує, що на теперішній час найбільш використовуваним є метод Volume of Fluid method. Даний метод використовує функцію об'ємної частки рідини α . Ця функція приймає значення рівне 0 якщо середовище заповнене газом і 1 якщо заповнений рідиною. На межі розділу фаз значення функції лежить в інтервалі $0 < \alpha < 1$. Щільність, тиск і коефіцієнт в'язкості розглядаємих середовищ знаходяться з наступних рівнянь:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_1 \alpha + (1 - \alpha) \rho_2 \\ p &= p_1 \alpha + (1 - \alpha) p_2 \\ \mu &= \mu_1 \alpha + (1 - \alpha) \mu_2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Відповідно до [85] враховуючи [86] та використовуючи модель турбулентності SST, рівняння, що описують нестационарні газодинамічні процеси у двовимірній постановці з наявною вільною поверхнею мають такий вигляд:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial t} + \frac{\partial F_i}{\partial x} + \frac{\partial G_i}{\partial y} = \frac{\partial R_i}{\partial x} + \frac{\partial S_i}{\partial y} + M_i$$

де

$$Q = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ e \\ \rho k \\ \rho \omega \\ \alpha \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ u(e+p) \\ \rho uk \\ \rho u\omega \\ 0 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + p \\ v(e+p) \\ \rho vk \\ \rho v\omega \\ 0 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho g \\ \rho F \cdot V \\ P_k - \beta^* \rho k \omega \\ \alpha_{SST} \rho S^2 - \beta \rho \omega^2 + A_x^\omega + A_y^\omega \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$R = \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xx} \\ \tau_{xy} \\ q_x + u\tau_{xx} + v\tau_{xy} \\ D_x^k \\ D_x^\omega \\ \alpha u \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yy} \\ q_y + u\tau_{xy} + v\tau_{yy} \\ D_y^k \\ D_y^\omega \\ \alpha v \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

де коефіцієнт i - номер середовища, ρ - щільність, u і v - проекції вектора швидкості на координати x і y відповідно, p - тиск, $V = (u, v)^T$ - вектор швидкості, $F = (f_x, f_y)^T$ - щільність розподілу об'ємних сил, τ - елементи тензора в'язких напруг, k - кінетична енергія турбулентності, ω - турбулентність питома швидкістю дисипації, P_k - породження кінетичної енергії турбулентності.

Перше рівняння - рівняння нерозривності, друге і третє - рівняння збереження імпульсу за координатами x і y , четверте - рівняння збереження енергії, п'яте і шосте - рівняння моделі турбулентності SST, сьоме - рівняння переносу для функції α .

Замикають дані рівняння – рівняння стану, а також рівняння умови динамічної рівноваги на межі поділу середовищ:

$$p = \frac{R}{m} \rho T$$

$$(\tau_1 - \tau_2)e = (p_1 - p_2 + \sigma K)e$$

$$u_1 = u_2, v_1 = v_2$$

де,

e - одиничний нормальний вектор, K - кривизна поверхні, σ - коефіцієнт поверхневого натягу.

Елементи тензора напружень мають такий вигляд:

$$\tau_{xx} = 2\mu_e \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu_e \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right),$$

$$\tau_{yy} = 2\mu_e \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu_e \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right),$$

$$\tau_{xy} = \mu_e \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right),$$

де μ_e - ефективний коефіцієнт в'язкості:

$$\mu_e = \mu + \mu_t$$

μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, μ_t - турбулентний коефіцієнт в'язкості.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\omega}$$

Для рівнянь моделі турбулентності:

$$D_x^k = (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x}, \quad D_y^k = (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial y},$$

$$D_x^\omega = (\mu + \sigma_\varepsilon \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x}, \quad D_y^\omega = (\mu + \sigma_\varepsilon \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial y},$$

$$A_x^\omega = 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega^2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x},$$

$$A_y^\omega = 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega^2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y}$$

Детальний опис коефіцієнтів, що входять в рівняння турбулентності, приведений в [87 – 88].

Підготовка до вирішення і рішення систем рівнянь (4.2) здійснюватися за допомогою програмного пакету чисельного моделювання Ansys CFX [89]. Зазначений програмний пакет здатний вирішувати складні завдання з урахуванням великої кількості ефектів. Дослідження двофазної течії за допомогою чисельного методу моделювання розглянуті в [90-92].

4.3. Дослідження процесів наповнюваності бака зберігання відходів за допомогою чисельного моделювання

Так як проектування систем літака ведеться в обмеженому просторі, баки системи видалення відходів можуть мати різні форми. Об'єктом дослідження взято умовний бак для зберігання відходів, циліндричної форми, рисунок 4.1. Для дослідження виконано моделювання і дослідження баків з діаметром від 0,5 до 10 м.

Тривимірна модель бака виконана за допомогою програмного продукту NX 8.5.

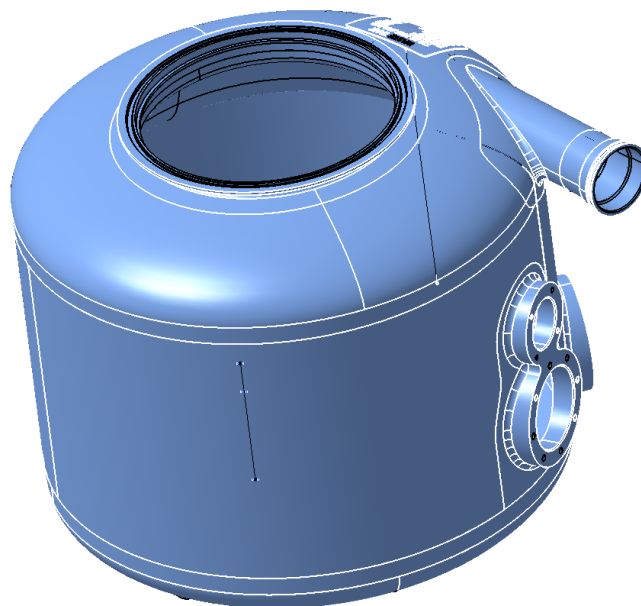


Рис. 4.1 Модель бака зберігання відходів.

Побудова розрахункової сітки виконано за допомогою програмного пакета ICEM. Об'єм баку розбитий неструктурованою тетраедричною сіткою з використанням методу Robust (octree), рисунок 4.2. Максимальна висота розрахункового елемента сітки складає 20 мм для входу і 7 мм для виходу.

У баку розглядається двофазне середовище повітря-вода розділена вільною поверхнею. Повітря представлено як ідеальний газ. Модель турбулентності SST.

Моделювання течії проводилося в нестационарній постановці (Transient). Час моделювання процесу наповнюваності баку складає 1 сек., і включає наступні етапи роботи агрегатів системи: робота генератора вакууму з 0 до 1 с, відкриття заслінки приймача відходів з 1 до 2 с, попадання порції води в бак.

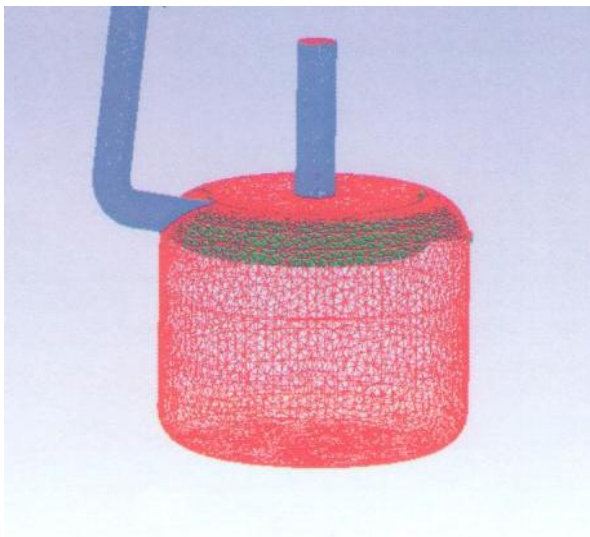


Рис. 4.2. Розрахункова сітка бака відходів.

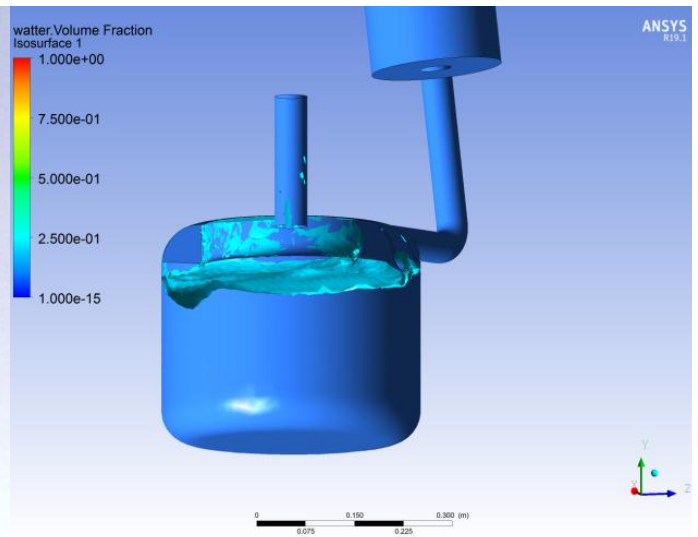


Рис. 4.3. Стан поверхні розриву середовищ після закінчення процесу вакуумізації.

У початковий момент часу в баку знаходиться певний рівень води (відходів), висота стовпа якого дорівнює y_h . Метою дослідження є визначення залежності кількості води у вихідному патрубку від величини повітряний зазору між водою та верхньою стінкою бака.

Початкові значення вектора швидкості 0 м/с. Початкове значення тиску задається функцією P_{ref} :

$$P_{ref} = \begin{cases} P_w - \rho g (y_h - y) < y_h \\ P_{in} - \rho g (y_h - y) \geq y_h \end{cases}$$

де,

$P_{in} = 1,0332 \text{ кг/см}^2$ - тиск для повітря;

P_w - тиск для води, яке визначається через функцію:

$$P_w = P_{in} + (y_h - y) \cdot 1000 \cdot g$$

Початкове значення температури двох фаз $t = 22 \text{ }^\circ \text{C}$. Коефіцієнт об'ємного змісту кожної фази в розрахунковій області визначено через функцію WVF:

$$\text{WVF}_{\text{повітря}} = \begin{cases} 0 & \text{при } y < y_h \\ 1 & \text{при } y \geq y_h \end{cases}$$

$$\text{WVF}_{\text{води}} = 1 - \text{WVF}_{\text{повітря}}$$

Перші результати показали, що стійкість розрахунку забезпечується при значеннях кроку за часом 0,001 сек. і менше.

Дослідження процесу вакуумізації системи дозволило встановити, що при зменшенні товщини повітряного зазору відбувається значна інтенсифікація відриву частинок води (відходів) від поверхні у наслідок більших швидкостей повітряних потоків в зазорі, які виникають під час процесу вакуумізації системи. Подальше зменшення товщини повітряного зазору призводить до утворення хвиль на вільній поверхні, у наслідок чого відбувається значне розплескування води та яке може збільшитися вже під час потрапляння нової порції відходів у бак.

Результати чисельного моделювання процесу наповнюваності бака дозволили визначити залежність коефіцієнта об'ємного вмісту води в вихідному трубопроводі від різних значень початкового рівня води в баку.

За перевищення концентрацій водяної частки приймаємо 5 грам рідини за злив (об'ємної кількості води не більше 0,0001) при якій наявність води у вихідному каналі стає візуально помітною.

На рисунку 4.4 представлена залежність об'ємної кількості води у вихідному патрубку (можливий максимум дорівнює 1) від величини зазору між поверхнею відходів та верхньою стінкою бака (H) при різних діаметрах баку відходів (площі вільної поверхні).

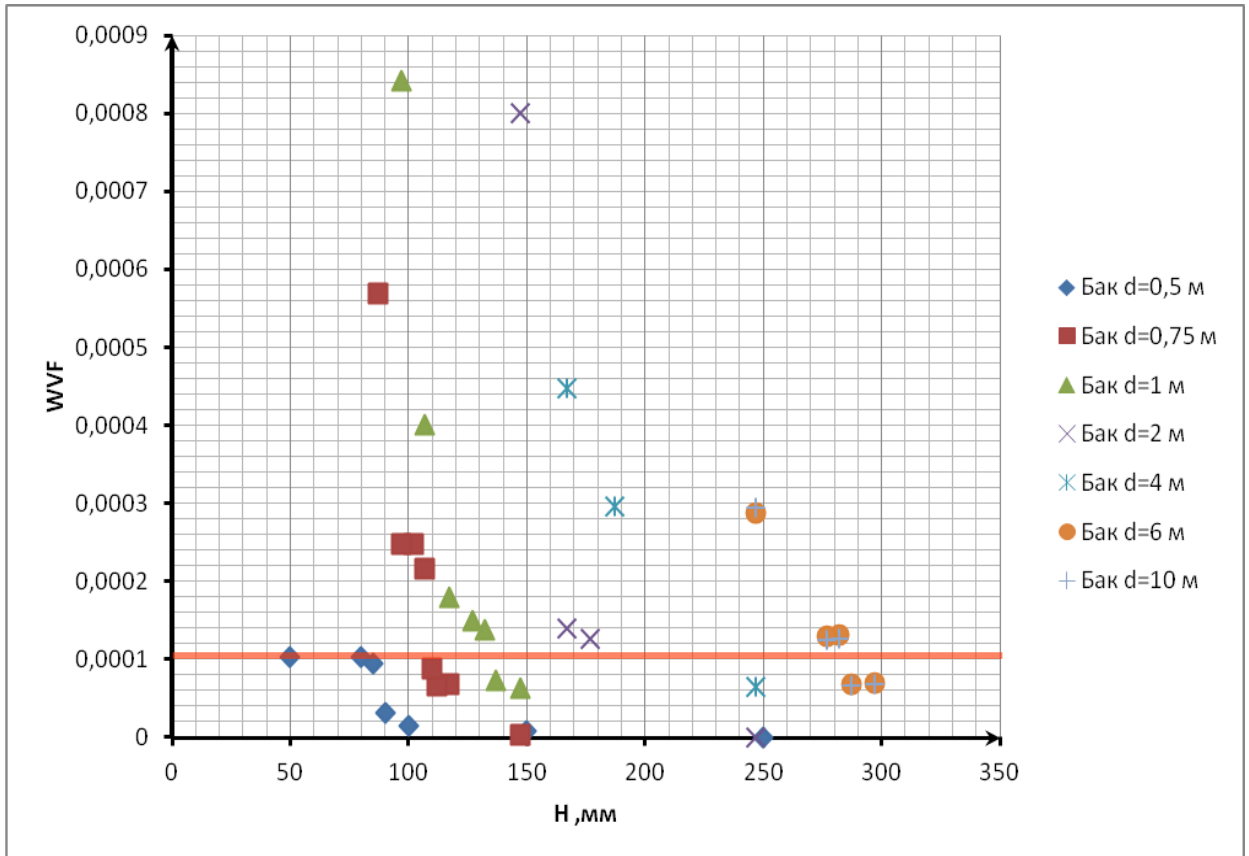


Рис. 4.4. Залежність об'ємної кількості води у вихідному патрубку від величини повітряного зазору при різних діаметрах баку відходів.

Отримані данні чисельного моделювання для баків різних діаметрів дозволили вивести залежність допустимої мінімальної висоти повітряного зазору між поверхнею відходів до верхньої стінки баку від діаметра баку, яка представлена на рисунку 4.5. Представлена залежність в першому наближенні дозволяє для заданих габаритів баку (які визначені із врахування максимальної кількості відходів та місця установки баку) оцінити необхідний додатковий об'єм повітряного зазору, який забезпечить відсутність відходів у вихідному патрубку.

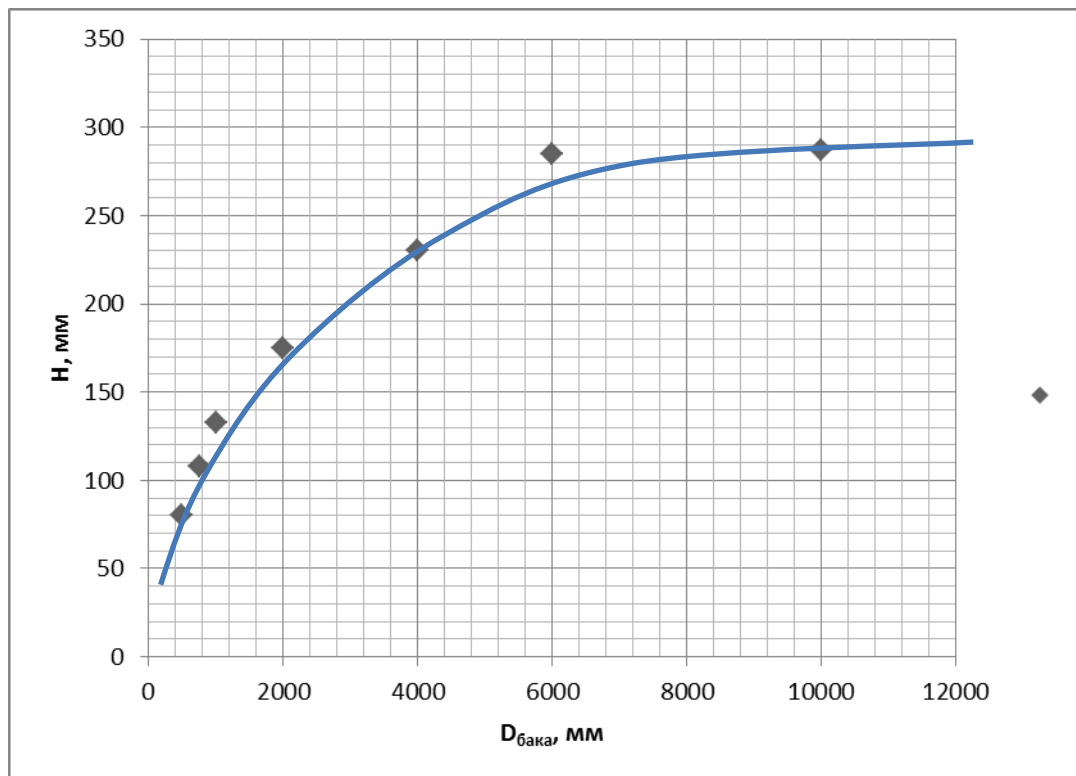


Рис. 4.5. Залежність необхідної мінімальної висоти повітряного зазору, яка забезпечує відсутності води у вихідному патрубку, від діаметра бака відходів.

4.4. Чисельне моделювання процесу заповнення баку відходів при вакуумізації системи.

При дослідженні процесу наповнюваності бака методами чисельного моделювання використано програмне забезпечення Ansys CFX [89].

Об'єктом дослідження - бак зберігання відходів, розроблений для пасажирського літака Ан-148-100. Зовнішній вигляд бака представлений на рисунку 4.6.

Вихідні дані:

- максимальний діаметр бака $d_{\max} = 521$ мм;
- довжина бака $L = 828$ мм;
- тиск в баку після виключення вакуумного генератора $P_{\text{бака}} = 0,51531$ кгс/см²;
- тиск в кабіні $P_{\text{каб}} = 1,0332$ кгс/см².

Тривимірна модель бака виконана за допомогою програмного продукту NX 8.5.



Рис. 4.6. Модель бака зберігання відходів літака Ан-148-100.

Побудова розрахункової сітки виконано за допомогою програмного пакета ICEM. Обсяг бака розбитий неструктурованою тетраедричною сіткою з використанням методу Robust (octree), рисунку 4.7. Максимальний елемент осередки сітки за обсягом бака склав 20 мм, для входу і виходу 7 мм, при обсязі бака 140 л і діаметрі входу / виходу 50 мм відповідно. Кількість розрахункових елементів склало 5,5 млн.

Розглядається двофазного середовища повітря-вода розділена вільною поверхнею. Повітря представлений як ідеальний газ. Модель турбулентності SST.

Моделювання течії проводилося як і для загального розрахунку згідно розділу 4.3 в нестационарної постановки (Transient). Час моделювання процесу наповнюваності бака складає 1 сек., і включає наступні етапи роботи

агрегатів системи: початок роботи генератора вакууму, відкриття заслінки приймача відходів, попадання порції води в бак, закриття заслінки.

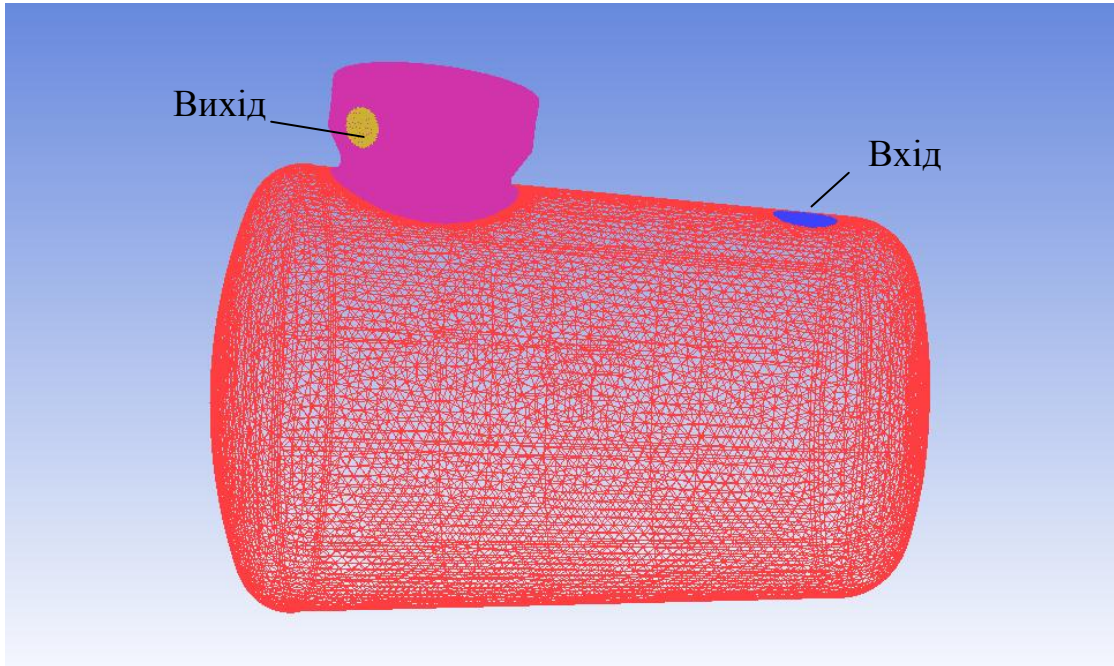


Рис. 4.7. Розрахункова сітка бака відходів.

У початковий момент часу в баку знаходиться певний рівень води, який дорівнює y_h , див. Рис. 4.

Початкові значення вектора швидкості 0 м / с . Початкове значення тиску задається функцією P_{ref} :

$$P_{ref} = \begin{cases} P_w - \text{при } y < y_h \\ P_{in} - \text{при } y \geq y_h \end{cases}$$

де,

$P_{in} = 1,0332 \text{ кг/см}^2$ - тиск для повітря;

P_w - тиск для води, яке визначається через функцію:

$$P_w = P_{in} + (y_h - y) \cdot 1000 \cdot g$$

Початкове значення температури двох фаз $t = 22 \text{ }^\circ \text{C}$. Коефіцієнт об'ємного змісту кожної фази в розрахунковій області визначено через функцію WVF:

$$WVF_{\text{повітря}} = \begin{cases} 0 - \text{при } y < y_h \\ 1 - \text{при } y \geq y_h \end{cases}$$

$$WVF_{\text{води}} = 1 - WVF_{\text{повітря}}$$

На рисунках 4.8 - 4.11 представлена візуалізація процесу створення розрядження в баку при висоті рівня відходів $y_h=400$ мм.

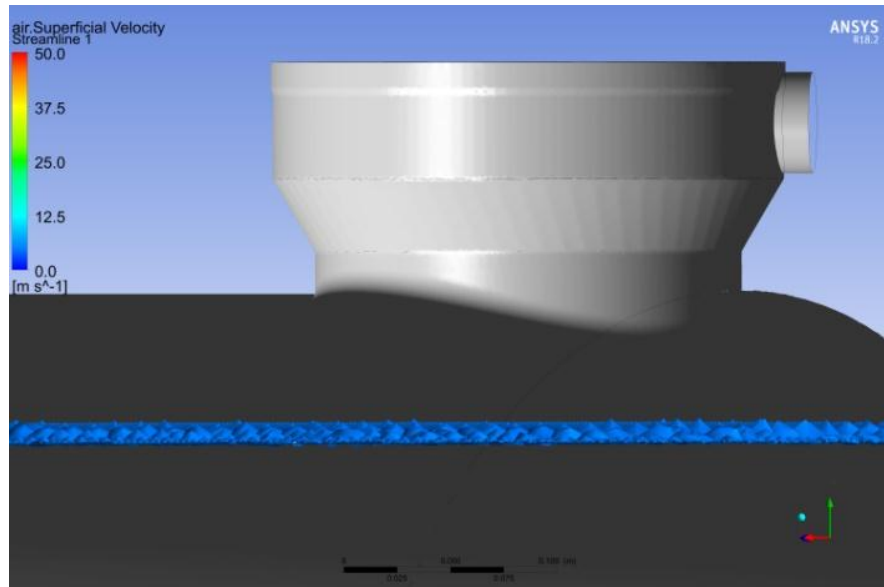


Рис. 4.8. Початковий момент часу.

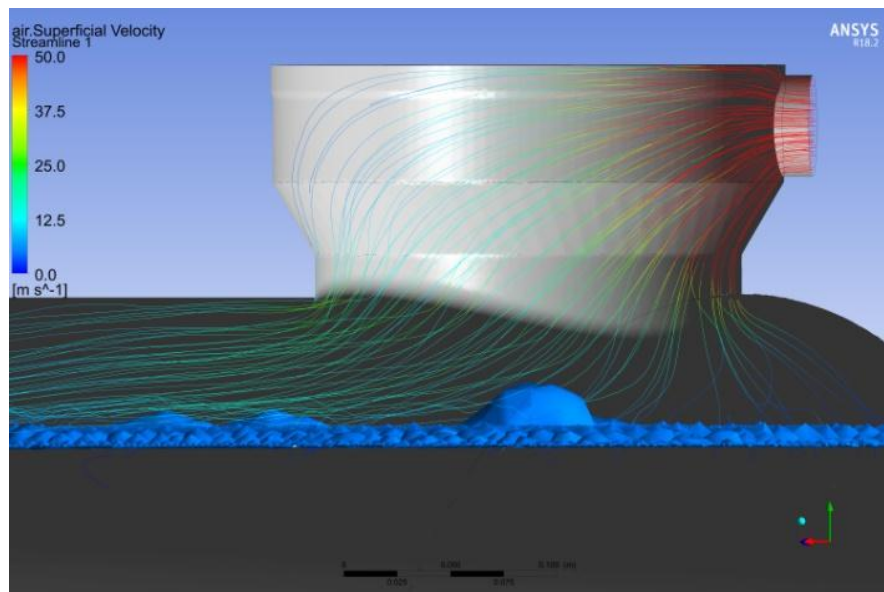


Рис. 4.9. Після моменту включення вакуумного генератора.

Дослідження процесу створення розрядження дозволило встановити, що відрив частинок води (відходів) відбувається через високі швидкості повітря в зазорі між вільною поверхнею і корпусом бака під дією розрядження. При зменшенні площі поперечного перерізу даного зазору,

пов'язаного зі збільшенням рівня відходів в баку, процес відриву відбувається з більшою інтенсивністю.

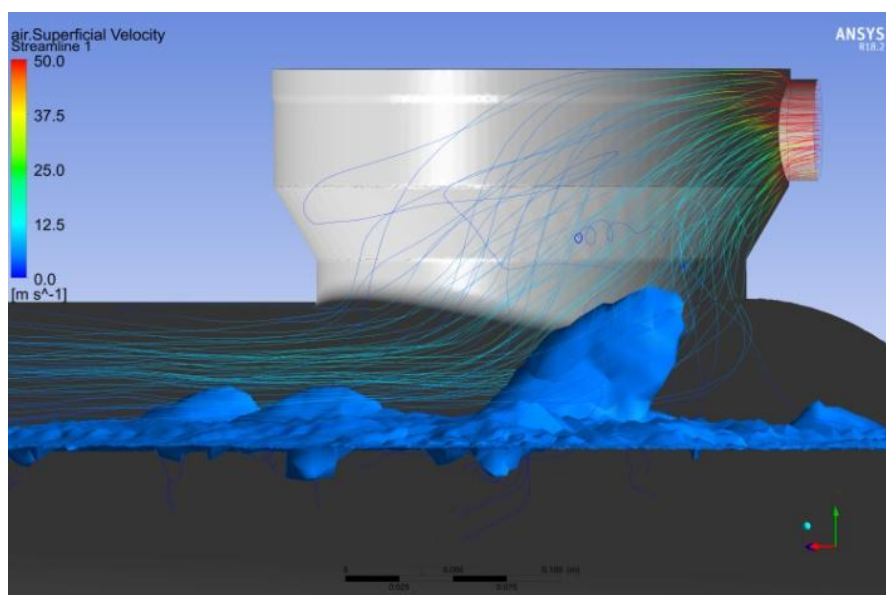


Рис. 4.10. Початок формування відривів.

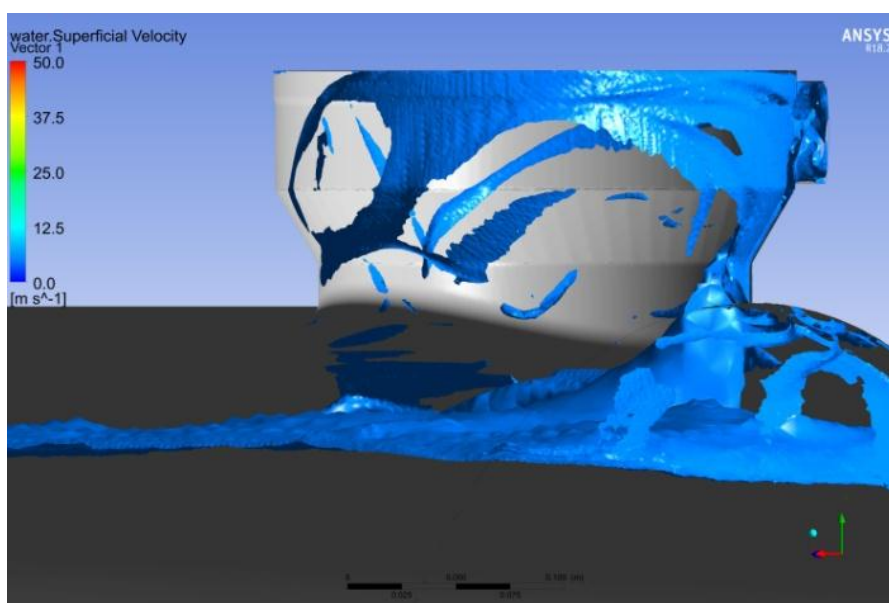


Рис. 4.11. Момент після відключення вакуумного генератора.

Результати чисельного моделювання процесу наповнюваності бака дозволили визначити залежність коефіцієнта об'ємного вмісту води в вихідному трубопроводі від різних значень початкового рівня води в баку [93].

Отримані результати моделювання наведені у таблиці 4.1 та на рисунку 4.12.

Таблиця 4.1

yh, мм	Water volume fraction, %
500	0.00880306
400	0.00247
350	1.05232×10^{15}
300	3.88029×10^{-7}

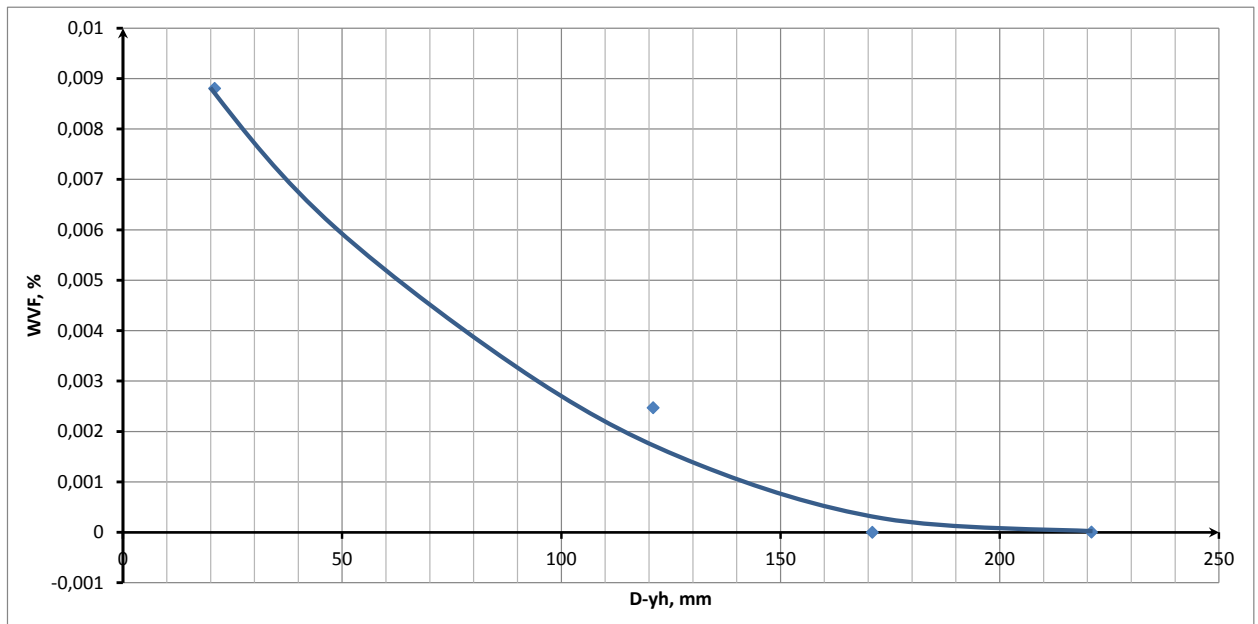


Рис. 4.12. Графік залежності кількості води на виході з бака від зміни висоти зазору повітря.

4.5. Розгляд розрахунків баку відходів

4.5.1. Розрахунок пристрою для гальмування відходів

Для зниження швидкості відходів що потрапляють до баку відходів, запобіганню розбризкуванню, зниження рівня води в повітрі і утворення піни, запобігання забруднення датчиків рівня, яке може привести до появи помилкової індикації заповнення бака на вході у бак встановлюється спеціальний пристрій.

Для забезпечення гальмування потоку відходів при потраплянні до баку відходів розраховуються параметри пристрою використовуючи

розрахунок при поступовому розширенні потоку в трубопроводі від площі S_1 до S_2 , розглянуті в роботі [94].

Пристрій в якому проходить поступове розширення потоку називається дифузор (рис. 4.13).

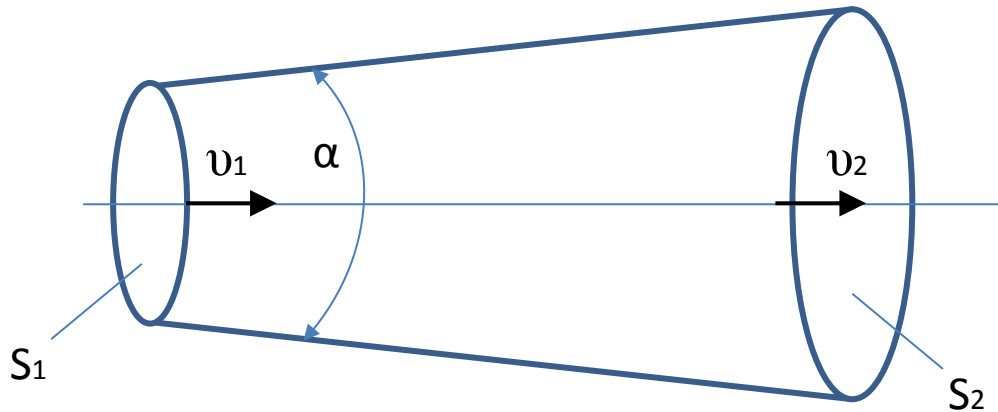


Рис. 4.13. Поступове розширення потоку.

Якщо розширення відбувається поступово, то втрати напору значно зменшуються у порівнянні з раптовим розширенням. При перебігу відходів в дифузорі швидкість потоку поступово зменшується, зменшується кінетична енергія частинок, але збільшується градієнт тиску. При деяких значеннях кута розширення α частинки у стінки не можуть подолати збільшується тиск і зупиняються. При подальшому збільшенні кута частки рідини можуть рухатися проти основного потоку, як при різкому розширенні. Відбувається відрив основного потоку від стінок і вихроутворення. Інтенсивність цих явищ зростає зі збільшенням кута α і ступенем розширення $n = \frac{S_2}{S_1}$.

Повну витрату напору $h_{диф}$ можна умовно розглядати як суму втрат на тертя і розширення:

$$h_{диф} = h_m + h_p \quad (4.3)$$

При невеликих кутах α зростають втрати по довжині, а опір на розширення стає мінімальним. При великих кутах α навпаки зростає опір на розширення.

Витрату напору на тертя визначимо за формулою:

$$h_m = \frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.4)$$

де, λ – коефіцієнт гідравлічного опору (постійний вздовж дифузору).

Витрату напору на розширення визначається також як і при раптовому розширенні (формула Броду) [95, 96], але з поправочним коефіцієнтом k та має формулу:

$$h_p = k \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт k називають коефіцієнтом пом'якшення і для значень кута дифузора α від 5 до 20° можна визначити за наближеною формулою:

$$k = \sin \alpha$$

Враховуючи формули (4.4) та (4.5) і підставивши у вираз (4.3) отримаємо витрати дифузору:

$$h_{\text{диф}} = \xi_{\text{диф}} \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.6)$$

де, $\xi_{\text{диф}}$ – коефіцієнт місцевого опору дифузора і виражається формулою:

$$\xi_{\text{диф}} = \frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + k \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)^2$$

4.5.2. Вибір вакуумного генератора

Одним з важливих показників роботи вакуумної системи є час відкачки заданого об'єму до потрібного рівня розрядження. З огляду на роботу системи видалення відходів на літаку цей показник має суттєвий вплив на розрахунок системи.

Створення перепаду тиску для роботи системи на висоті здійснюється за рахунок перепаду тисків між кабіною та атмосферою. При польоті на низьких висотах та на землі необхідний додатковий пристрій, що створить

необхідне розрядження системи до заданого, яке забезпечує задовільне видалення відходів від ємності збору до баку відходів.

Таким пристроєм є вакуумний генератор (або насос) який забезпечує і потрібний рівень розрядження і потрібний час відкачки заданого об'єму.

Існують різні типи насосів як за принципом дії так і за рівнем створення розрядження. На рисунку 4.14 представлена класифікація типів насосів.

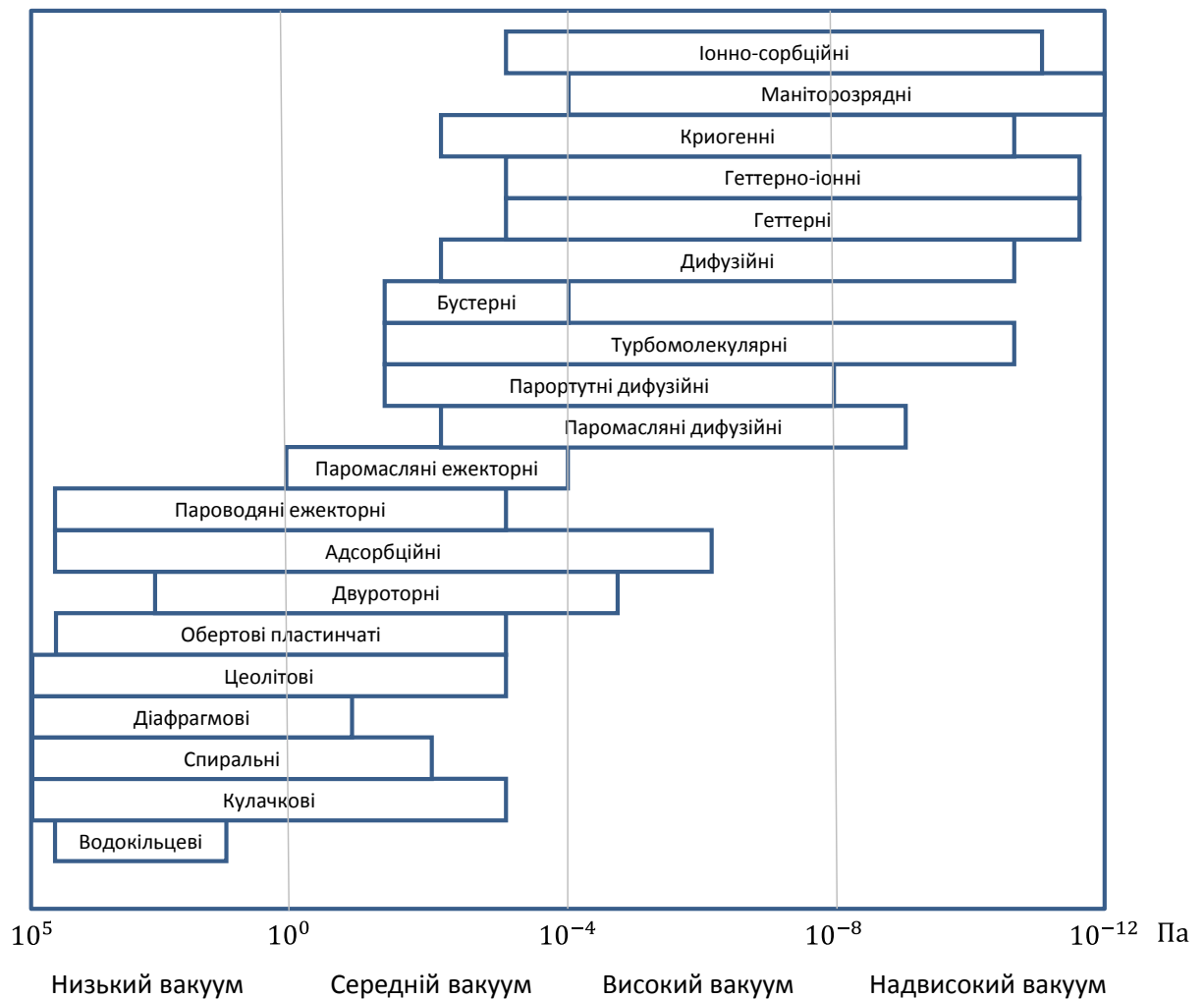


Рис. 4.14. Типи вакуумних насосів та рівень створення розрядження.

Розрахунок або підбір насосу виконується на основі технічних параметрів основними з яких є:

- потужність пристрою;
- ступінь розрядження (максимально можливе значення тиску);
- швидкість роботи пристрою, час розрядження до заданого рівня.

Алгоритм вибору вакуумного насосу наведено на рисунку 4.15 [97].

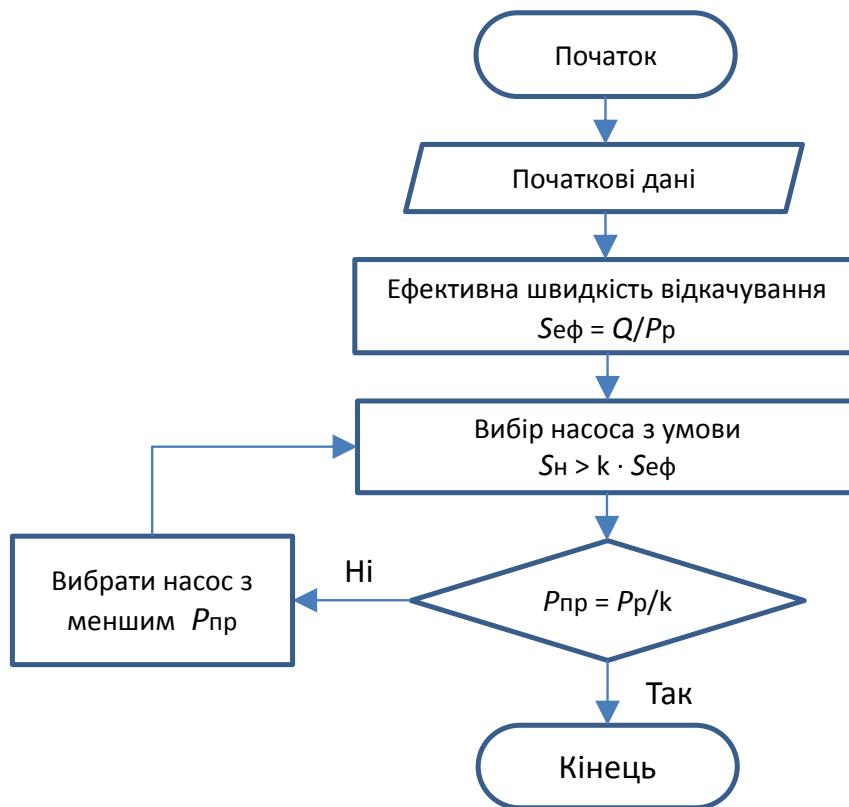


Рис. 4.15. Алгоритм вибору вакуумного насосу.

Для вибору типу насосу потрібно визначити ефективну швидкість відкачки розріджуваного об'єму системи $S_{эф}$ [98]:

$$S_{эф} = \frac{Q}{P_p}$$

де, Q - потік газу що потрапляє у вакуумну систему, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$;

P_p - робочий тиск у вакуумній системі, Па.

Далі визначається номінальна швидкість відкачки вакуумного насоса S_n :

$$S_n = k \cdot S_{эф}$$

де, k - коефіцієнт використання насосу.

Вибір типу насосу визначаємо з вимоги:

$$P_{пр} < \frac{P_p}{k}$$

де, $P_{пр}$ - граничний тиск насосу, Па.

Розрахунок насосу приведено у [98]. Час відкачки відходів визначимо для квазістаціонарного режиму роботи вакуумної системи для трубопроводу з розподіленим обсягом без урахування газовиділення з його стінок. З одного боку трубопровід закритий заглушкою, з іншого приєднаний до насоса з великою швидкістю відкачки, тобто у відкритому перерізі трубопроводу тиск можна вважати рівним нулю.

Різниця газових потоків, що проходять через перетину трубопроводу, віддалених на dx , визначають швидкістю видалення газу:

$$F dx \frac{\partial p}{\partial t} = -Ul \frac{\partial p}{\partial x} + Ul \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} dx \right) \quad (4.7)$$

де F - площа поперечного перерізу трубопроводу; $-U$ - продуктивність l - довжина трубопроводу.

Записаний вираз після скорочення можна представити у вигляді

диференціального рівняння $\frac{\partial p}{\partial t} = D \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$ ($De \rightarrow D = Ul/F$), що має наступні

початкові і граничні умови: $t = 0, p = p_1, x = 0, dp/dx = 0; x = l, p = 0$.

Рішення цього рівняння:

$$p = p_1 \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k-1}}{2k-1} \cos\left(\frac{\pi}{2}(2k-1)\frac{x}{l}\right) \exp\left(-\frac{\pi^2}{4}(2k-1)^2 \tau\right)$$

де $\tau = Dt/l^2 = \frac{Ut}{V}$; $V = Fl$ – об'єм трубопроводу.

Для $\tau \geq 0.1$ и $x=0$ рівняння (4.7) можна спростити:

$$p \approx p_1 \frac{4}{\pi} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} \tau\right)$$

Звідси впливає вираз для часу зниження тиску від до в закритому перетин трубопроводу: від p_1 до p_2 .

Звідси впливає вираз для часу зниження тиску від до в закритому перетин трубопроводу: від p_1 до p_2 в закритому перетині трубопроводу:

$$\Delta t \cong \frac{V}{U} \lg \frac{p_1}{p_2}.$$

У випадку, коли U залежить від тиску p ,

$$\Delta t = V \left(\frac{1}{U_1} \lg \frac{p_1}{p_2} + \dots + \frac{1}{U_i} \lg \frac{p_i}{p_{i+1}} + \dots + \frac{1}{U_n} \lg \frac{p_n}{p_{n+1}} \right)$$

де $U_1, \dots, U_i, \dots, U_n$ – середнє значення у відповідних діапазонах тисків.

Продуктивність вакуумного насоса при відкачуванні обсягу за певний час, то шляхом нехитрих математичних перетворень отримуємо:

$$U = \frac{V}{t} \lg \frac{p_1}{p_2}$$

4.6. Висновки з розділу 4

1. Розроблена розрахункова модель процесу наповнюваності бака зберігання відходів, за допомогою програмного забезпечення Ansys CFX.

2. За результатами чисельних досліджень визначені мінімально допустимі значення товщин повітряного зазору між поверхнею відходів та баком для різних діаметрів баку, при якому концентрація відходів у магістралі вакуумування не перевищить критичних значень.

3. За допомогою чисельного методу визначено, що при вакуумізації системи і баку відходів потрапляння відходів у магістраль вакуумування відбувається через значну інтенсифікацію процесу відриву часточок відходів при зменшенні товщини повітряного зазору у наслідок більших швидкостей повітряних потоків, що виникають під час процесу вакуумізації.

4. Визначена залежності кількості води на виході з бака від зміни висоти зазору повітря, і граничний рівень відходів при якому починає відбуватися відділення фракції від поверхні.

5. Отримані результати за допомогою чисельного методу дослідження показали можливість і необхідність застосування програмного забезпечення Ansys CFX при проектних роботах по створенню бака системи видалення відходів.

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ

5.1. Методики оцінки основних характеристик системи.

Методи фізичного експерименту продовжують відігравати суттєву роль в створенні авіаційної техніки, тому що вони дають найбільш повне і достовірне уявлення про досліджувані явища.

Для дослідження системи видалення відходів були розроблені методики які включають в себе випробування бака відходів на спеціальному дослідному стенді та повну і всебічну перевірку бака і системи в комплексі на працездатність і підтвердження заявленим характеристикам у складі дослідного літака.

При розробці методик були використані джерела [99, 100], та рекомендації розробників агрегатів системи.

5.2. Стендові випробування бака відходів.

Стендові випробування бака відходів проводилися в два етапи: на першому етапі випробування процесів наповнюваності проводилися за допомогою робочого середовища - вода. На другому етапі випробування проводилися за допомогою робочого середовища - імітатора відходів.

Для проведення натурних випробувань бака був розроблений функціональний стенд, для якого був спроектований спеціальний бак відходів.

Принципова схема стенда представлена на рисунку 5.1. До складу стенду входять наступні агрегати: 1 - приймач відходів (блок унітазу), 2 - Розділовий клапан, 3 - Заслінка, 4 - Блок управління клапанами; 5 Кнопка змиву; 6 - Контролер управління системою; 7 - Бак зберігання відходів; 8 - Датчик рівня $\frac{3}{4}$ бака; 9 - Датчик рівня 100% бака; 10 - Сепаратор; 11 - Розсікач відходів; 12 - Клапан зливу відходів; 13 - Генератор вакууму; 14 - Пусковий реле генератора вакууму; 15 - трубопровід видалення відходів; 16 -

трубопровід вакуумізації (плексиглас); 17 - Персональний комп'ютер; 18 - Блок живлення.

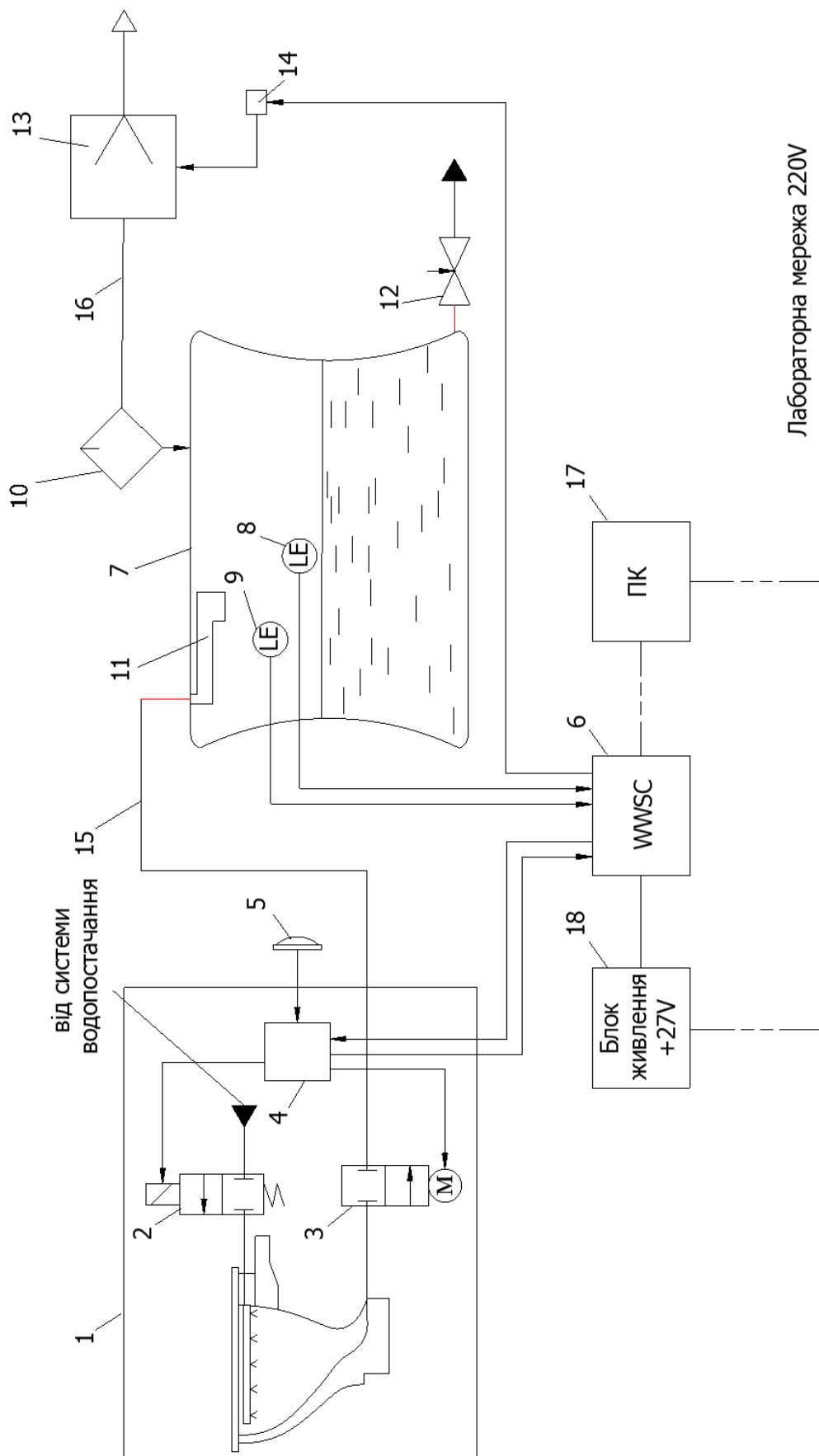


Рис. 5.1. Принципова схема випробувального стенду баку відходів.

Експериментальний бак 7 виготовлений на базі штатного бака, і має відмінності в частині наявності вбудованих оглядових вікон, для забезпечення контролю і візуального спостереження за процесом випробування.

Трубопровід 16 системи вакуумізації, що з'єднує бак з генератором вакууму, виконаний з прозорого плексигласу для візуального спостереження.

Для проведення випробувань був розроблений план експерименту, що дозволяє всебічно оцінити можливості бака і його характеристики в частині наповнюваності; оцінки коректності розміщення датчиків; ефективності: розсікача відходів, розміщення форсунок промивання бака, повного видалення (слива) відходів з бака при його очищенні.

Проведені стендові випробування підтвердили закладені при проектуванні характеристики.

На рисунку 5.2 представлений випробувальний стенд бака відходів.

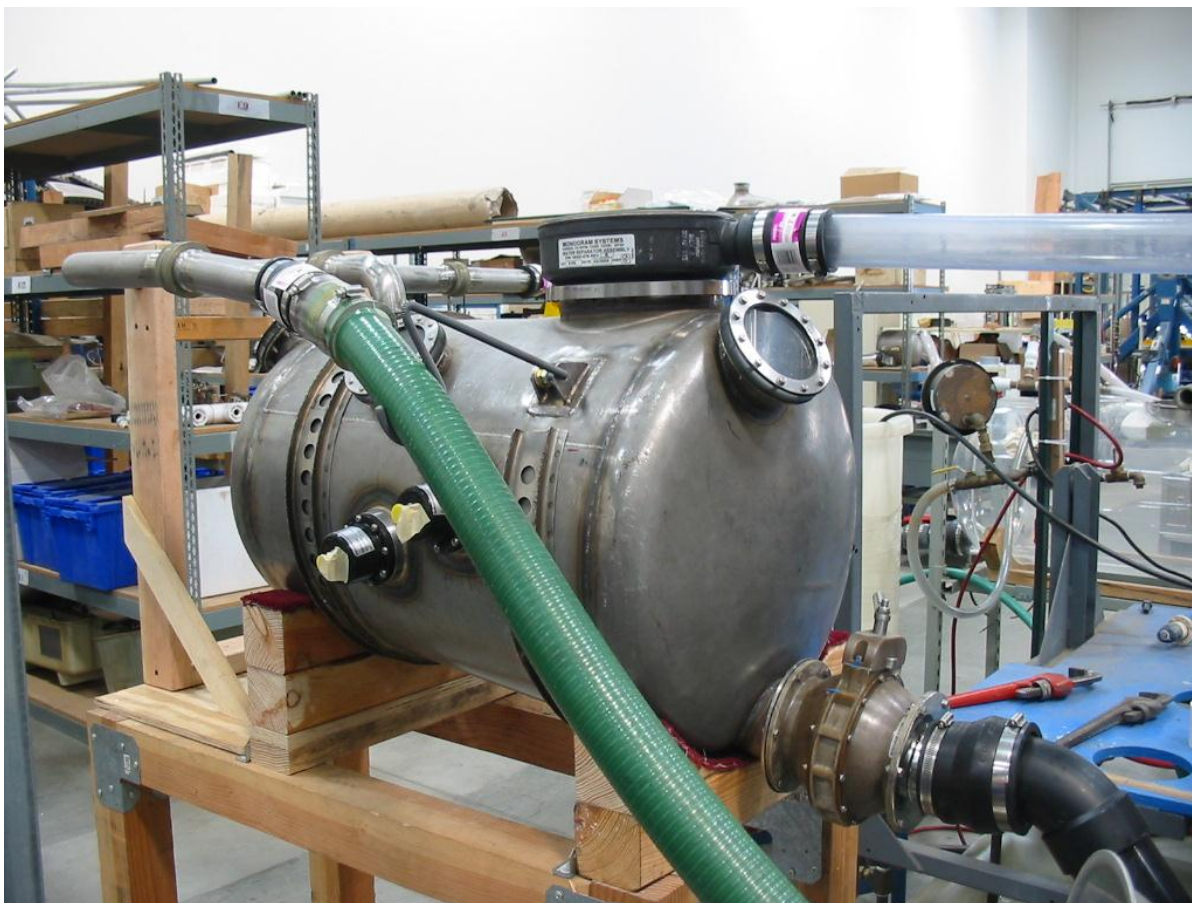


Рис. 5.2. Випробувальний стенд бака відходів літака Ан-148-100.

Метою дослідження було проведення наповнення бака відходів «умовними відходами», з контролем наповнення баку, та контролем вихідного трубопроводу системи вакуумізації.

Дослідження наповнюваності баку відходів проводилося візуально, через спеціальні оглядові вікна розташовані на дослідному баку по одному з кожної сторони баку, а також за допомогою датчиків рівня розташованих у баку, рівень відходів спостерігався через прозору технологічну заглушку баку. На рисунку 5.3 показано момент заповнення баку відходів.



Рис. 5.3. Частково заповнений бак імітатором відходів.

На рисунку 5.4 представлений момент повного заповнення баку відходами за допомогою датчику «повний бак», який інформує систему про подальшу неможливість експлуатації системи та відключає блок керування на блоці унітазу, тим самим унеможлиблює злив.



Рис. 5.4. Заповнений на 100% бак відходів

На рисунку 5.5 показана частина трубопроводу вакуумізації на виході з сепаратора, який знаходиться на баку відходів.



Рис. 5.5. Трубопровід вакуумізації при 100% заповненому баку.

При повному заповненні баку в процесі вакуумізації прозорий трубопровід не має слідів потрапляння рідини і свідчить про відповідність розрахунку висоти рівня відходів і коректний вибір місця розташування датчика 100%.

5.3. Комплексні льотні випробування системи.

Згідно із запропонованою методикою були виконані комплексні випробування системи на дослідному літаку.

Роботи виконувалися у декілька етапів і склалися з наземних та льотних випробувань, у тому числі у різних кліматичних і географічних умовах.

Першим етапом випробувань були наземні випробування, які виконувалися на льотно-випробувальній і доводочній базі ДП «Антонов» у м. Гостомель.

Даний етап охоплював максимально можливий комплекс перевірок та випробувань. Так були виконані основні роботи по:

- включенню системи;
- перевірці «сухого» зливу (без води) кожного з блоків прийому відходів (унітазних модулі);
- перевірці зливу з водою кожного блоків прийому відходів, а також сумісна їх робота;
- перевірці зливу з водою та імітатором відходів кожного блоків прийому відходів, а також сумісна їх робота;
- перевірка роботи вакуумного генератора та достатності потужності для зливу відходів і потрапляння в бак;
- роботу блоку керування системою;
- наповнюваність баку відходів та коректну роботу датчиків рівня;
- перевірці відсутність води чи продуктів імітатору відходів у системі вакуумізації;
- оцінка роботи обслуговування системи (злив відходів, промивка баку);
- оцінка повного зливу відходів з баку без остатку.

Другим етапом випробувань були льотні випробування які охоплювали оцінку коректності роботи системи на різних висотах польоту літака і у різних режимах роботи, де були підтверджені заявлені характеристики.

На третьому етапі система була піддана льотним випробуванням які проводилися у різних кліматичних і географічних умовах. В процесі випробувань система видалення відходів підтвердила свою працездатність та експлуатабельність (спека (м Карші + 45С, Узбекистан), холод, (Якутськ, Нерюнгрі -52, Росія), високогір'ї (Гюмрі (1525м), Вірменія , Ла-Пас (4100 м), Колумбія)).

5.4. Дослідження поля температур в зонах розміщення агрегатів системи відходів і методи забезпечення їх потреб значень.

Боротьба з мінусовими температурами на борту літака велася у всі часи і у різних системах які використовують рідину, обладнання чи елементи працездатність котрих забезпечується при плюсових температурах.

Одні з систем використовують для покращення характеристик обігрів електричний або повітряний – протикригова система. Інші використовують допоміжні присадки у рідинах для зменшення температури замерзання – паливна система, чи використовують спеціальні рідини - гідравлічна система. Особливу увагу приділяється системі кондиціонування повітря яка забезпечує придатні поля температур для комфортних умов пасажирів та екіпажу на борту літака.

Експлуатація літака у широкому діапазоні температур, знаходження відходів (частину з яких складає рідина, у тому числі вода) на борту обумовлюють підтримку температури необхідну для підтримання працездатності системи видалення відходів. Так як основна частина системи видалення відходів (трубопроводи, бак відходів) знаходиться у зонах де цілеспрямовано не підтримуються температурні режими (підпільний простір фюзеляжу) обумовлює застосування спеціальних засобів для підтримки прийнятної температури задля забезпечення функціонування системи.

З часу встановлення на літаках систем видалення відходів ведеться боротьба із заморожуванням відходів та води в елементах і агрегатах цих систем. Негативні температури навколишнього повітря можуть привести до замерзання в трубопроводах і агрегатах систем видалення відходів, що може привести до порушення працездатності цих систем або навіть руйнування їх елементів. Елементи і агрегати систем видалення відходів зазвичай розташовані в підпільному просторі, чи відсіках літака де обігрів потрапляє опосередковано, або зовсім відсутній. Тепловий стан підпілля також істотно впливає на поле температур в пасажирському салоні. У літаках з низьким розташуванням крила (низкоплан) в підпільному просторі розташовуються елементи систем підготовки і установки кондиціонування повітря, що забезпечує позитивні температури розташованих в цій же зоні трубопроводів і агрегатів систем видалення відходів. Для літаків з високим розташуванням крила (високоплан) організовують обігрів підпільного простору за рахунок установки тепловиділяючого електрообладнання, установки спеціальних електронагрівачів або систем обігріву з використанням гарячого повітря, що відбирається від двигунів. Використання систем примусового обігріву збільшує масу літака і знижує його економічні показники.

Проектом літака Ан-148 передбачався обігрів підпільного простору за рахунок використання тепла відпрацьованого повітря системи кондиціонування і посилення теплоізоляції фюзеляжу. Повітря, що надходить з коробів системи кондиціонування, через спеціальні отвори в підлозі повинен надходити в підпільне простір і через випускні клапани в носовій і хвостовій частин фюзеляжу викидатися в атмосферу, забезпечуючи позитивну температуру елементів підпільного простору і розташованого обладнання [101].

Для дослідження теплового стану підпілля один з дослідних літаків Ан -148 був обладнаний системою датчиків температури, розташованих в районі розміщення трубопроводів і агрегатів систем водопостачання та видалення відходів.

Схема розміщення елементів систем водопостачання та видалення відходів і розташування датчиків приведена на Рис. 5.6.

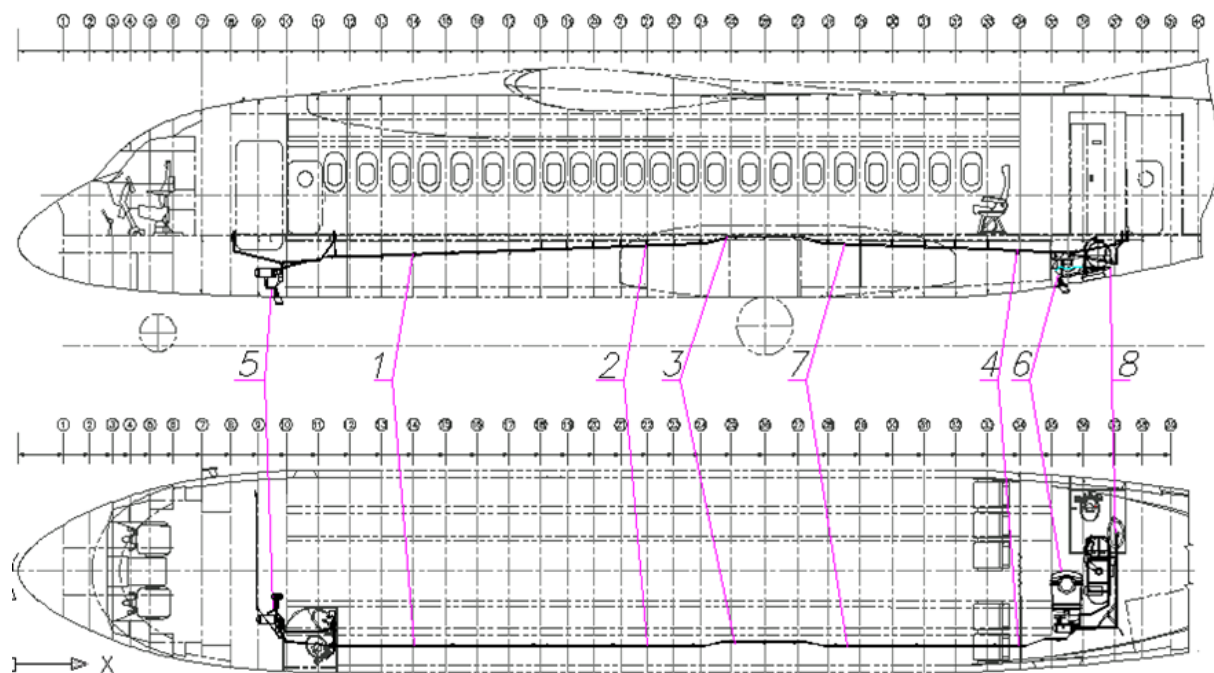


Рис. 5.6. Схема розміщення елементів систем водопостачання та видалення відходів і розташування датчиків.

Попередні льотні випробування показали, що мінімальна температура повітря в досліджуваних зонах досягає мінус 17°C.

За результатами аналізу конструкції були зроблені висновки про те, що в процесі виготовлення дослідних екземплярів літака були допущені відхилення, які призвели до порушення характеристик теплоізоляції і зниження герметичності фюзеляжу, особливо впливають на ступінь герметичності фюзеляжу дефекти виготовлення і підгонки великої кількості дверей і люків. Витоку повітря через нещільності дверей порушують передбачене проектом переміщення повітряних мас.

Після усунення деяких дефектів теплоізоляції значення мінімальної температура повітря підвищилася до мінус 12°C. (Зведені результати вимірів температур у точках наведені в таблиці 5.1).

Таблиця 5.1

Час/Точка заміру	5	1	2	3	7	4	6	8
16:50	5	9	10	12	26	8	1	3
17:00	2	6	7	16	25	6	-2	-3
17:15	-1	2	4	14	23	4	-5	-6
17:25	-3	1	2	13	22	3	-6	-8
17:35	-3	1	1	12	20	2	-6	-9
17:45	-4	0	-1	11	20	2	-7	-10
18:00	-6	-2	-3	9	18	0	-9	-12
18:25	-6	-2	-4	6	17	0	-8	-9
18:49	-6	-2	-6	2	16	-2	-9	-9
19:10	-7	-4	-8	-1	13	-2	-11	-11
19:45	-7	-4	-8	-1	13	0	-11	-12

На Рис. 5.7 наведені результати випробувального польоту після доробки теплоізоляції.

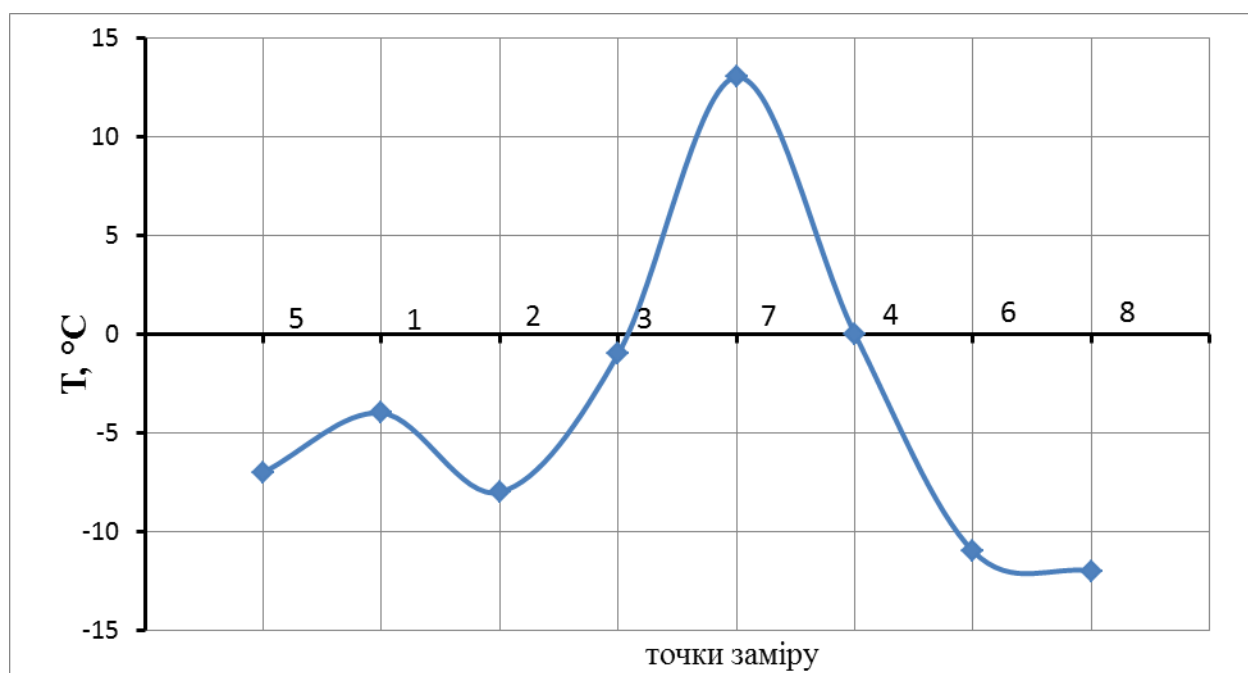


Рис.5.7. Графік залежності температури повітря по довжині літака після доопрацювання.

Представлений графік залежності температури повітря по довжині літака в кінці польоту на крейсерській висоті ($H = 11600$ м) при постійній температурі зовнішнього повітря мінус 55°C . На Рис. 5.8 показаний графік

зміни температури повітря в критичній точці (зона датчика № 8) протягом польоту на крейсерській висоті (з 16 год 50 хв до 19 год 45 хв).

Аналіз льотних даних показав що тепловий баланс у зонах розташування системи не достатній і є необхідність підвищення ефективності обігріву підпільного простору шляхом зміни конструкції літакових систем.

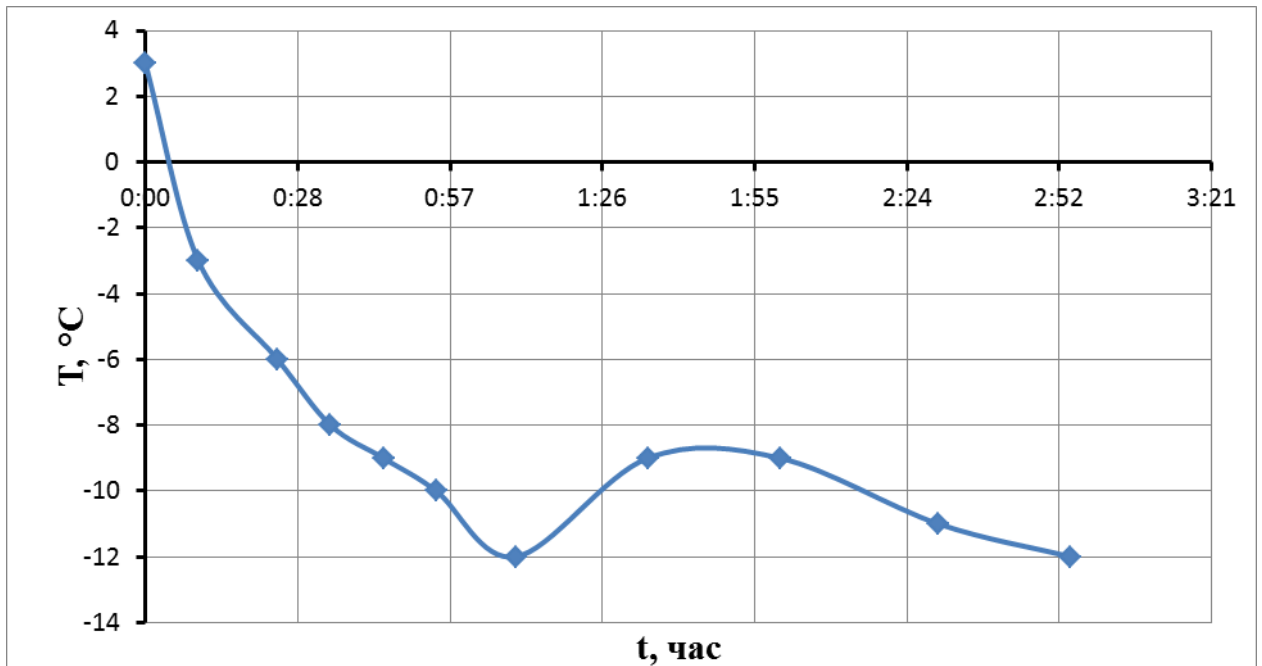


Рис. 5.8. Графік зміни температури повітря в критичній точці.

Для підвищення ефективності охолодження і розігрівання салону і кабіни екіпажу на землі і наборі висоти в системі кондиціонування повітря застосовується система рециркуляції. На крейсерській висоті і на посадці рециркуляція повинна бути відключена. Ефект рециркуляції полягає в відсмоктуванні через спеціальні коробки, розташовані уздовж бортів, повітря з салону за допомогою потужного вентилятора і підмішування цього повітря в змішувачі до повітря, що надходить від установок кондиціонування. Величина підмішано повітря становить близько 30% від величини витрати кондиціонованого повітря. Доопрацювання системи рециркуляції з введенням між вентилятором і зворотним клапаном відгалуження, обладнаного колектором і запірним клапаном, дозволила б примусово

направити частину повітря в підпільний простір. Розташування колектору безпосередньо вздовж трубопроводів і агрегатів систем водопостачання та видалення відходів підвищило б ефективність використання повітря з метою їх обігріву. Така схема була запропонована для доопрацювання літака.

Система примусової вентиляції підпільного простору повітрям з салону була спроектована і впроваджена на одному з дослідних екземплярів літака Ан-148. Як колекторів розподілу повітря уздовж трубопроводів і агрегатів систем водопостачання та видалення відходів були використані пластикові рукава з виконаними в них отворами малого діаметру. Система обладнана пультом і пристроєм автоматичного управління, пов'язаних зі спеціальним датчиком температури, встановленим в критичній зоні підпільного простору і бортовими системами, які передають цьому пристрою інформацію про висоту польоту і обтисненні шасі, а також відображають сигнальну інформацію, передану цим пристроєм. В автоматичному режимі на землі і наборі висоти забезпечується включення рециркуляції з метою підвищення ефективності охолодження і розігрівання салону і кабіни екіпажу. Зона підпільного простору на землі, при необхідності, прогрівається наземними засобами. Після зльоту обігрів підпільного простору повинен включатися, якщо температура в будь-якій з зон підпільного простору $t \leq 5^{\circ}\text{C}$ або висота польоту $H \geq 8000$ м. Закриття - якщо температура в двох зонах підпільного простору $t \geq 15^{\circ}\text{C}$ або літак на землі. Також забезпечується можливість ручного включення, як рециркуляції, обігріву підпільного простору так і їх відключення. Крім цього передбачається сигналізація про небезпечне зниження температури («МАЛА ТЕМПЕР підпілля»), якщо температура в будь-якій з зон підпільного простору $t \leq 0^{\circ}\text{C}$. Якщо температура в будь-якій з зон підпільного простору $t \leq -2^{\circ}\text{C}$ повинен видаватися сигнал «обмерзнув ВОДОВАК СИСТ» з рекомендацією злити воду із системи водопостачання.

Доопрацьований літак був випробуваний у польоті в умовах близьких до умов випробувального польоту після доробки теплоізоляції (див. Рис. 5.7, рис. 5.8). Порівняльні результати наведено на Рис. 5.9.

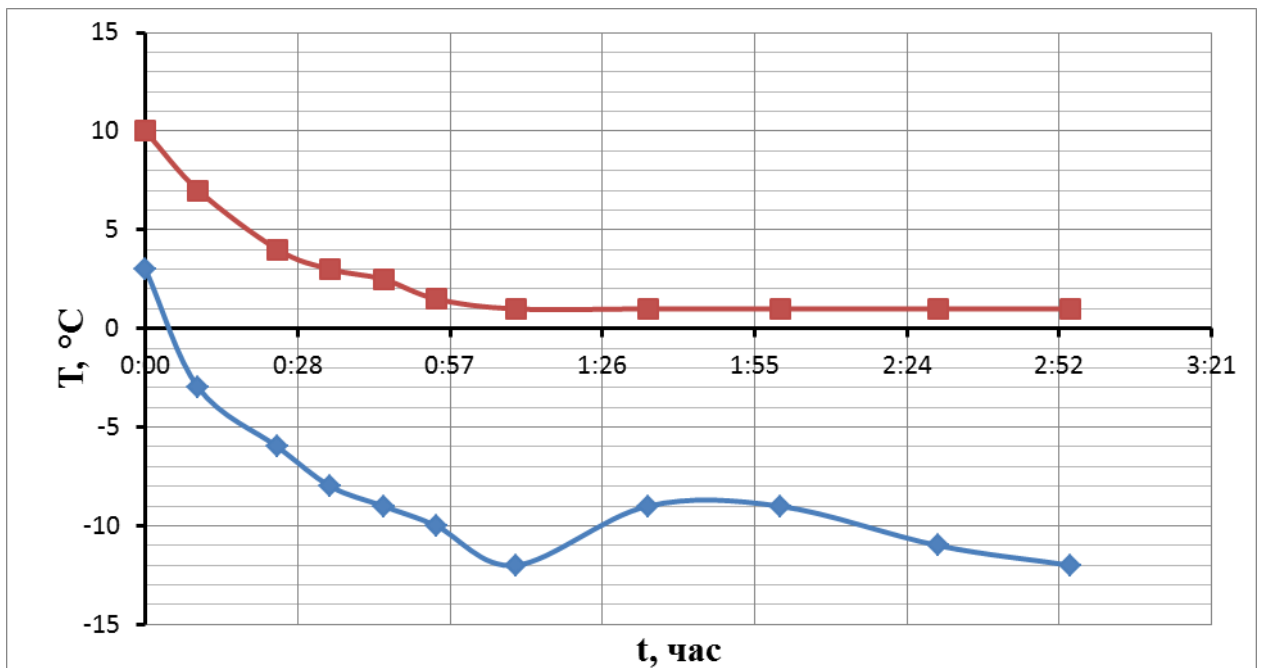


Рис. 5.9. Порівняльні графіки зміни температури повітря в критичній точці без і з вентиляцією підпільного простору.

Використання рециркуляції системи кондиціонування повітря для вентиляції підпільного простору з метою захисту трубопроводів і агрегатів систем водопостачання та видалення відходів показало свою ефективність. Температура повітря в критичних зонах за порівнянні проміжки часу знижується меншими темпами (з $+3^{\circ}\text{C}$ до мінус 12°C без доопрацювання і з $+10^{\circ}\text{C}$ до $+1,5^{\circ}\text{C}$ з вентиляцією підпільного простору). Доведення теплоізоляції фюзеляжу до проектних показників і усунення дефектів проектування і виготовлення дверей і люків літака повинно значно поліпшити теплові характеристики підпільного простору, стабільно забезпечуючи позитивні температури повітря в зонах установки елементів і агрегатів системи видалення відходів.

5.5. Висновки з розділу 5

1. Розроблено схему та конструкцію випробувального стенду для проведення фізичного експерименту бака системи видалення відходів.

2. Виконано дослідні випробування бака відходів, які підтвердили достатню збіжність результатів чисельного моделювання з результатами випробувань.

3. Проведені дослідні випробування бака відходів підтвердили правильність компонування баку та вибору місць розташування агрегатів.

4. Наземні та льотні випробування підтвердили розрахункові характеристики системи та працездатність у всьому експлуатаційному діапазоні роботи літака.

5. Проведено спільні дослідження полів температур обладнання СВВ та повітря в зонах розміщення системи (в умовах низьких температур) для прийняття заходів кригоутворення відходів у баку і трубопроводах системи. Розроблено комплекс заходів для забезпечення прийнятних полів температур і надійного виконання системою видалення відходів своїх функцій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті наукових досліджень вирішено науково-практичне завдання розробки методик проектування та розрахунку СВВ видалення відходів для пасажирських літаків, які відображають поетапний алгоритм розробки СВВ на етапах науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

1. Запропонована і апробована методика проектування СВВ вакуумного типу для пасажирських літаків для систематизації та ієрархічного представлення процесу проектування, яка враховує особливості процесу розробки на етапах проектування системи, та забезпечує прийняття концептуальних рішень для реалізації проекту та виготовлення СВВ.

2. Запропонована методика та комплекс програмних і технічних засобів розрахунку СВВ вакуумного типу для пасажирських літаків, що забезпечує отримання повних і якісних характеристик системи.

3. Розроблена математична модель квазістаціонарних газодинамічних процесів двофазної течії, що протікають при видалення відходів в трубопроводах системи, за допомогою якої визначені конструктивні характеристики трубопроводів СВВ на літаку Ан-148.

4. Розроблена математична модель нестационарних газодинамічних процесів, що протікають у баку зберігання відходів, яка реалізована за допомогою програмного забезпечення Ansys CFX, та за допомогою якої досліджено процеси наповнюваності та вакуумізації баку і визначено залежність коефіцієнта об'ємного вмісту води в вихідному трубопроводі від різних значень початкового рівня води в баку.

5. Виконана апробація математичної моделі баку відходів літака Ан-148, для чого розроблено конструкцію випробувального стенду для проведення фізичного експерименту баку СВВ. Проведено натурні випробування окремих агрегатів і системи видалення відходів в цілому і отримані результати, які підтвердили відповідність отриманих розрахункових характеристик і свою працездатність в складі об'єкта. При

порівнянні результатів фізичного експерименту і чисельного дослідження встановлено, що вони співпадають з достатньою точністю.

6. Виконано аналіз існуючих систем видалення відходів зокрема вакуумного типу та визначено критерії та вимоги до розробки системи, виконаний аналіз літературних джерел по темі створення та розробки систем видалення відходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕЛЛЕЛ

1. How Airplane Toilets Work. [Електронний ресурс] URL: <https://www.aircraftcompare.com/how-airplane-toilets-work/>.
2. United States Patent № US3922730A Recirculating toilet system for use in aircraft or the like / James M Kemper. Publication 02.12.1975. [Електронний ресурс] URL: <https://patents.google.com/patent/US3922730A/en>.
3. Проектирование самолетов: Учебник для вузов / Егер С.М. и др.; под. ред. С.М. Егера. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 616 с.
4. Торенбик Э. Проектирование дозвуковых самолетов / пер. с англ. Е.П. Голубкова. М.: Машиностроение, 1983. 648 с.
5. Бадягин А.А., Мухамедов Ф.А. Проектирование легких самолетов. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
6. Проектирование гражданских самолетов: Теории и методы / Катырев И.Я., и др.; Под ред. Г.В. Новожилова. М.: Машиностроение, 1991. 672 с.
7. Основы изобретательской деятельности: Учеб. Пособие / Гребеников А.Г., Мороз П.Ф., Мялица А.К., Фролов В.Я. Х.: Гос. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 1999. 434 с.
8. Горощенко Б.Т., Дьяченко А.А., Фадеев Н.Н. Эскизное проектирование самолета. М.: Машиностроение, 1970. 330 с.
9. Стинтон П. Проектирование самолетов / Пер. с англ. Под ред. В.Д. Мыслинского. К.: КР ВЦП, 1986. 763 с.
10. Егер С.М., Матвеев А.М., Шаталов И.А. Основы авиационной техники: Учебник. Под ред. И.А. Шаталова. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Изд-во МАИ, 1999. 576 с.
11. Roskam J. Airplane Design. In VIII Parts. Kansas: DARcorporation, 2017. Part II: Preliminary Configuration design and Integration of the Propulsion System. 324 p.

12. Теория и практика проектирования пассажирских самолетов: Сб. науч. трудов. М.: Наука, 1976. 440 с.
13. Lloyd R. Jenkinson, Paul Simpkin, Darren Rhodes. Civil Jet Aircraft Design. London: Arnold, 1999. 444 с.
14. Самойлович О.С. Формирование области существования самолета в пространстве обобщенных проектных параметров. М.: МАИ, 1994. 55 с.
15. Проектирование самолетов / Гребеников А.Г. и др.; Лабораторный практикум. Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2002. 176 с.
16. Raymer D.P. Aircraft Design: A Conceptual Approach. 6th ed. AIAA education series. Washington, D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2018. 1062 p.
17. Кашин Г.М., Пшеничников Г.И., Флеров Ю.А. Методы автоматизированного проектирования самолета. М.: Машиностроение, 1979. 168 с.
18. Осин М.И. Методы автоматизированного проектирования летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1984. 168 с.
19. Проектирование самолетов / Бадягин А.А., и др.; М.: Машиностроение, 1972. 516 с.
20. Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.С. Основы автоматизированного проектирования самолетов: Учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов М.: Машиностроение, 1986. 232 с.
21. Вейцбаум Д. Возможности вычислительных машин и человеческий разум / пер. с англ. И.Б. Буревича, под ред. А.Л. Горелика. М.: Радио и связь, 1982. 368 с.
22. Роджерс Ф. Дж. ИБМ. Взгляд изнутри: Человек – фирма – маркетинг / пер. с англ. При участии Р.Л.Шука. М.: Прогресс, 1990. 280 с.

23. Сутугин Л. И. Проектирование частей самолета. Оборонгиз, 1947. 651 с.
24. Варфел Т. Прототипирование. Практическое руководство / пер. с англ. И. Лейко. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 240 с.
25. Гринченко С.Н. Метод “проб и ошибок” и поисковая оптимизация: анализ, классификация, трактовка понятия «естественный отбор». Электронный журнал «Исследовано в России», 2003. С. 1228-1271.
26. Веников В.А. Теория подобия и моделирование. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Высшая школа, 1976. 479 с.
27. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / Волкова В. Н., и др.; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. М. : Издательство Юрайт, 2015. 449 с.
28. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
29. Уайлд Д. Оптимальное проектирование / пер. с англ. В.С. Данилина и др.; под ред. В.А. Арчегова. М.: Мир, 1981. 272 с.
30. Хорошев А.Н. Основы системного проектирования технических объектов. М.: Машиностроение, 2011. 125 с.
31. Вермишев Ю.Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем. - М.: Радио и связь, 1982. 152 с.
32. Суркова Н.Е. Остроух А.В. Методология структурного проектирования информационных систем: Монография. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2014. 190 с.
33. Юревич Е.И. Проектирование технических систем. Учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский гос. техн. ун-т., 2001. 81с.
34. Бурдаков С.Ф. Математические модели и идентификация роботов с упругими элементами. СПб.: Санкт-Петербургский гос. техн. ун-т., 1990. 95 с.

35. Самарин А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлитература, 2001. 320 с.
36. Герасимчук В. Г., Розенплентер А. Е. Економіка та організація виробництва: підруч. К. : Знання, 2007. 678 с.
37. Гольдштейн Г.Я. Стратегический инновационный менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. 267 с.
38. Norio Okino, Hiroyuki Tamura, Susumu Fujii. Advances in Production Management Systems: Perspective and Future Challenges. London: Springer (2017). 482 p.
39. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. М.: ДМК Пресс, 2011. 332 с.
40. Басов К.А. CATIA V5. Геометрическое моделирование. М.: ДМК Пресс., 2008. 272 с.
41. ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов. М.: Стандартинформ, 2014. 17 с. (Межгосударственный стандарт).
42. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. М.: Стандартинформ, 2011. 30 с. (Межгосударственный стандарт).
43. ГОСТ 2.109-73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам. М.: Стандартинформ, 2011. 30 с. (Межгосударственный стандарт).
44. ГОСТ 2.103-68. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с. (Межгосударственный стандарт).
45. Yuvraj Domun. Aircraft Design Process Overview [Электронный ресурс] URL: <https://www.engineeringclicks.com/aircraft-design-process/>

46. Виноградов С. Ю. Особенности проектирования самолетов в AIRBUS: реализация программы A350XWB. Рациональное Управление Предприятием. 2011. № 4 С. 30-33.
47. Комаров В.А. «ТОЧНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ». Научный журнал «Онтология проектирования». 2012 № 3(5). С. 8-23.
48. Нестеров С.Б., Васильев Ю.К., Андросов А.В. Методы расчета вакуумных систем. М.: Издательство МЭИ, 2004. 220 с.
49. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. Перевод с английского под редакцией М.И. Меньшикова., М.: Издательство «Мир» 1964. 716 с.
50. Тягунов Г.А. Основы расчета вакуумных систем. Госэнергоиздата в М. 1948. 148 с.
51. Knudsen Martin. The Kinetic Theory of Gases. Some Modern Aspects. London: MethuenL, 1950. 64 p.
52. Хаблянян М.Х., Саксаганский Г.Л., Бурмистров А.В. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Инженерно–физические основы: учебное пособие. В 2 частях. М–во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун–т. Казань: Изд–во КНИТУ, 2013. Часть 1. 232с.
53. Elizabeth Hull, Ken Jackson, Jeremy Dick. Requirements Engineering. Springer. London. 2014. 216 p.
54. Коберн Алистер. Современные методы описания функциональных требований к системам. Изд. дом «Лори», 2011. 288 с.
55. Aircraft Lavatory System Market [Электронный ресурс] URL: <https://stratviewresearch.com/100/aircraft-lavatory-system-market.html>
56. Медведєв С.В. Методика проектування системи видалення відходів як частина комплексного розроблення конструкції літака. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2019. №2 (64). С. 3–10.
57. SAE ARP4754A. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems. 2010. 129 p

58. Chekurin V., Ponomaryov Yu., Khymko O. A mathematical model for evaluation the efficiency of gas-main pipelines in transient operational modes econtechmod. *An international quarterly journal*. 2015. Vol. 4, no.3, p. 25-32.

59. Shams M. A, Raeini A.Q., Blunt M.J., Bijeljic B. Numerical model of two-phase flow at the micro-scale using the volume-of-fluid method. *Journal of Computational Physics*. 2018, vol. 357, p. 159-182.

60. Ganapathy H., Shooshtari A., Dessiatoun S., Ohadi M., Alshehhi M. Hydrodynamics and mass transfer performance of a microreactor for enhanced gas separation processes. *Chemical Engineering Journal*. 2015, vol. 266, p. 258-270.

61. Meziou A., Chaari M., Franchek M., Borji R., Grigoriadis K., Tafresh R. Low-Dimensional Modeling of Transient Two-Phase Flow in Pipelines. *J. Dyn. Sys., Meas., Control*. 2016. vol. 138, no 10. p. 70–86.

62. Pyanylo Ya.D., Prytula M.G., Prytula N.M., Lopuh N.B. Models of mass transfer in gas transmission systems. *Mathematical Modeling and Computing*. 2014. vol. 1, no 1. p. 84–96.

63. Sumskoï S.I., Sofin A.S., Lisanov M.V. Developing the model of non-stationary processes of motion and discharge of single - and two-phase medium at emergency releases from pipelines. *Journal of Physics: Conference Series*. – 2016. vol. 751, no 1. p. 1–8.

64. Capecelatro J. Desjardins O. Eulerian – Lagrangian modeling of turbulent liquid–solid slurries in horizontal pipes. *International journal of multiphase flow*. 2016. no. 55. p. 64–79.

65. Медведєв С.В. Бадах В.М. Моделювання газодинамічних процесів у трубопроводах при видаленні відходів. *Mechanics and Advanced Technologies*. Vol. 87, №3. К., 2019. С. 83–90.

66. Абрамович Г. П. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1: Учебное руководство: Для вузов. – 3-е изд., перераб и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1991. 600 с.

67. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1997. 672 с.
68. Бертман А.Ф., Абрамоич И.Г. Краткий курс математического анализа для вузов М. 1966 г. 763 с.
69. Макаров Е. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс СПб.: Питер, 2011. 400 с.
70. Шмырев В.Ф., Медведев С.В. Энергетическая и весовая оптимизация самолетных водовакуумных систем. *Промислова гідраліка і пневматика*. 2008. №1(19). С. 51–54.
71. Шмырев В.Ф., Кондращенко В.Я., Радченко С.Г. Метод оптимизации массовых характеристик воздушных распределительных сетей бортовых энергетических систем. *Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці*. К., 1998. Вип. 4. С. 28 – 35.
72. Кондращенко В.Я., Винничук С.Д., Федоров М.Ю. Моделирование газовых и жидкостных распределительных систем. К.: Наук. думка, 1990. 314 с.
73. Растринин Л.А. Случайный поиск. М.: Знание, 1979. 64 с.
74. Ковеня В.М., Чирков Д.В. Методы конечных разностей и конечных объемов для решения задач математической физики. Учебное пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2013. 87 с.
75. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики: Учеб. пособ. Для вузов – 3-е изд., доп. Москва: Наука, 1992. 424 с.
76. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. Москва : Наука, 1978. 532 с.
77. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 636 с.

78. Белова О.В., Волков В.Ю., Скибин А.П. Метод контрольного объема для расчета гидравлических сетей. *Инженерный журнал: наука и инновации*. М., 2013. № 5(17) с. 46.

79. Молчанов А. М., Щербаков М. А., Янышев Д. С., Куприков М. Ю., Быков Л. В. Построение сеток в задачах авиационной и космической техники. Москва: МАИ, 2013. 260 с.

80. Волков. К.Н. Применение метода контрольного объема для решения задач механики жидкости и газа на неструктурированных сетках. *Вычислительные методы и программирование*. 2005. №6. С. 43–60.

81. Шайдуров В.В., Щепановская Г.И., Якубович М.В. Применение метода траекторий и метода конечных элементов в моделировании движения вязкого теплопроводного газа. *Вычислительные методы и программирование*. 2011. №12. С. 275–281.

82. Варсегов В.Л. Методология проектирования устройства реверсирования тяги двухконтурного турбореактивного двигателя на основе математического и численного моделирования аэродинамики течения: дис. ... д-ра техн. наук : 05.070.05. Казань, 2017. 426 с.

83. Medvediev S. V. Research of airplane waste disposal system tank characteristics by method of numerical simulation. *Global Journal of Research in Engineering*, Vol. 20, №1-I, 2020. p. 25–30.

84. Шаланин В.А. Эйлеровы методы моделирования потоков со свободной поверхностью. *«Молодой учёный»*, 2016. № 2 (106). С 258-260.

85. Глушко Г. С., Иванов И. Э., Крюков И. А., Метод расчета турбулентных сверх-звуковых течений, *Матем. моделирование*, 2009, том 21, номер 12, с. 103–121.

86. Минаков А. В., Гаврилов А. А., Дектерев А. А. Численное моделирование нестационарных течений несжимаемой жидкости со свободной поверхностью при помощи VOF метода. *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева*, 2008 №2, с 9–13.

87. Щербаков М. А., Юн А. А., Крылов Б. А. Сравнительный анализ моделей турбулентности с использованием научного кода «FASTEST-3D» и коммерческого пакета ANSYS CFX. Вестник МАИ, Т.16. 2009. № 5. С. 116–122.
88. Menter F. R., Kuntz M., Langtry R. Langtry Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model. *Turbulence heat and mass transfer*. Begell House, New York, 2003. Vol. 4, p. 625-632.
89. ANSYS CFX. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ansys.com>.
90. Md. Imran Uddin. Md. Mashud Karim. Application of Volume Of Fluid (VOF) Method for Prediction of Wave Generated by Flow around Cambered Hydrofoil. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 194. P. 82-89.
91. [Hirt](#), C.W., [Nichols](#), B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 1981. [Volume 39, Issue 1](#), P. 201–225.
92. Menter, F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*, 1994. Volume 32, No. 8. P. 1598–1605.
93. Medvediev S. V. Airplane waste disposal system tank designing using numerical modeling and experimental bench results // *Journal of Engineering Sciences*, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. A 1–A 5
94. Гідравліка: навчальний посібник / Л.В. Возняк, П.Р. Гімер, М.І. Мердух, О.В. Паневник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. 327 с.
95. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат, 1979. 295 с.
96. Левин Л.М., Малая Э.М. Исследование гидродинамики потока при внезапном расширении. *Труды Гос. Проект. Исслед. Ин – та. Востокгипрогаз*. 1969. Вып. 1. с. 41 – 47.
97. Кожитков Л.В., Чиченев Н.А., Демин В.А., Златин П.А., Емельянов С.Г., Пархоменко Ю.Н., Курбатов О.К. Технологическое вакуумное оборудование. В 2 частях. М.: МГИУ, 2010. Часть 1: Вакуумные системы технологического оборудования: учебник 444 с.

98. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: Учеб. для вузов по спец. «Вакуумная техника. и доп. М.: Высш. шк. 1990, 320 с.

99. Персов Б.З. Расчет и проектирование экспериментальных установок. - Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2004. 348 с.

100. Гайдуков В.Ф., Колесник В.П., Литовченко Л.В., Колесник В.В., Слюсарь Д.В. Проектирование и расчет вакуумных систем испытательных стендов и технологических установок. Курс лекций для высших технических учебных заведений. К: «Миллениум», 2009. 172 с.

101. Борисов Б.Е., Медведев С.В., Шмырев В.Ф. Исследование полей температур в зонах размещения агрегатов водовакуумных систем и методы обеспечения их потребных значений // *Промислова гідравліка і пневматика*. 2006. – №2(12). С. 22–24.

**ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та
відомості про апробацію результатів дисертації**

***Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових
фахових видань України***

1. Медведєв С.В. Аспекти розвитку систем видалення відходів та водопостачання. Короткий огляд систем / С.В. Медведєв // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – №1(19). – С. 58–62.

2. Шмырев В.Ф. Энергетическая и весовая оптимизация самолетных водовакуумных систем / В.Ф. Шмырев, С.В. Медведєв // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – №1(19). – С. 51–54. *Особистий внесок здобувача: розробка моделі та зонування трас трубопроводів, розробка випробувального устаткування і обробка експериментальних даних.*

3. Борисов Б.Е. Исследование полей температур в зонах размещения агрегатов водовакуумных систем и методы обеспечения их потребных значений / Б.Е. Борисов С.В. Медведєв, В.Ф. Шмырев // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – №2(12). – С. 22–24. *Особистий внесок здобувача: розробка моделі та зонування трас трубопроводів, розробка випробувального устаткування і обробка експериментальних даних.*

4. Medvediev S. V. Airplane waste disposal system tank designing using numerical modeling and experimental bench results / S. V. Medvediev D.H. Lantin // Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Issue 2 (2019), – pp. E 41–E 46. *Особистий внесок здобувача: запропоновано й обґрунтовано розробку моделі баку зберігання відходів; виконано дослідження процесу наповнюваності баку, методами чисельного моделювання з використанням програмного забезпечення Ansys CFX та запропонована схеми стенда для натурних випробувань баку відходів.*

5. Медведєв С.В. Моделювання газодинамічних процесів у трубопроводах при видаленні відходів / С.В. Медведєв, В.М. Бадах //

Mechanics and Advanced Technologies. – Vol. 87, №3. K., 2019. – С. 83–90.
Особистий внесок здобувача: запропоновано математичну модель процесу двофазної течії у трубопроводах системи видалення відходів для отримання газодинамічних характеристик трубопроводу.

6. Медведєв С.В. Методика проектування системи видалення відходів як частина комплексного розроблення конструкції літака / С.В. Медведєв // Промислова гідравліка і пневматика. – 2019. – №2 (64). – С. 3–10.

У іноземних спеціалізованих виданнях

7. Medvediev S. V. Research of airplane waste disposal system tank characteristics by method of numerical simulation. / S. V. Medvediev // Global Journal of Research in Engineering, Vol. 20, №1-I, 2020. – pp. 25–30.

Тези доповідей в матеріалах науково-технічних конференцій

8. Медведєв С.В. Обоснование применения вакуумных систем удаления отходов на борту пассажирского самолета/ С.В. Медведєв // Матеріали XIII Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2013 р. : тези доп. – Одеса, 2013. – С.104. – 144 с.

9. Медведєв С.В. Моделювання процесу видалення відходів в трубопроводі вакуумної системи літака / С.В. Медведєв // Матеріали VIII Міжнар. наук.-практич. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2018 р.: тези доп. – Чернігів, 2018. – С.231. – 242 с.

10. Медведєв С.В. До питання методології проектування вакуумної системи літака / С.В. Медведєв // Матеріали XIX Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2018 р.: тези доп. – Львів, 2018. С.89. – 104 с.

11. Медведєв С.В. Методологічні засади розрахунку і проектування системи видалення відходів літака / С.В. Медведєв // Матеріали III Міжнар.

наук.-тех. конф. «Гідро - та пневмоприводи машин - сучасні досягнення та застосування» 2018 р.: тези доп. – Вінниця, 2018. – С. 44–45. – 176 с.

12. Медведєв С.В. Розробка систем видалення відходів літака на етапі попереднього проектування з використанням системного методу / С.В. Медведєв // Матеріали XXVII Міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2019 «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 2019 р. : тези доп. – Харків, 2019. Частина 1, – С.203. – 368 с.

13. Медведєв С.В. Критерії формування вигляду системи видалення відходів літака / С.В. Медведєв // Матеріали IX Міжнар. наук.-практич. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2019 р.: тези доп. – Чернігів, 2019. Том 1, – С.233-234. – 240 с.

14. Медведєв С.В. Комплекс технічних та програмних засобів розрахунку системи видалення відходів літака як частина комп'ютерно-інтегрованої технології проектування / С.В. Медведєв // Матеріали XX Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» 2019 р.: тези доп. – Київ, 2019. – С.123-124. – 184 с.

15. Медведєв С.В. Методика розрахунку системи видалення відходів як частини технології проектування сучасного пасажирського літака / С.В. Медведєв // Матеріали IV Міжнар. наук.-тех. конф. «Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування» 2020 р.: тези доп. – Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. URL: <http://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fctam.vntu.edu.ua%2Fimages%2Fdoc%2F2020%2Fmedvedev.pdf>.

16. Медведєв С.В. Розробка розрахункового комплексу системи видалення відходів // С.В. Медведєв // Матеріали X Міжнар. наук.-практич. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 2020 р.: тези доп. – Чернігів, 2020. Т 1, – С. 216-218. – 272 с.

17. Medvediev S., Approaches to the design of modern technology // S. Medvediev, V. Badakh // International scientific conference "forest engineering: new techniques, technology and environment". – Lviv, 2020. – P 41. – 64 p.

Апробація результатів дисертації

Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на:

1. Науково - технічних конференціях «Промислова гідравліка і пневматика»: V присвячена 100-річчю від дня народження професора Т. М. Башти (м. Київ, НАУ, 17-18 лютого 2004 року; форма участі – усна доповідь); VI (м. Львів, «Львівська політехніка», 17-18 листопада 2005 року форма участі – усна доповідь); VIII (м. Мелітополь, ТДАУ, 3-4 жовтня 2007 року; форма участі – усна доповідь); IX (м. Кременчук, ДПУ ім. М. Остроградського, 22-23 квітня 2008 року; форма участі – усна доповідь); X (м. Львів, НЛТУ, 14-15 жовтня 2009 року форма участі – усна доповідь); XI (м. Мелітополь, ТДАУ, 15-17 вересня 2010 року; форма участі – усна доповідь); XII (м. Донецьк, ДНТУ, 11-13 жовтня 2011 року; форма участі – усна доповідь); XIII (м. Чернігів, ЧДТУ, 19-20 вересня 2012 року; форма участі – усна доповідь); XIV (м. Одеса, ОНПУ, 19-20 вересня 2013 року; форма участі – усна доповідь); XIX (м. Львів, НЛТУ, 25-28 вересня 2018 року форма участі – усна доповідь); XX (м. Київ, НАУ, 22-25 жовтня 2019 року; форма участі – усна доповідь);

2. VIII міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», Чернігівський національний технологічний університет (м. Чернігів, 10 - 12 травня 2018 року; форма участі – усна доповідь);

3. IX міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», Чернігівський національний технологічний університет (м. Чернігів, 14 - 16 травня 2019 року; форма участі – усна доповідь);

4. XXVII Міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2019 «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», Національний технічний університет «Харківській політехнічний інститут». (м. Харків, 15 – 17 травня 2019 року; форма участі – публікація тез).

ДОДАТОК Б Акт впровадження результатів дисертації



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Головний конструктор

ДП «АНТОНОВ», к. т. н.

В. П. Ішук В. П. Ішук

«18» 11 2020 г.

АКТ

впровадження результатів дисертації

МЕДВЕДЕВА Сергія Вікторовича

«Проектування вакуумних систем видалення відходів пасажирських літаків»

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Медведєва С. В. впроваджені в проектну та розрахункову практику ДП «АНТОНОВ».

При виконанні роботи розроблено методики для систематизації та ієрархічного представлення процедур проектування та розрахунку, які враховують особливості розробки та забезпечують отримання необхідних даних для проектування системи видалення відходів вакуумного типу.

Розроблена математична модель квазістаціонарних газодинамічних процесів двофазної течії, що протікають при видаленні відходів в трубопроводах системи, яка дозволяє визначати необхідні конструктивні характеристики трубопроводів.

За допомогою програмного забезпечення Ansys CFX розроблено математичну модель нестационарних газодинамічних процесів, що протікають у баку зберігання відходів, яка дозволила дослідити наповнюваність та вакуумізацію баку.

Вищезазначені методики проектування та розрахунку застосовані при розробці системи видалення відходів вакуумного типу літаків сімейства Ан - 148.

Начальник відділу систем
життєзабезпечення, к.т.н.

О. О. Шестаков

О. О. Шестаков

ДОДАТОК В Протокол відпрацювання системи

« УТВЕРЖДАЮ»

Начальник ЭИО-18

СИЛЬЧЕНКО Г.Г.

2004 г.

ПРОТОКОЛ

Отработки систем водоснабжения и удаления отходов вакуумом
Самолет Ан-148 №01-01.
148.00.1820.057.Д4

1. ЦЕЛЬ ОТРАБОТКИ.

Определение работоспособности систем.

2. ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ.

Октябрь – ноябрь 2004 г., цех 04, корпус 73.

3. ОБЪЕКТ ОТРАБОТКИ.

Система водоснабжения (СВ) и система удаления отходов вакуумом (СУОВ) в комплектации с одним (задним) туалетом.

4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КПА.

КПА-ПВД, № 0191062, мультиметр M890C* № 00386489.

5. МЕТОДИКА ОТРАБОТКИ.

Инструкции:

148.00.7556.000.000.И, выпущенная по сл. зап. 148.00.01.6771.008;
148.00.7557.000.000.И, выпущенная по сл. зап. 148.00.01.6771.018,
черт. 148.00.7200.025.400 ЭЗ, Э4 с учетом запроса производства
0 148 № 01-01 / 3083.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ОТРАБОТКИ.

Дефекты, обнаруженные в процессе отработки, устранены.

7. ВЫВОДЫ.

СВ и СУОВ работоспособны и соответствуют требованиям
Инструкций с учетом запроса производства 0 148 № 01-01 / 3083.

Ведущий инженер-исследователь

 КИКТА З.Н.

Ведущий инженер-исследователь

 АКСЕНОВ Е.И.

Начальник

бригады 6771

 МЕДВЕДЕВ С.В.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

СВ и СУОВ соответствуют технической документации,
работоспособны и пригодны для наземных испытаний.


Руководитель

бригады отработки

 КУЗЬМИН В.Д.

Руководитель программы

отработки

 ВАСИЛЬЧЕНКО Ю.П.