

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут комп'ютерних наук і управління
проектами

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **«Дослідження та розробка інформаційної системи
для візуалізації зображень результатів випробувань
камер згоряння газотурбінних двигунів»**

Виконав: студент 6 курсу, групи 6145юмз
спеціальності

122 – комп'ютерні науки

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Матвєєв М. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Міхелєв І. Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Коваль С. С.

(прізвище та ініціали)

Інститут, факультет ННІ комп'ютерних наук і управління проєктами
Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень другий (ступінь магістра)
Спеціальність 122 – комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
к.т.н., доцент Михелєв І. Л.

" ____ " _____ 2020р.

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Матвєєва Миколи Анатолійовича

1. Тема роботи «Дослідження та розробка інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів»
керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент Михелєв І. Л., затверджені наказом вищого навчального закладу від 19.11.2020 р. №1137-уч
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, інструкції та методики ДПНВКГ «Зоря»-«Машпроєкт» з випробувань камер згоряння
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз проблемних питань застосування інформаційних ресурсів для обробки даних стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів.
2. Методи і механізми проєктування інформаційної системи на основі математичного моделювання розподілу температурних полів.
3. Практична реалізація інформаційної системи у випробувальній лабораторії підприємства
4. Техніко-економічні показники впровадження інформаційної системи на машинобудівному виробництві
5. Охорона праці 6. Охорона навколишнього середовища. Висновки. Список використаних джерел. Додатки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Сучасний стан, методи візуалізації, моделювання процесу оброблення результатів, математичне моделювання розподілу температурних полів, діаграма варіантів використання, системний граф.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доцент Міхелєв І. Л.		
2	доцент Міхелєв І. Л.		
3	доцент Міхелєв І. Л.		
4	доцент Міхелєв І. Л.		
5	доцент Міхелєв І. Л.		
6	доцент Міхелєв І. Л.		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблемних питань застосування інформаційних ресурсів для обробки даних стендових випробувань		
2	Методи і механізми проектування інформаційної системи на основі математичного моделювання розподілу температурних полів		
3	Проектування інформаційної системи		
4	Розробка програмного забезпечення		
5	Розробка робочої документації		
6	Техніко-економічне обґрунтування економічної ефективності		
7	Розробка заходів щодо охорони праці		
8	Розробка заходів щодо захисту навколишнього середовища		
9	Підготовка презентації та доповіді		
10	Оформлення пояснювальної записки		
11	Попередній захист		
12	Нормоконтроль, рецензування		
13	Занесення диплома в електронний архів		
14	Допуск до захисту		

Магістрант _____ Матвєєв М. А.

Керівник роботи _____ к.т.н. доцент Міхелєв І. Л.

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота «Дослідження та розробка інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів» за спеціальністю 122 – комп'ютерні науки.

Робота присвячена вирішенню важливого **науково-прикладного завдання** інформаційного забезпечення обробки результатів експериментальних випробувань, які є обов'язковими для проєктування камер згоряння газотурбінних двигунів.

Мета роботи полягає у ґрунтовному аналізі та проєктуванні нової інформаційної системи обробки результатів випробувань камери згоряння газотурбінного двигуна задля підвищення ефективності аналізу та вибору найкращих серед альтернативних варіантів конструктивних рішень.

Наукова новизна виконаних досліджень полягає у наступному:

- вперше розроблено метод візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів, який на відміну від існуючих включає у себе принципи алгоритмічної автоматизації побудови плоских ізотерм з вибором найкращого варіанту конструктивно-компонувального рішення;
- удосконалено підхід до управління процесом обробки даних розподілу температурних полів при стендових випробуваннях камер згоряння газотурбінних двигунів, який за рахунок розробки нової інформаційної системи дає змогу підвищити якість конструкторських та дослідницько-довершувальних робіт на машинобудівному підприємстві.

Практичне значення роботи полягає у можливості управління вибору найкращого конструктивно-компонувального рішення з елементами візуалізації зображень та виключенням з робочого процесу застосування дороговартісних *CFD*-пакетів.

Методи досліджень: об'єктно-орієнтований підхід, математичні методи дослідження операцій і комп'ютерної алгебри.

Апробація роботи: результати були представлені на двох Міжнародних науково-практичних конференціях.

Робота написана на 113 сторінках машинописного тексту, містить 35 рисунків, 17 таблиць, 1 додаток і список використаних джерел з 21 найменування.

Ключові слова: методи візуалізації, інформаційна система, аналіз точності, технології комп'ютерної графіки, розподіл температурних полів, камера згоряння.

ABSTRACT

The Master's work "Research and development of information system for visualization of images of test results of combustion chambers of gas turbine engines" in the specialty 122 - computer science.

The work is devoted to solving an important **scientific and applied problem** of information support of processing the results of experimental tests, which are mandatory for the design of combustion chambers of gas turbine engines.

The aim of the work is to thoroughly analyze and design a new information system for processing the test results of the combustion chamber of a gas turbine engine to increase the efficiency of analysis and selection of the best among the alternative design solutions.

The scientific novelty of the research is as follows:

the method of visualization of images of test results of combustion chambers of gas turbine engines is developed, which in contrast to the existing ones includes the principles of algorithmic automation of construction of flat isotherms with the choice of the best design solution.

the approach to managing the process of processing temperature distribution data during bench tests of combustion chambers of gas turbine engines was improved, which by developing a new information system allows to improve the quality of design and research and finishing works at the machine-building enterprise.

The practical significance of the work lies in the possibility of managing the choice of the best design and layout solution with elements of image visualization and the exclusion from the workflow of the use of expensive CFD-packages.

Research methods: object-oriented approach, mathematical methods of operations research and computer algebra.

Approbation of the work: the results were presented at two International scientific-practical conferences.

The work is written on 113 pages of typewritten text, contains 35 figures, 17 tables, 1 appendix and a list of used sources of 21 names.

Key words: visualization methods, information system, accuracy analysis, computer graphics technology, temperature field distribution, combustion chamber.

ЗМІСТ

Вступ	9
Розділ 1. Аналіз проблемних питань застосування інформаційних ресурсів для обробки даних стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів	13
1.1 Стендові випробування камер згоряння газотурбінних двигунів	14
1.2 Необхідність візуалізації зображень у вирішенні проєктних задач машинобудування	19
1.3 Об'єкти і методи візуалізації даних	22
1.4 Побудова графічної інтерпретації експериментальних і теоретичних досліджень у техніці	31
1.5 Програмне середовище та інформаційні пакети для візуалізації експериментальних і розрахункових результатів при вирішенні наукових і технічних задач	36
1.6 Аналіз невирішених питань та постановка завдань досліджень	39
Розділ 2. Методи і механізми проєктування інформаційної системи на основі математичного моделювання розподілу температурних полів	42
2.1 Нормативна документація і методологія постановки досліджень	43
2.2 Математичне моделювання розподілу температурних полів	46
2.3 Вимоги до інформаційної системи, вибір мови програмування та написання програмного коду	51
2.4 Висновки до розділу 2	55
Розділ 3. Практична реалізація інформаційної системи у випробувальній лабораторії підприємства	56
3.1 Загальносистемні рішення на основі теорії графів	57
3.2 Характеристика інформаційної системи та розробка фізичної	59

моделі	
3.3 Реалізація інформаційної системи на виробничому підприємстві	60
3.4 Висновки до розділу 3	63
Розділ 4. Техніко-економічні показники впровадження інформаційної системи на машинобудівному виробництві	64
Розділ 5. Охорона праці	72
Розділ 6. Охорона навколишнього середовища	80
Висновки	90
Використані джерела інформації	94
Додатки	98

					ДР.122.6145юмз.00.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвєєв М.А.						9	
Керівник	Михелєв І. Л.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант								
Зав.кафедрою	Михелєв І. Л.							

ВСТУП

Актуальність теми. Камера згоряння газотурбінного двигуна є важливим елементом, при проєктуванні якого важливе значення мають обробка результатів експериментальних випробувань, зокрема вимірювання температурних полів. Застосовані на підприємстві методи збирання та обробки інформації ґрунтуються на графічній інтерпретації одержаних даних. Результати представляються у вигляді контурних діаграм температурних полів – плоских ізотерм, за якими визначається їх відповідність технічним вимогам, на підставі чого на етапі дослідно-довершувальних робіт приймаються рішення щодо конструктивних змін. Тобто в основу розвитку методичних прийомів обробки результатів випробувань повинні бути покладені принципи візуалізації зображень, що не можливо без впровадження нових заходів з інформаційної підтримки.

Робота присвячена вирішенню важливого **науково-прикладного завдання** інформаційного забезпечення обробки результатів експериментальних випробувань, які є обов'язковими для проєктування камер згоряння газотурбінних двигунів.

Об'єкт дослідження – процеси обробки, систематизації та візуалізації даних експериментальних випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів.

Предмет дослідження – моделі і механізми проєктування інформаційної системи на основі закономірностей побудови плоских ізотерм за експериментальними результатами.

Мета роботи полягає у ґрунтовному аналізі та проєктуванні нової інформаційної системи обробки результатів випробувань камери згоряння газотурбінного двигуна задля підвищення ефективності аналізу та вибору найкращих серед альтернативних варіантів конструктивних рішень.

Завдання досліджень:

1) аналіз проблемних питань обробки даних стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів;

2) дослідження методів і механізмів проєктування інформаційної системи на основі математичного моделювання розподілу температурних полів з візуалізацією зображень;

3) проєктування і реалізація інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів;

4) техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження нової інформаційної системи у конструкторську діяльність науково-виробничого підприємства;

5) розробка заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища на робочому місці інженера-системотехніка випробувальної лабораторії.

Методи досліджень: об'єктно-орієнтований підхід, математичні методи дослідження операцій і комп'ютерної алгебри.

Інформаційну базу досліджень становлять наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених в області проєктування камер згоряння, розробки інформаційних систем, інтернет-ресурси, сучасний досвід автора.

Наукове значення роботи. Одержані результати спрямовані на покращення наукового рівня проєктування камер згоряння газотурбінних двигунів за рахунок впровадження розробленої інформаційної системи у робочий процес інженерно-конструкторської діяльності.

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

- вперше розроблено метод візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів, який на відміну від існуючих включає у себе алгоритм побудови контурних діаграм температурних полів у автоматичному і ручному режимах з вибором найкращого варіанту конструктивно-компонувального рішення;

- удосконалено підхід до управління процесом обробки даних розподілу температурних полів при стендових випробуваннях камер згоряння газотурбінних двигунів, який за рахунок розробки нової інформаційної системи з можливостями реалізації вибірки даних дає змогу

підвищити якість конструкторських та дослідницько-довершувальних робіт на машинобудівному підприємстві.

Практичне значення роботи полягає у можливості управління вибору найкращого конструктивно-компонувального рішення з елементами візуалізації зображень та виключенням з робочого процесу застосування дороговартісних *CFD*-пакетів.

Апробація результатів досліджень. Основні положення і результати роботи доповідалися на:

- X Міжнародно-технічній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2020 р.);
- IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (Одеса : Одеський національний політехнічний університет, 2020 р.).

Публікації за результатами магістерської роботи:

1. Морозова Г. С., Матвєєв М. А. Інформаційно-аналітичне забезпечення документування і обробки результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів // Матеріали X Міжнародно-технічній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 220-221.

2. Інформаційна система для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів / Т. А. Фаріонова, І. Л. Міхелєв, Г. С. Морозова, М. А. Матвєєв // Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні управляючі системи та технології». – О. : ОНПУ, 2020. – С. 144–146.

					ДР.122.6145юмз.01.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ КАМЕР ЗГОРЯННЯ ГТД	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвеев М.А.						13	
Керівник	Михелев І. І.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант								
Зав.кафедрою	Михелев І. І.							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ КАМЕР ЗГОРЯННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

1.1 Стендові випробування камер згоряння газотурбінних двигунів

Одним з відповідальних елементів газотурбінного двигуна (ГТД) є камера згоряння (КЗ), у якій водночас відбуваються процеси сумішоутворення, згоряння, тепло- і масообміну, взаємодії та завихрення потоків повітря [10]. Процес створення включає у себе повний комплекс розрахунково-експериментальних робіт (оптимізацію розподілу повітря по перетину КЗ, проектування системи охолодження стінок жарових труб), доводочні роботи для забезпечення заданого рівня радіальної та окружної нерівномірності поля температур газу на виході з камери згоряння. Саме ступінь досконалості температурного поля на виході з КЗ є критерієм забезпечення ресурсу турбіни та двигуна в цілому. Зниження окружної нерівномірності дозволяє знизити середньомасову температуру газу перед турбіною, що сприятиме підвищенню потужності коефіцієнта корисної дії.

При проектуванні камер згоряння велика увага надається стендовим випробуванням [2], для чого на підприємствах використовуються випробувальні стенди (рисунок 1.1), які оснащені комплектом засобів вимірювальної техніки для контролю параметрів режимів випробувань та визначення основних характеристик об'єктів. Стенд і його системи повинні забезпечувати:

- проведення випробувань камер згоряння та їх складових частин (жарових труб, форсунок, пальникових пристроїв, пускових блоків) на змодельованих та натурних режимах роботи або у відповідності з технічними вимогами за кресленнями або методикою випробувань;

- вимірювання параметрів потоків повітря, палива, продуктів згоряння у контрольних точках (перетинах) об'єкта або його об'єму на поточних режимах.



Рисунок 1.1 – Стенди для дослідження палиникових пристроїв [9]

За результатами випробувань фахівці лабораторії дають заключення, яке направляється у відповідний конструкторській підрозділ.

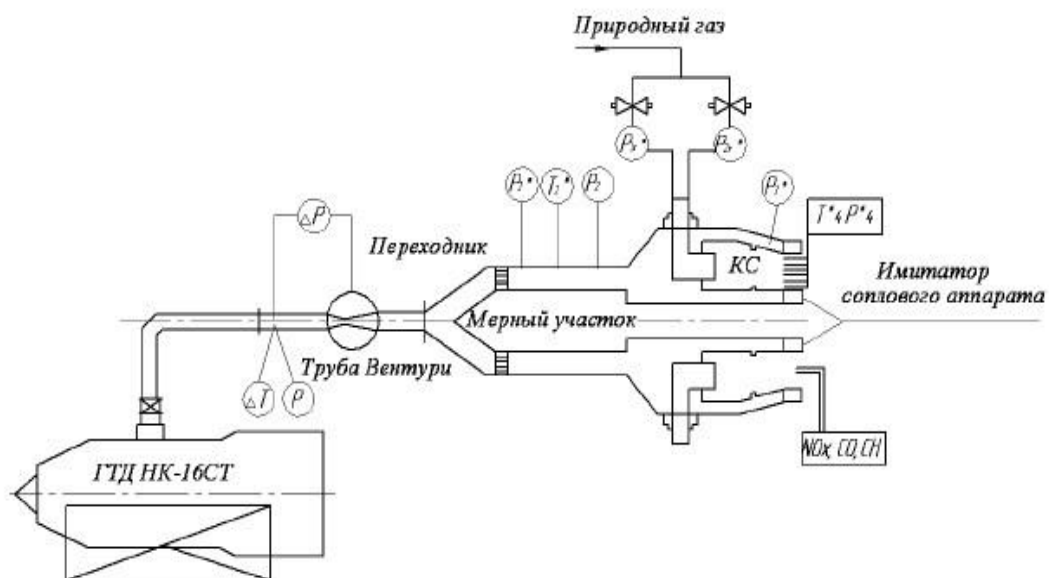


Рисунок 1.2 – Схема стенда для випробувань повнорозмірних камер згоряння [9] (скріншот російською мовою)

Якщо за результатами випробувань дослідний об'єкт не відповідатиме технічним вимогам збирального креслення і нормативним документам, то він

зазнає конструкторського дороблення, після доопрацювання об'єкт повертається у випробувальну лабораторію для повторних випробувань.

Контроля зазнають наступні параметри:

- атмосферний тиск B (мм рт ст);
- масовий розхід повітря на вході у камеру згоряння G_v (кг/с);
- надлишковий статичний тиск повітря на вході до камери згоряння ΔP_2 (МПа) або надлишковий повний тиск на вході до камери згоряння ΔP_{02} (МПа);

- температура повітря на вході до камери згоряння t_{02} (°C).

Якщо двигун працює на рідкому паливі, то вимірюються:

- масовий розхід повітря на вході до камери згоряння G_{Ti} (кг/год);
- надлишковий статичний тиск рідкого пального за паливним насосом ΔP_T (МПа);

- надлишковий статичний тиск рідкого пального у паливних каналах форсунки ΔP_i (МПа);

- температура рідкого пального t_T (°C).

Якщо двигун працює на газоподібному паливі, то вимірюються:

- масовий розхід паливного газу по каналам пальникового пристрою камери згоряння G_{Gi} (кг/год);

- надлишковий статичний тиск паливного газу у паливних каналах пальникового пристрою ΔP_{Gi} (МПа);

- температура паливного газу t_G (°C);

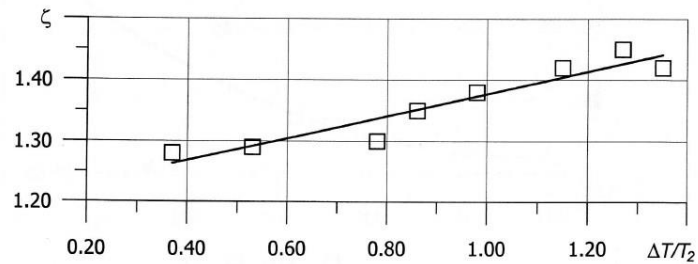
- температура потоку продуктів згоряння на виході з камери згоряння t_{03} (°C);

- надлишковий статичний тиск продуктів згоряння на виході з камери згоряння ΔP_3 (МПа);

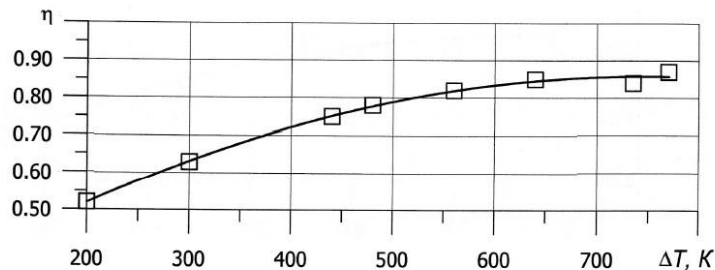
- концентрація шкідливих викидів в продуктах згоряння на виході з камери згоряння;

- середній (загальний) рівень пульсації тиску повітря у міжтрубному просторі камери згоряння ΔP_2 (кПа);
- температура у препарованій точці об'єкта випробувань $t_{ст}$ ($^{\circ}\text{C}$).

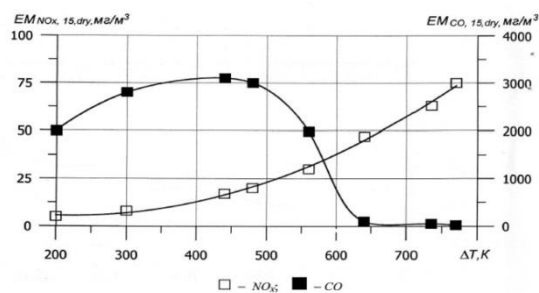
Приклади графічної інтерпретації оброблених результатів випробувань наведено на рисунках 1.3-1.4.



а



б



в

Рисунок 1.3 – Приклади оформлення результатів випробувань [складено автором]:

а – залежність коефіцієнту гідравлічного опору від відносного підігрівання повітря у камері згоряння; б – залежність коефіцієнта повноти згоряння від підігрівання повітря у камері згоряння; в – екологічні характеристики камери згоряння

Для вимірювань повного та статичного тиску застосовуються комбіновані пневматичні насадки; вимірювання температури здійснюється за допомогою перетворювачі термоелектричні (ГОСТ 6616). Для вимірювання розходу повітря (паливного газу) застосовуються розходомірні пристрої змінного перепаду тиску, які спроектовані у відповідності з ДСТУ ГОСТ 8.586.5 і ДСТУ ГОСТ 8.586.3.

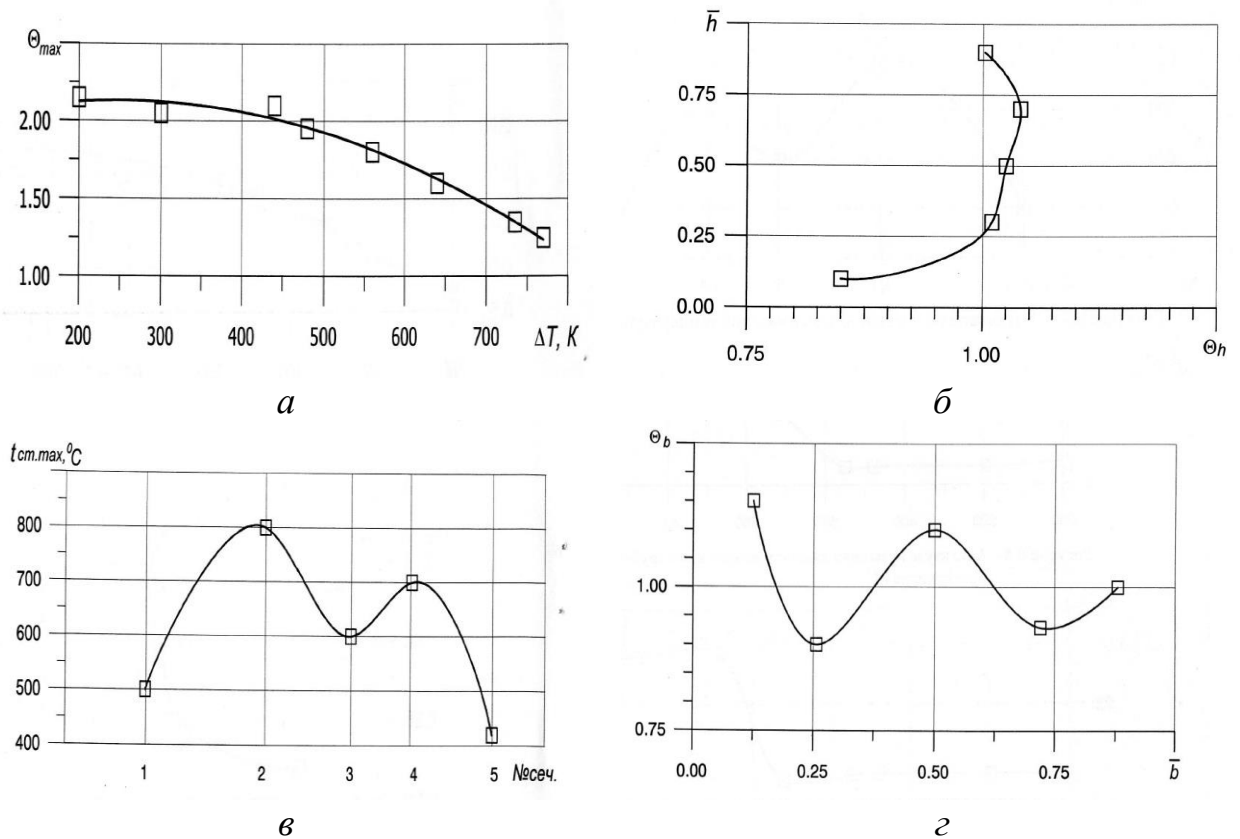


Рисунок 1.4 – Приклади оформлення температурних параметрів [складено автором]:

a – максимальна нерівномірність поля температури продуктів згоряння на виході з камери згоряння; *б* – відносна середні температура продуктів згоряння по висоті вихідного перетину камери згоряння (вертикальна епюра); *в* – результати визначення максимальної температури стінок жарової труби; *г* – відносна середня температура продуктів згоряння по ширині вихідного перетину камери згоряння (горизонтальна епюра температур)

Таке надання оброблених даних надає уявлення виключно про взаємно залежні характеристики та не є наглядним. На етапі дослідно-довершувальних робіт за допомогою візуалізації температурних полів продуктів згоряння на виході із камери згоряння приймаються рішення щодо конструктивних змін. Тому важливе значення має обробка результатів експериментальних випробувань, сутність яких полягає у вимірюванні температурних полів в режимі реального часу [9, 10]. Головною метою узагальнення результатів експериментальних випробувань є вибір найкращих серед альтернативних варіантів конструктивних рішень. Тому саме візуалізація зображень одержаних результатів має велике значення.

1.2 Необхідність візуалізації зображень у вирішенні проєктних задач машинобудування

В таблиці 1.1 наведено аналіз сучасних методів, які наглядно показують результати теоретичних і експериментальних досліджень.

Таблиця 1.1 – Методи візуалізації результатів стендових випробувань
[складено автором]

Методи	Переваги	Недоліки
Застосування стандартних пакетів обчислювальною газодинаміки (CFD-пакетів)	Наочність процесу розподілу температурних полів; можливість застосовувати різнопланові математичні моделі фізичних процесів	Трудомістка довготривала підготовка задля створення геометричної моделі та генерування розрахункової сітки
Впровадження систем технічного зору	Доступність даних в режимі «живого зображення»; можливість перегляду експерименту	Дороговартість процесу, складність апаратного забезпечення
Улаштування стендово-експериментальної бази спеціалізованими інформаційними системами	Удосконалення процесу зберігання та пошуку даних, можливість формування звітів, зокрема у графічному вигляді	Необхідність проведення проєктно-пошукових досліджень з реалізацією розрахункових методик

Найкращим розрахунковим методом для досліджень камер згоряння вважається числове моделювання з використанням *CFD*-пакетів [16], які надають можливості уявляти дослідний об'єкт у спектральному вигляді. Саме спектральні уявлення візуального образу є інструментом, який за допомогою кольорової гами підкреслює різницю або схожість нарисів. Як приклад на рисунку 1.5 наведено зовнішній вигляд 3D моделі: сітчаста модель розрахункової області складається близько з 3 млн гексадральних, кліновидних і тетрадральних елементів [2].

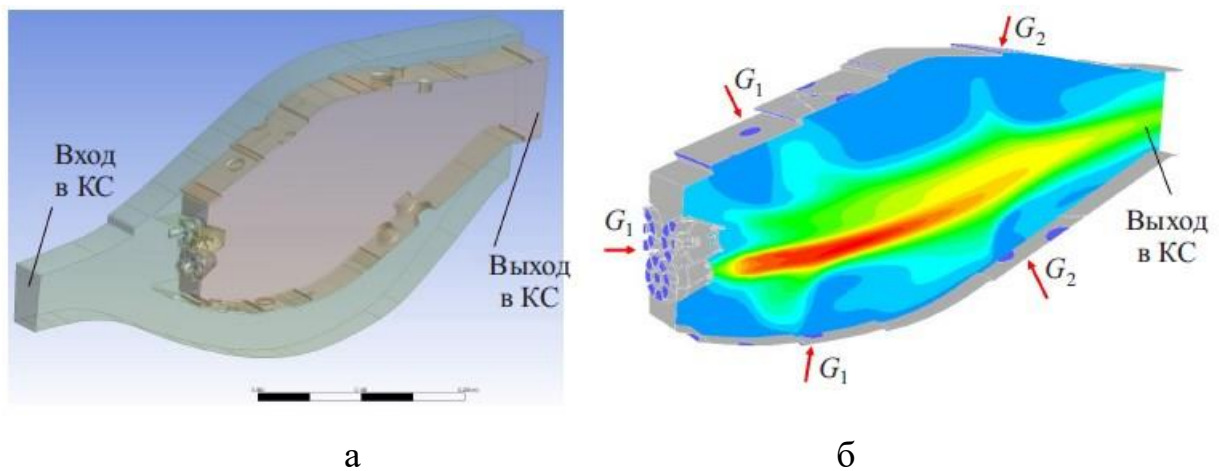


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд моделі сектора КС НК 16-18СТ [2]:

а – деталізована модель; б – сегмент жарової труби з розподілом температурних полів

Обробка результатів моделі здійснюється через певну кількість ітерацій розрахунків і порівнюється з попередніми результатами, що дає змогу з найбільшою ймовірністю оцінювати ступінь розходження при збільшенні кількості ітерацій. Тобто обробка результатів за допомогою *CFD*-пакетів являє собою трудомістку довготривалу операцію, яка вимагатиме високої інженерної кваліфікації та застосування сучасного дорого вартісного обладнання.

Моделювання робочого процесу на мікрорівня передбачатиме застосування методів обчислювальної аеродинаміки: для моделювання камери згоряння повинно розглядати модель, яка складається із 100 млн комірок [16]. Застосування такої дрібносітчастої структури накладає

обмеження щодо застосування CFD-пакетів. Необхідний рівень точності моделювання гідравлічних характеристик забезпечується шляхом застосування гібридних конформних сіток з ієрархічними структурами, як це показано на рисунку 1.6.

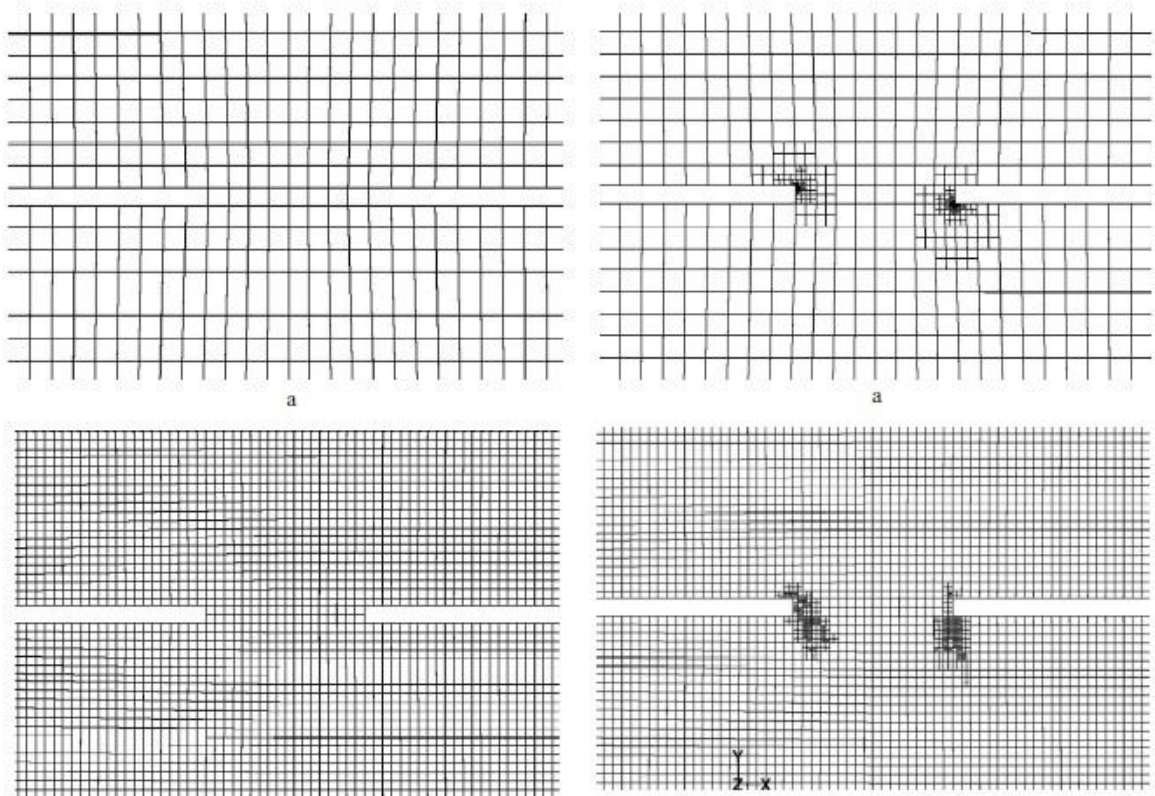


Рисунок 1.6 – Розрахункові сітки [16]

Етапи досліджень зводяться до здрібнення комірок з накладанням на них локальних значень кривизни лінійного потоку. Застосування такого підходу дає змогу забезпечити раціональний розподіл і застосування обчислювальних ресурсів. Проте не достатньо дослідженими залишаються питання кількісного зв'язку між точністю числових оцінок гідравлічних параметрів і точністю числових оцінок нерівномірності поля температур на виході з камери згоряння.

Серед проблемних питань щодо візуалізації зображень слід виділити: вибірковість даних; осереднення даних, відсів недійних значень у відокремлених точках; вибір графічних редакторів; сприятливість інформації конструкторами; можливість корегування даних у ручному режимі.

1.3 Об'єкти і методи візуалізації даних

Застосування методів візуалізації даних спрямовано на пошук найбільш визначних фрагментів дослідних об'єктів, що зробить більш ефективною експериментаторську діяльність.

В роботі [14] наведений огляд сучасних підходів до вирішення практичних задач візуалізації багатовимірних даних. Виконаний аналіз стисло наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Аналіз сучасних методів візуалізації багатовимірних даних [складено автором]

Метод візуалізації багатовимірних даних	Переваги	Недоліки
Шкали: номінальні, порядкові, кількісні (безперервні)	Метод ґрунтується на кількісному співвідношенні числових даних	Застосовується у задачах статистики
Графік	Метод дає змогу розглядати дослідження у динаміці	Залежність від масштабного фактору та обмеженість за кінцевими значеннями
Діаграми (кругові, кільцеві, лінійчаті, стовпчикові)	Найбільш популярний метод візуалізації даних, оснований на порівнянні та відносному співвідношенні для визначення динаміки росту або спаду будь-якого явища.	Застосовується для наочності статистично оброблених даних, не відображає сутності фізичних, хімічних, механічних процесів; залежить від кваліфікації і думки експертів
Інфографіка і картографія	Надає повноцінне наочне уявлення щодо розвитку процесів у динаміці, дає змогу порівнювати числові значення, зміни у конструкції або у структурі дослідного об'єкта.	Має низьку степінь захисту інформації та обмеженість застосування у певних областях техніки.
Презентація і аналіз даних	Можливості побудови розвитку прогнозів	Необхідність застосування знань у

Метод візуалізації багатовимірних даних	Переваги	Недоліки
	розвитку з використанням різних сценаріїв з елементами зберігання та обробки інформації	міждисциплінарних областях з використанням штучного інтелекту, математичної статистики, математичного програмування тощо
Інтерактивний сторителлінг	Метод спрямований на зацікавленість широкої аудиторії, результати мають яскравий вигляд з використанням спецефектів	Застосовується для тимчасового зосередження уваги на певних проблемах дослідження, не використовується для подальших поглиблень уявлень з обчислюванням наведених даних

Охарактеризуємо кожний з методів.

1.3.1 Метод шкал (рисунок 1.7)

Номінальні шкали – являють собою порівняння значень у термінах «рівнозначності/нерівнозначності», є найбільш поширеними, застосовуються у вирішенні практичних задач у дослідження сталих та вповільнених процесів.

Порядкові шкали – значення можуть відсортовані або побудовані у певному порядку. Застосовуються для визначення мінімумів, максимумів, медіан, проценталей, квантилей тощо.

Кількісні або безперервні шкали – над нанесеними значеннями можна виконувати числові та арифметичні операції.

Якщо побудувати співвідношення шкал, то воно матиме вигляд:

кількісні $\subset$ порядкові $\subset$ номінальні

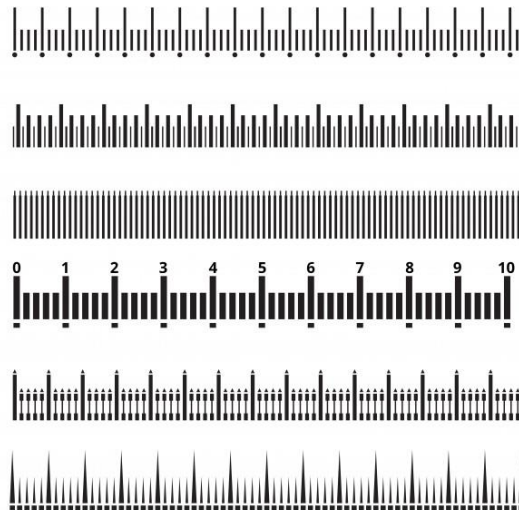


Рисунок 1.7 – Шкали [14]

1.3.2 Графік (рисунок 1.8)

Графічна інтерпретація одержаних результатів застосовує атрибутику маркування: розмір, форма, орієнтація, колір (відтінок), текстура, значення (світлість кольору).

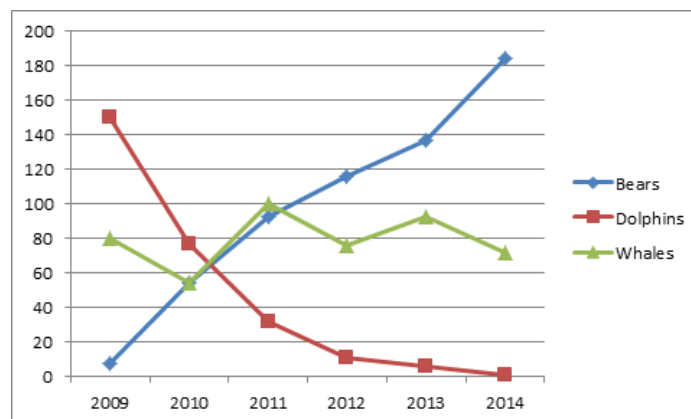


Рисунок 1.8 – Графік

Інша атрибутика, за допомогою якої здійснюється розрізнення даних та яка висвітлює сучасний підхід до маркування графіків, наведена на рисунку 1.9. Відповідність атрибутів і шкал наведено на рисунку 1.10.

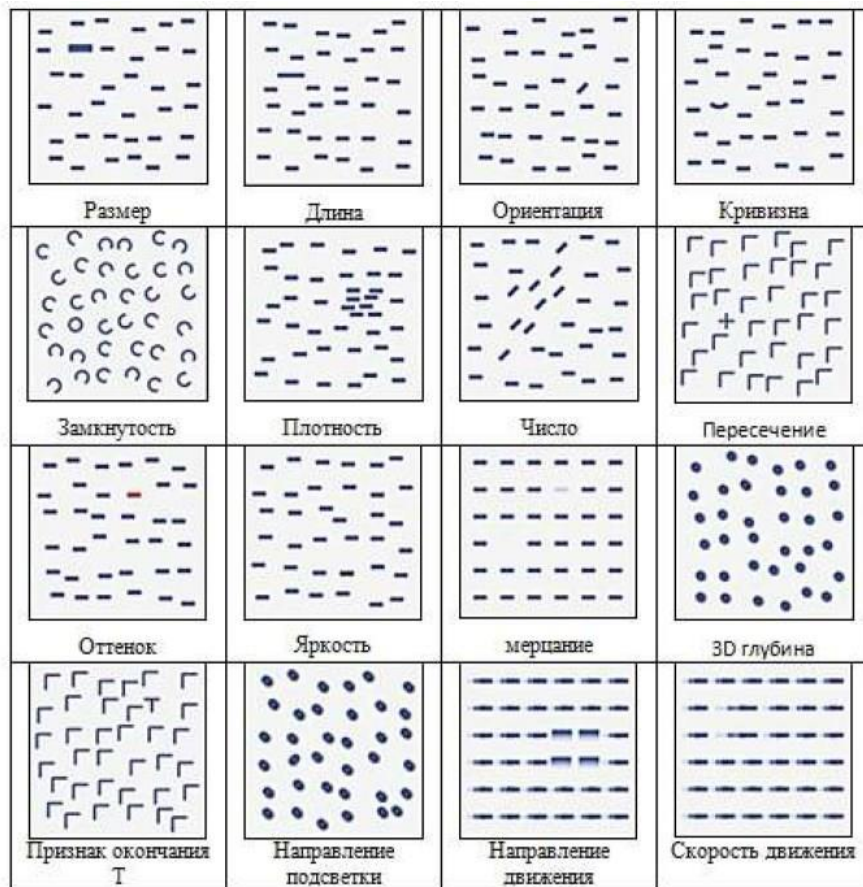


Рисунок 1.9 – Види маркування на графіках
[скриншот російською мовою] [13]



Рисунок 1.10 – Відповідність атрибутів і шкал [13]
[скриншот російською мовою]

1.3.3 Діаграми (рисунок 1.11)

Діаграми являють собою детерміновані функціональні залежності. Кругові та кільцеві діаграми (рисунк 1.11 *а, б*) найкращим чином підходять для візуалізації структури з виділенням обсягу (у відсотках) той або іншій її частині; стовпчикові (рисунк 1.11 *г*) – для порівняння категорій; лінійчаті (рисунк 1.11 *в*) – для демонстрації змін категорій протягом певного часу.

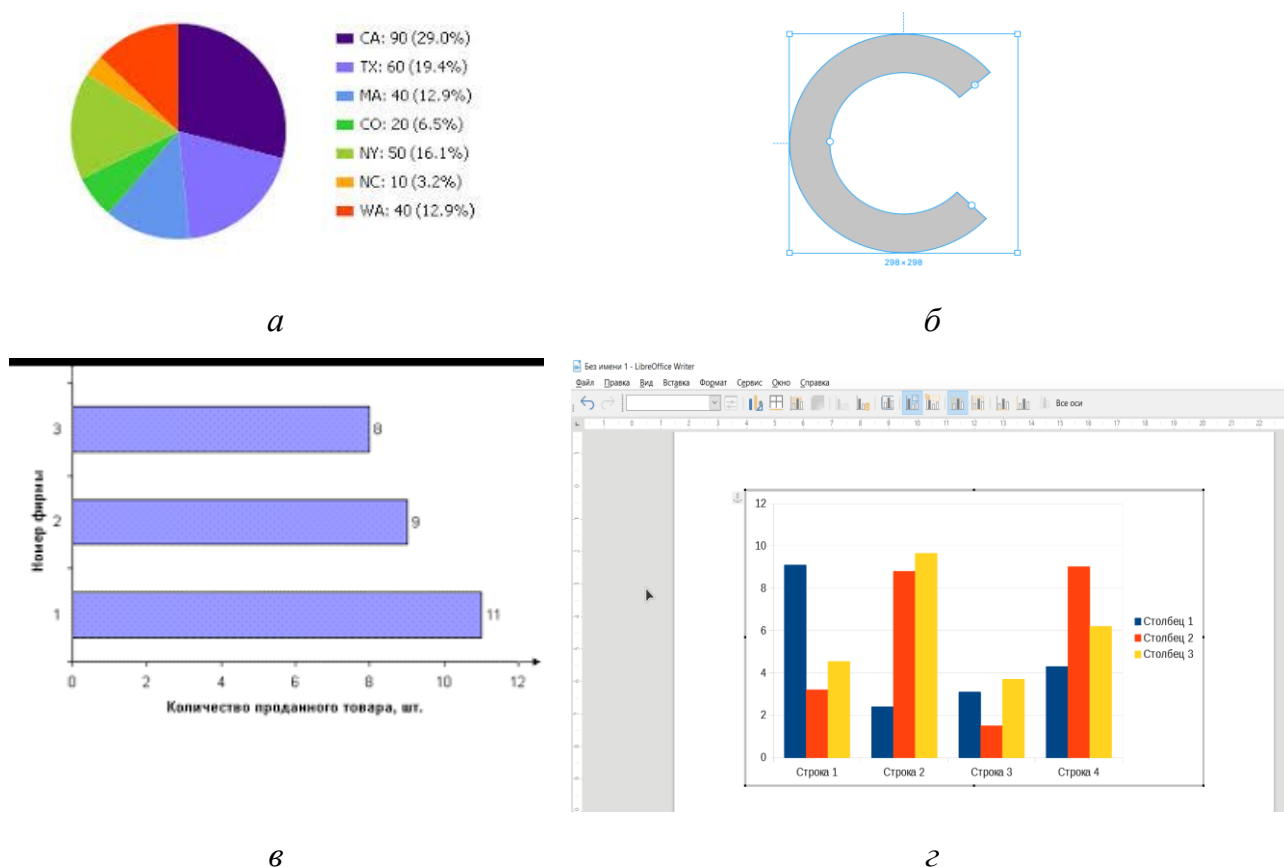


Рисунок 1.11 – Діаграми: *а* – кругові; *б* – кільцеві; *в* – лінійчаті; *г* – стовпчикові [14]

Не зважаючи на наочність інформації, головним етапом дослідження є вибір типу діаграми, що залежить від того, яку інформацію необхідно донести та знань та кваліфікації аудиторії, яка буде сприймати цю інформацію. За допомогою діаграм увагу можна зосередити на тенденціях, проте цей метод не підходить для зіставлення даних з маленькою різницею та малих коливань.

1.3.4 Інфографіка і картографія

Інфографіка (рисунок 1.12) є графічним способом подання інформації, даних та знань.

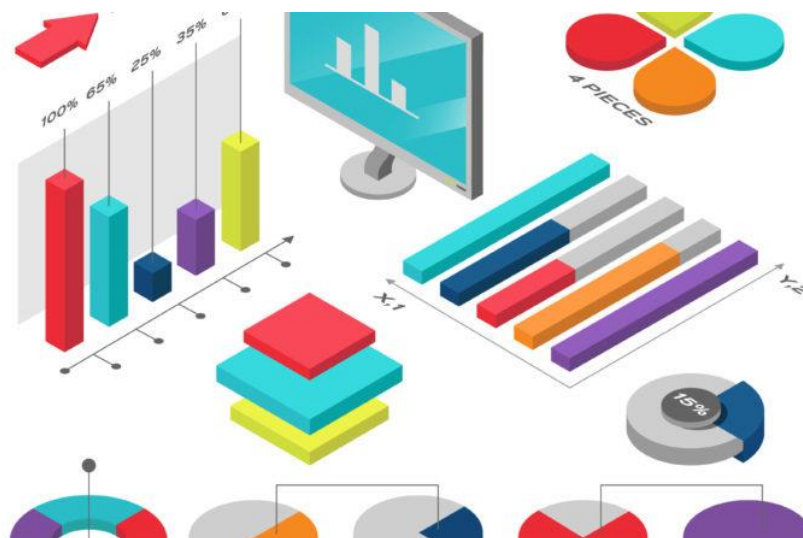


Рисунок 1.12 – Інфографічне надання результатів [19]

Візуалізація оповідань – полегшує восприяття довгих історій, надає зручності для роботи в соціальних мережах.

Флоучат – схематичне зображення, яке часто застосовується для демонстрації причинно-наслідкових зав’язків.

Таймлайн – шкала часу – характеризує якісні або кількісні зміни протягом часу, створюючи ілюзії динаміці у зображенні.

Інфорграфічна довідка – складна ілюстрація, відрізняється великою кількістю даних, зокрема числових значень.

Порівняльна інфографіка – застосовується для порівнянні явищ та цифр, дає змогу за допомогою художніх прийомів обробляти велику кількість інформації.

Числова інфографіка – складається з графіків та цифр, демонструє кількісні характеристики дослідного предмета, вимагає від розробника серйозної дизайнерської роботи та креативності.

Фото-інфографіка – метод інфографічної ілюстрації даних, с основу якої покладено спеціально оброблену фотографію, яку доповнено тестовим коментарями та символами.

Картографічні ілюстрації – являють собою карти (рисунк 1.13), зручні для опису з прив’язанням до певної місцевості, на яку можуть бути нанесені інші графічні об’єкти, наприклад діаграми, гістограми тощо.

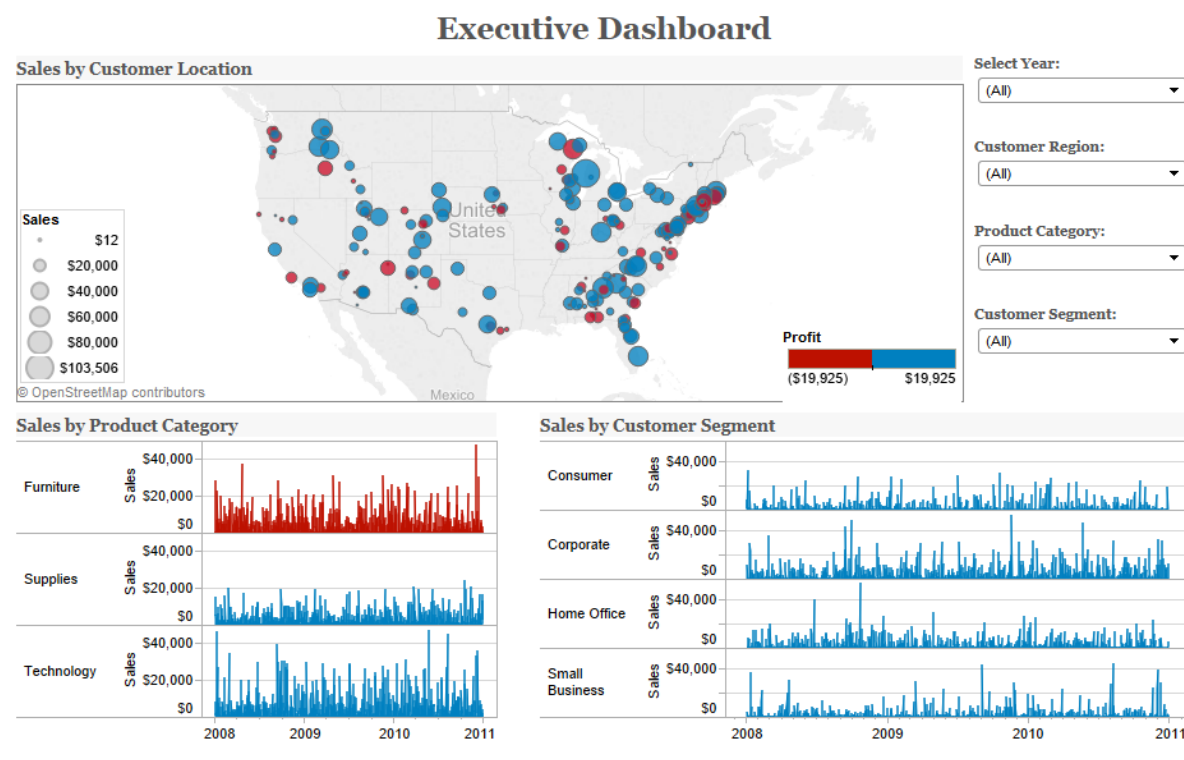


Рисунок 1.13 – Картографічна ілюстрація [19]

1.3.5 Теплові карти (рисунк 1.14)

Метод теплових карт (*heatmap*) ґрунтується на принципах візуалізації процесів з використанням кольорових індикаторів. При цьому зберігається таблична форма надання інформації: числа у комірках забарвлюються певним кольором. Для спрощення процесу застосовується перебудова комірок, тобто пересортування стовпчиків та стрічок з метою перегрупування інформації.

Вибір кольорової гами формується за генним принципом, пов’язаних з експресією (активністю) генів. Прийнято, якщо експресія генів знаходиться на невисокому рівні, то він забарвлюється у один з зелених кольорів частини спектра. Ген з високою активністю забарвлюється у червоні види спектра.



Рисунок 1.14 – Теплова карта [19]

Визначений підхід є ефективним при візуалізації процесу або результатів роботи з використанням принципів генетичних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації.

1.3.5 Презентація і аналіз даних

Презентація є самим сучасним методом демонстрації результатів розробок та їх порівняння з існуючими даними. В основу доведення інформації до відома аудиторії покладено принципи швидкого прототипування, тобто створення великої кількості різних візуальних уявлень про одні й теж факти, обставини, процеси тощо. Метою є первинне оцінювання набору даних, взаємозв'язків, спрощених залежностей. Цей підхід має назву *Exploratory data analysis* ([EDA](#)), це один із інструментаріїв *data mining*'а, передбачає оброблення результатів у так званому «черновому» вигляді, яке може здійснювати один фахівець (рисунок 1.15). Етапи роботи полягають у виявленні закономірностей (вільний пошук), використанні виявлених закономірностей для передбачення невиявлених значень (прогностичне моделювання), аналіз виключень для виявлення і толкування аналогій в знайдених закономірностях.



Рисунок 1.15 – Структура *data mining*'а [18]
[скриншот російською мовою]

Ускладнення рішень передбачатиме застосування інструментаріїв нейронних мереж, генетичних алгоритмів, побудови дерев знань, кластерів та ін., що створює теоретичні передумови для формування баз даних.

1.3.6. Інтерактивний сторителлінг (рисунок 1.16).

Інтерактивний сторителлінг являє собою графічну інтерпретацію певних подій, результатів випробувань, які доповнюються анімаційними ефектами. Застосовується як і інтерактивні медіатехнології пізнання явищ, процесів, засвоєння навичок тощо.

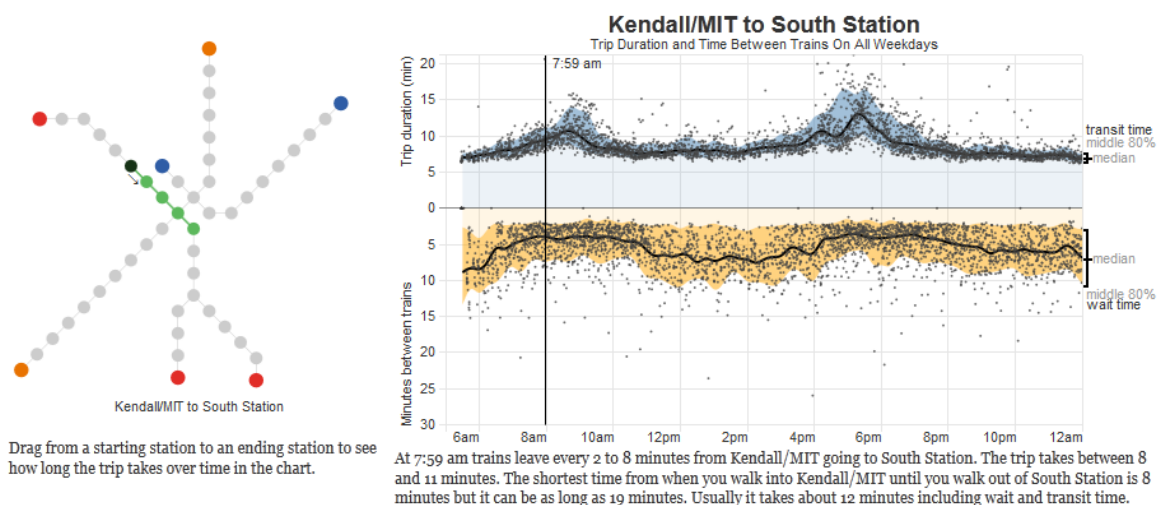


Рисунок 1.16 – Інтерактивний сторителлінг [19]

Таким чином, узагальнена класифікація за об'єктами візуалізації має вигляд, наведений на рисунку 1.17.



Рисунок 1.17 – Об’єкти візуалізації [14]
[скріншот російською мовою]

1.4 Побудова графічної інтерпретації експериментальних і теоретичних досліджень у техніці

Розв’язання технічних задач вимагатиме високої кваліфікації інженерів. Побудова графічної інтерпретації розрахункових даних та експериментальної інформації ґрунтується на певній математичній формі подання та оброблення результатів. Найбільш розповсюдженою формою фіксування даних вважаються тимчасові ряди даних (*Time-Series Data*) – набори значень, що змінюються протягом часу [4]. Часто під час досліджень виникає необхідність одночасного порівняння великої кількості рядів: для цього використовуються горизонтальні графіки (*Horizon Graphs*). Це є ефективним методом збільшення щільності запису даних із тимчасових рядів, який застосовується для попереднього огляду. На рисунку 1.18 наведено три вила таких графіків: на позиції *a* наведено стандартну діаграму

з областями позитивних значень (червоний колір) та негативних значень (синій колір). На рисунку 1.18б (дзеркало) негативні значення розташовуються у тому місці, що й позитивні значення: як результат – здвоєння щільності запису даних в області діаграми. Третій вид діаграми (рисунок 1.18в) для створення вкладених форм ще раз подвоює щільність даних шляхом поділу графа на групи та шари. Як результат – діаграма, яка зберігатиме розділення даних, але застосовується лише чверть простору. Не зважаючи на те, що горизонтальний графік підлягає більш тривалому вивченню, він вважається більш ефективним, ніж стандартний через невеликий розмір діаграми.

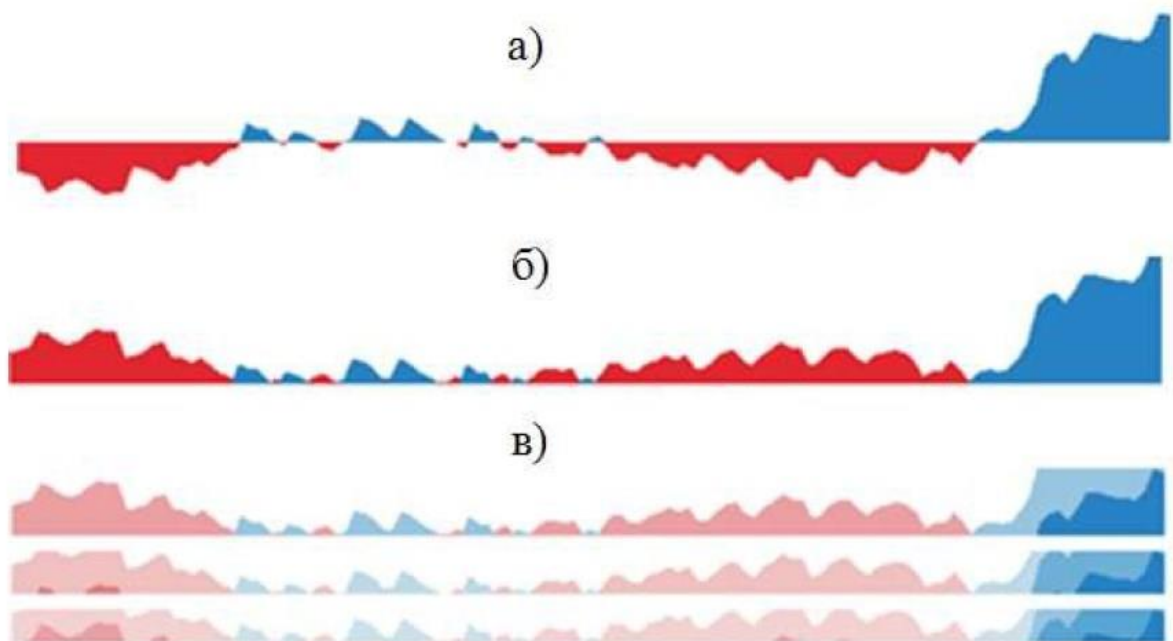


Рисунок 1.18 – Горизонтальні графіки [14]

Принципи побудови графіків «стебел і листя» (*Stem-and-Leaf Plots*, рисунок 1.19) ґрунтуються на розташуванні цифр по вертикалі у відповідності з першою змінною, а потім по горизонталі – розташовуються у вигляді цифр у кожній комірці для другою змінної. Це є мінімалістичним уявленням частотного розподілу, де замінюються «інформаційно порожні» бари традиційно стовпчикової діаграми. Це дає змогу замінити як загальний розподіл, так вміст кожної з комірок.

0	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	8	8	8	8	8	8	9
1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	6	7	7	8	9	9	9	9	9	9		
2	0	0	1	1	1	5	7	8	9																								
3	0	0	1	2	3	3	3	4	6	6	8	8																					
4	0	0	1	1	1	1	3	3	4	5	5	5	6	7	8	9																	
5	0	2	3	5	6	7	7	7	9																								
6	1	2	6	7	8	9	9	9	9																								
7	0	0	0	1	6	7	9																										
8	0	0	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	5	6	7	7	7	9															
9	1	3	3	5	7	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 1.19 – Графік «стебел і листя» [14]

Графік «квантіль– квантіль» (*Q-Q, quantile - quantile plot*, рисунок 1.20) порівнює два ймовірнісних розподіли шляхом побудови графіків квантілей друг напроти друга. Якщо вони є схожими, нанесені значення будуть розташовуватися приблизно уздовж центральної діагоналі. Якщо дві величини лінійно пов'язані, то вони будуть знов розташованими уздовж лінії, хоч й з іншим нахилом і інтерсептом.

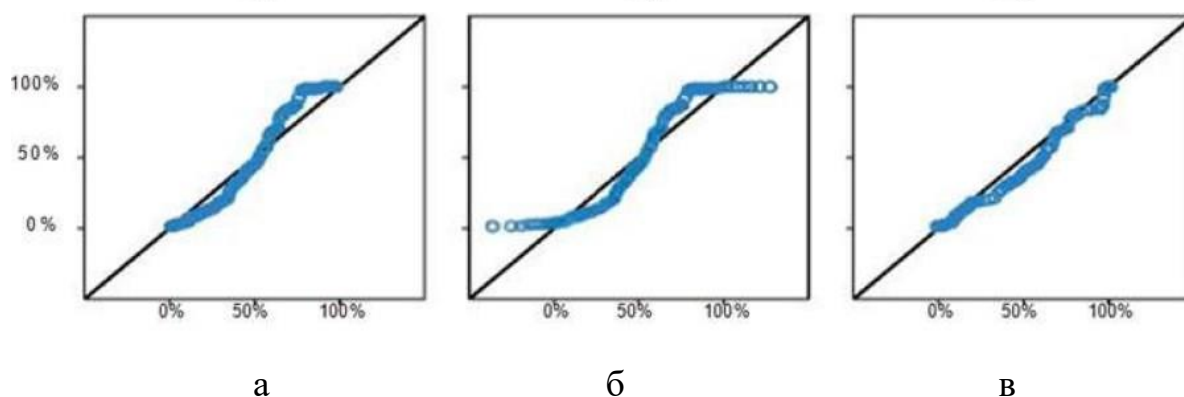


Рисунок 1.20 – Графік «квантіль– квантіль» [14]:

а – рівномірний розподіл; б – гаусовський розподіл; в – змішаний розподіл (складається з трьох гаусовських)

Хороплет-карти (*Choropleth Maps*, рисунок 1.21) застосовуються випадках багатоваріантного аналізу, у просторі параметрів, які не вимагатимуть особливої мотивації. Оформлення результатів здійснюється за принципом колір–точка, або за допомогою ліній різної густини.



Рисунок 1.21 – Хороплет-карти [14]

Особливу групу являють собою засоби візуалізації ієрархій (рисунок 1.22). Діаграми «вузли–зв’язки» (*Node-link diagrams*) – тип візуалізації даних, у яких поєднано входи (вузли) та їх співвідношення (зв’язки), для чого доцільно використовувати системи декартових та полярних координат. Діаграми суміжності (*Adjacency Diagrams*) – це діаграми «вузли–зв’язки», де вузли зображені у вигляді сполучної зони (кола або стовпчики) та розташовуються в залежності від ієрархії. Діаграми типу *iceberg* (рисунок 1.22) схожі на діаграму «вузли–зв’язки», але корневій вузел розташовано зверху, а знизу розташовані дочірні вузли. Не зважаючи на те, що вузли заповнюють весь простір, можна розташовувати кодування довжини для вказання розмірів. Таким чином, утворюються ще один вимір, який складно показати в діаграмі «вузли–зв’язки».

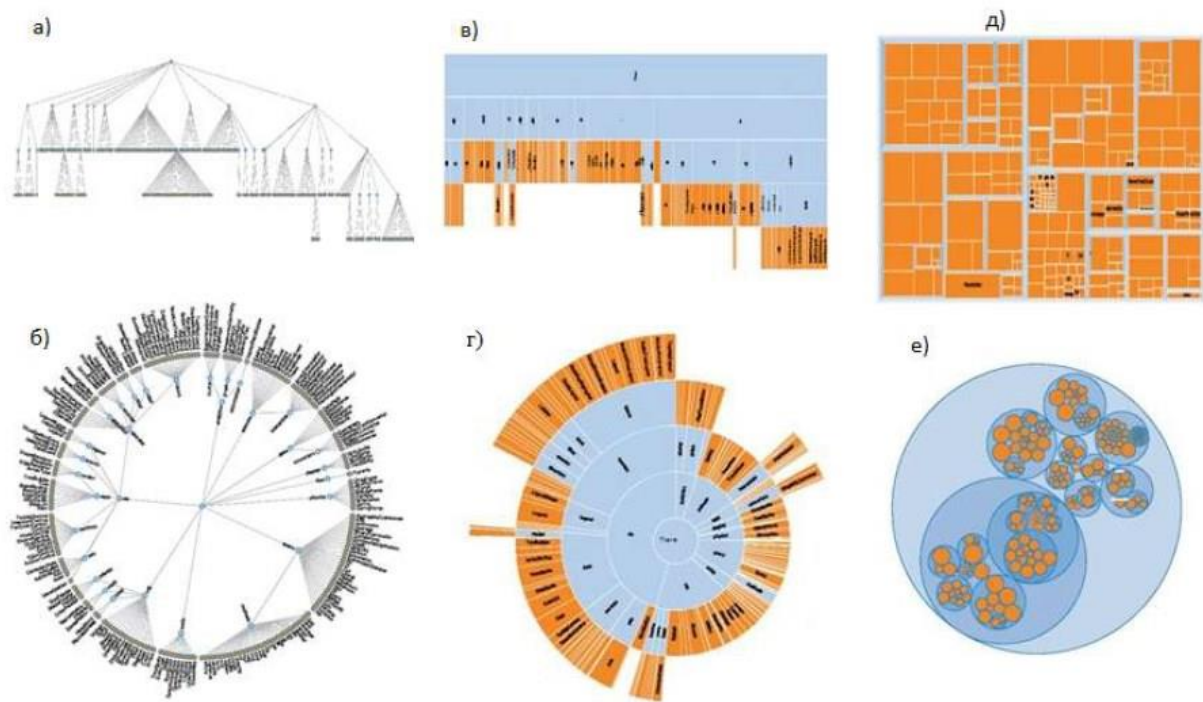


Рисунок 1.22 – Діаграми для візуалізації ієрархій [13]:

a, б – діаграми вузли–зв’язки у декартових координатах (Cartesian node-link) та полярних координатах (Radial node-link); *в, г* – діаграми *Icicle tree layout* в декартових і полярних координатах; *д, е* – діаграми з обмеженнями (прямокутники та кола)

При дослідженні систем управління застосовується теорія графів [3], який також використовується в процесах опису мереж при вирішенні фізичних, технічних, управлінських задач. Графи типу *Force-directed Layouts* (рисунок 1.23 а) надають уявлення фізичним системам: фізичне моделювання передбачатиме розташування вузлів, при цьому використовуються методи апроксимації.

Граф типу *Arc diagram* (рисунок 1.23 б) являє собою власний стиль уявлення графа, у якому вершини розташовані уздовж прямої а евклідовій площині, а ребра рисуються у вигляді напівкіл на одній з двох напівплощин, або у вигляді рівних кривих, утворених напівколами. При рішенні технічних задач дугові діаграми типу *Arc diagram* застосовуються для виявлення збігів експериментальних, розрахункових та вибірових даних.

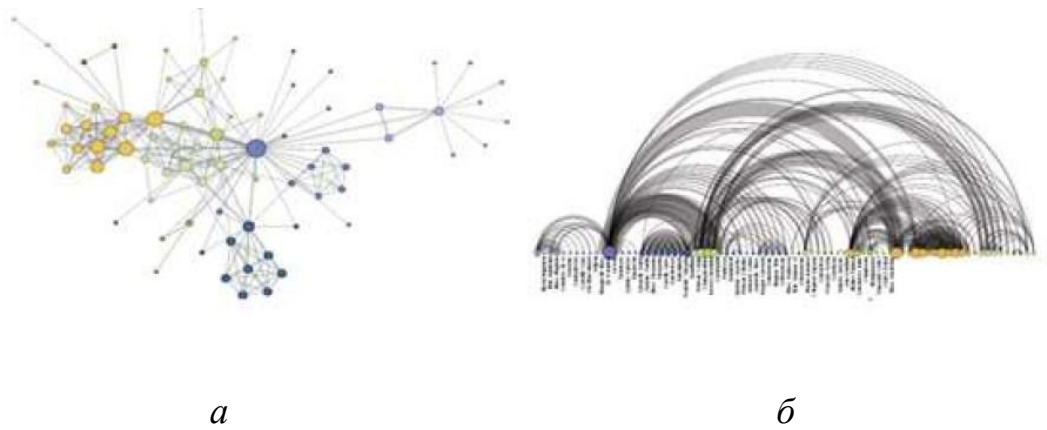


Рисунок 1.23 – Візуалізація графів [13]:

а – Force-directed layout, б – Arc diagram

Робота [13] акцентує увагу на двох методах аналізу структури багатовимірних даних: перший – полягатиме у візуалізації даних з використанням лінійних методів зниженні розмірності, нелінійних відображень, застосування багатовимірних шкал, кривих, що заповнюють простір. Другий метод – це автоматичне угруповання за допомогою факторного і кластерного аналізу об'єктів та ознак, зокрема ієрархічного угруповання, визначення точок згущення.

1.5 Програмне середовище та інформаційні пакети для візуалізації експериментальних і розрахункових результатів при вирішенні наукових і технічних задач

Сучасні графічні системи характеризуються достатньою виробничістю для створення складних анімаційних та динамічних ефектів. Проте задачі проєктування технічних об'єктів є самими складними. Проаналізуємо сучасні програмні пакети та бібліотеки, застосовування яких допомагає вирішувати проблема складної графічної візуалізації.

1.5.1 Бібліотека OpenGL (Open Graphics Library) [20]

Бібліотека *OpenGL* є не об'єктно-орієнтованою, а процедурною бібліотекою та являє собою високоефективний програмний інтерфейс до графічного апаратного забезпечення, містить більш ніж 300 функцій для

малювання складних тривимірних сцен із простих примітивів. Ефективна реалізація *OpenGL* існує для [Windows](#), [Unix](#)-платформ, [PlayStation 3](#) і [Mac OS](#). На платформі [Windows](#) конкурує з [Direct3D](#).

Основним принципом роботи *OpenGL* є одержання наборів векторних графічних примітивів у вигляді точок, ліній, трикутників з наступною обробкою отриманих даних та побудовою растрової картини на екрані (у пам'яті). Векторні трансформації і растерування виконуються за допомогою графічного контейнеру *graphics pipeline* з автоматичним записом. Абсолютна більшість команд здатні додавати графічні примітиви на вхід до конвейєру або конфігурують конвеєр на різне виконання трансформацій.

OpenGL є низькорівневим процедурним API, що вимагатиме від програміста точної послідовності шагів задля побудови растрового графічного уявлення дослідного процесу, тобто застосовується імперативний підхід. Це й є основною відміною від дискріпторних підходів, коли всі сцена передається у вигляді структури даних та будується на екрані. Не зважаючи до вимог ретельності та уважності до програміста, застосування бібліотеки *OpenGL* надає можливості впровадження інноваційних підходів. Разом з бібліотекою *OpenGL* можуть застосовуватися декілька допоміжних бібліотек, які домагатимуть налаштуванню роботи бібліотеки у даному середовищі або виконувати більш складні завдання щодо візуалізації, які, в свою чергу, реалізуються за допомогою примітивних функцій *OpenGL*. Працювати з бібліотекою *OpenGL* мають можливості програмісти з *C++*, *Delphi*, *Fortran* і навіть *Java* і *Python*.

1.5.2 MS Excel [20]

Застосування *MS Excel* ґрунтується на роботах з електронними таблицями, до яких занесено числові значення. Це є самим розповсюдженим, самим простим способом обробки експериментальних та розрахункових даних. Можливості *MS Excel* включають у себе:

- автоматизація усіх підсумкових обчислювань;

- можливість здійснювати однотипні розрахунки з великим набором даних;
- здійснювати табуляцію функцій і формул;
- підготовлювати документацію у табличному вигляді з графічною інтерпретацією результатів;
- обробляти експериментальні результати;
- здійснювати табулювання функцій та формул;
- можливість розв'язувати задачі за допомогою підбору значень з різними параметрами;
- здійснювати пошук оптимальних рішень для обраних параметрів;
- будувати графіки і діаграми за вже введеними даними.

1.5.3 *MatLab* [5]

MatLab (*Matrix Laboratory*) – пакет прикладних програм, які застосовуються для розв'язання наукових, технічних та інженерних задач, працює на таких операційних системах як [*Linux*](#), [*Mac OS*](#), [*Solaris*](#), [*Windows*](#).

До складу системи *MatLab* входить потужна графічна підсистема, яка підтримує засоби візуалізації на екран двовимірної та тривимірної, а також презентаційної графіки. Робота з графічними об'єктами містить декілька рівнів: команди та функції для побудови графіків у прямокутних і полярних координатах; тривимірних поверхней; ліній рівня анімацій. Графічні команди високого рівня автоматично контролюють масштаб, вибір кольору, не вимагатиму маніпуляцій з властивостями графічних об'єктів. Відповідно низькорівневий інтерфейс забезпечується дескрипторною графікою, тобто кожному графічному об'єкту ставиться відповідна графічна підтримка (дескриптор), на який можна посилатися при зверненні до цього об'єкту.

До недоліків застосування програм *MatLab* слід віднести:

- тривалий, навіть перевантажений операторами, командами, функціями язык, головною метою якого є поліпшення візуального сприйняття;

- вузькоспрямованість, тобто спостерігається відсутність будь-яких інших платформ, де *MatLab* був би корисним;
- дороговартісність програмного забезпечення;
- наявність великого попиту.

1.5.4 Novo Spark Vizualizer [20]

Графічний пакет *Novo Spark Vizualizer* дає змогу виконувати якісний аналіз багатовимірних (зокрема *2D*, *3D*) даних на графічному зображенні. Інтуїтивний інтерфейс використання пакета являє собою зручну оболонку для роботи зі складними наборами багатовимірних даних і вивчення їх властивостей та взаємозв'язків. Продукт надає можливостей порівнювати окремі спостереження або цілісні набори даних. У свою чергу дані можуть створюватися із множини джерел, зокрема текстових файлів зі значеннями, які розділяються комами або іншими роздільниками. Це також можуть бути текстові файли з фіксованою шириною стовпців, бази даних *Microsoft Access*. Інструментом підтримуються всі стандартні операції редагування, які дають змогу групувати вихідні дані за декількома критеріями та вивчати їх поведінку.

1.6 Аналіз невирішених питань та постановка завдань досліджень

Проаналізовано сучасний стан і проблемні питання застосування інформаційних ресурсів для обробки даних стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів, в результаті чого зроблено наступні висновки:

1 Важливим етапом проектування камер згоряння газотурбінних двигунів є стендові випробування з одержанням експериментальних даних щодо вимірювання температур на виході із жарових труб, обробка результатів відбувається у ручному режимі з побудовою таблиць та двовимірних графічних залежностей дослідних параметрів.

2 Проаналізовано методи, які застосовуються у сучасній практиці машинобудування для візуалізації результатів теоретичних і

експериментальних досліджень, це: стандартні пакети обчислювальної гідродинаміки, системи технічного зору, улаштування стендово-експериментальної бази спеціальними інформаційними системами. Визначено їх переваги та недоліки.

3 Наведено огляд сучасних підходів до вирішення практичних задач візуалізації багатовимірних даних, проаналізовано об'єкти і методи візуалізації: побудови шкал, графіків, діаграм, інфографіки та картографії, презентації і аналіза даних, інтерактивного спостерігання. Надано характеристику, визначено, що найбільш перспективними засобами візуалізації зображень є теплові карти; при вирішенні технічних задач дугові діаграми типу *Arc diagram* застосовуються для виявлення збігів експериментальних, розрахункових та вибіркового даних.

4 Визначено переваги і недоліки програмного середовища та інформаційних пакетів, які застосовуються у сучасній практиці машинобудування для візуалізації експериментальних результатів. Комп'ютерна обробка результатів досліджень ґрунтується на математичному перетворенні даних за допомогою програмних засобів.

Серед проблемних питань щодо візуалізації зображень слід виділити: вибірковість даних; осереднення даних, відсів недійних значень у відокремлених точках; вибір графічних редакторів; сприятливість інформації конструкторами; можливість корегування даних у ручному режимі.

Візуалізація розподілу температурних полів являє собою складну науково-практичну задачу, яка функціонально залежить від декількох параметрів. Тому в роботі пропонується застосовувати візуалізацію даних з використанням багатовимірних шкал, кривих, що заповнюють простір.

Мета роботи полягає у ґрунтовному аналізі та проектуванні нової інформаційної системи обробки результатів випробувань камери згоряння газотурбінного двигуна задля підвищення ефективності аналізу та вибору найкращих серед альтернативних варіантів конструктивних рішень.

Завдання досліджень:

1) аналіз проблемних питань обробки даних стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів;

2) дослідження методів і механізмів проєктування інформаційної системи на основі математичного моделювання розподілу температурних полів з візуалізацією зображень;

3) проєктування і реалізація інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів;

4) техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження нової інформаційної системи у конструкторську діяльність науково-виробничого підприємства;

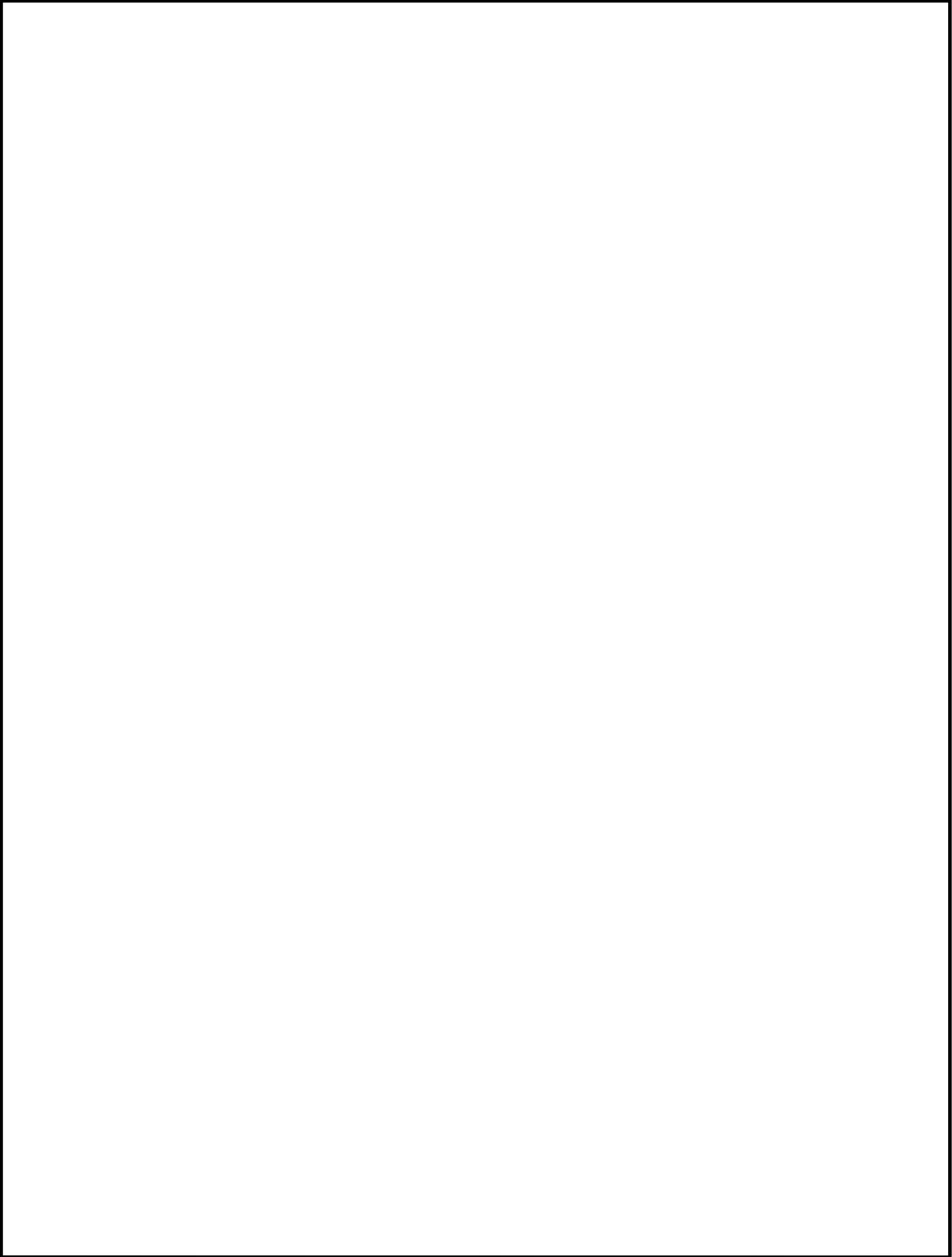
5) розробка заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища на робочому місці інженера-системотехніка випробувальної лабораторії.

Об'єкт дослідження – процеси обробки, систематизації та візуалізації даних експериментальних випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів.

Предмет дослідження – моделі і механізми проєктування інформаційної системи на основі закономірностей побудови плоских ізотерм за експериментальними результатами.

Методи досліджень: об'єктно-орієнтований підхід, математичні методи дослідження операцій і комп'ютерної алгебри.

Інформаційну базу досліджень становлять наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених в області проєктування камер згоряння, розробки інформаційних систем, інтернет-ресурси, сучасний досвід автора.



					ДР.122.6145юмз.02.ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
					МЕХАНІЗМИ ПРОЄКТУВАННЯ ІС НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Студент	Матвеев М.А.							42	
Керівник	Михелев І. Л.					НУК ім адм. Макарова			
Консультант									
Зав.кафедрою	Михелев І. Л.								

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ І МЕХАНІЗМИ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ

2.1 Нормативна документація і методологія постановки дослідження

Інформаційну базу для вирішування сформульованих завдань становлять нормативна документація (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1 – Нормативна документація

Нормативна документація	Предмет дослідження
ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия	Вимірювання температур на вході і на виході із жарових труб кільцевої камери згоряння
М ЖАКИ. 103.667:2013 СК. Испытания стендовые сборочных единиц опытных ГТД и ГТУ. Измерение температур термопарами	
ДСТУ ГОСТ 8.207: 2008. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения	
ГОСТ 24555-81 СГИП. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения	
ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 1. Принцип методу вимірювання та загальні вимоги	Забезпечення точності вимірювання значень
ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги	
МИ 1552-86. Методические указания. ГСОЕИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений	
ГОСТ 2.601-2006 ЕСКД. Эксплуатационные документы	Оформлення результатів досліджень.
ДСТУ 3008-95. Документація і звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення	Підготовка звітної документації.

Методологію дослідження представлено у вигляді наступного алгоритма (рисунок 2.1). Умови проведення експериментальних робіт наведені у таблиці 2.2.

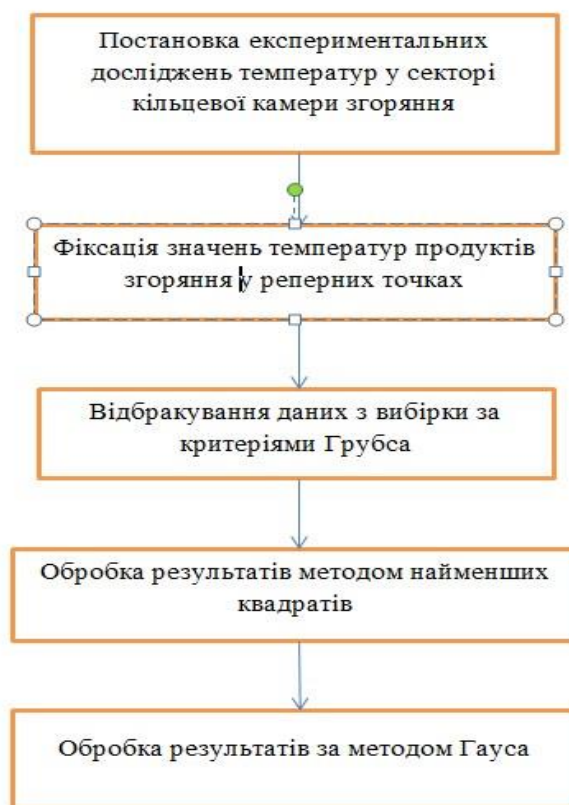


Рисунок 2.1 – Методологія дослідження

Таблиця 2.2 – Постановка експериментальних досліджень температури у секторі кільцевої камери згоряння

Етапи досліджень	Об'єкт досліджень	Вимоги
Об'єкти стендових випробувань	Жарова труба	Натурні збиральні одиниці
	Пальниковий пристрій	
Загальна нерівномірність температурного поля для однієї жарової труби	$t_{\max} - t_{\min}$	Різниця між максимальною і мінімальною температурою газу за жаровою трубою
Моделювання умов	$\Delta t = t_{03} - t_{02}$	Значення є близькими до натурних за підігріванням
Максимальна нерівномірність температурного поля	$\theta_{\max} = \frac{T_{\max} - T_{03}}{\Delta T}$	Вимоги: низький рівень
Вимірювальний діапазон температур	від – 200 до 1200 °С короткочасно 1300 °С	Застосовується перетворювач термоелектричний типу ТХА
	від 600 до 1600 °С короткочасно 1700 °С	Застосовується перетворювач термоелектричний типу ТПР

В процесі вимірювання температур значна сумарна похибка, обумовлена особливостями геометрії дослідного об'єкта, недосконалістю

обладнання або випадковими факторами. Для виключення грубих помилок на практиці використовуються критерії Ірвіна, Романовського, Діксона, Смірнова, Шовене, Грубса та варіаційного розмаху [7]. Для відбракування даних з отриманої вибірки у об'ємі в роботі застосовано критерій Грубса, який є найінформативнішим в дослідженнях технічного стану. Для перевірки одного елемента вибірки об'ємом n на виявлення викиду статистика Грубса матиме вигляд [7]

$$q_1 = \frac{x_n - \bar{x}}{S}, \quad (2.1)$$

де $\bar{x}$ – середнє значення; x_n – результат виміру у певній точці; S – середнє квадратичне відхилення.

Відбракування точок з вибірки наочно показано на табличних результатах вимірювань температур (рисунок 2.2).

20.12.2018-11:19:08

Tmax	T3ср	T2	θ _{MAX}	ΔT	G _{дт.1}	p _{в2м}
1401	919	355	1,853	565	17,63	63,0
697	663	1104	1029	842	0,907	1,328
788	808	1331	1000	882	1,075	1,730
754	963	1401	1029	868	1,148	1,853
746	1074		949	893	0,994	1,275
759	932	886	844	821	0,874	1,022
0,698	0,945	1,463	1,090	0,897	θ _{MID}	
0,767	1,275	1,853	1,195	0,954		θ _{MAX}

Рисунок 2.2 – Відбракування даних з вибірки
[скриншот з таблиці обробки даних]

Наступним етапом досліджень є подальша обробка результатів методом найменших квадратів, який посідає виняткове місце серед методів

математичної статистики. За його допомогою здійснюється оцінювання закономірностей, які спостерігаються на фоні випадкових коливань. Як результат – можливість одержання функцій регресії [7]

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = f(x_1, x_2, \dots, x_k, a_1, a_2, a_m), \quad (2.2)$$

що описує залежність однієї величини Y , значення якої спостерігають за випадковими похибками від групи не випадкових величин x_1, x_2, x_k .

Функція регресії – це функція k змін x_1, x_2, x_k , яка є математичним сподіванням величини Y $X_1=x_1, X_2=x_2, X_k=x_k$.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = M(Y / X_1 = x_1, X_2 = x_2, X_k = x_k) \quad (2.3).$$

Метою проєктування інформаційної системи є математичне оброблення результатів вимірювань температур з побудовою контурних діаграм та епюр розподілу температурних полів на виході із жарових труб камер згоряння газотурбінних двигунів.

2.2 Математичне моделювання розподілу температурних полів

В основу математичного моделювання процесу розподілу температурних полів на виході з жарових труб камер згоряння газотурбінних двигунів покладено метод елементарної комірки з графічною інтерпретацією у вигляді геометричної моделі «виключених» точок» (рисунок 2.3).

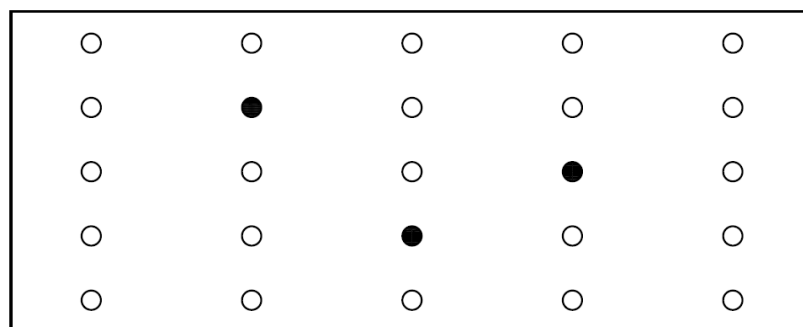
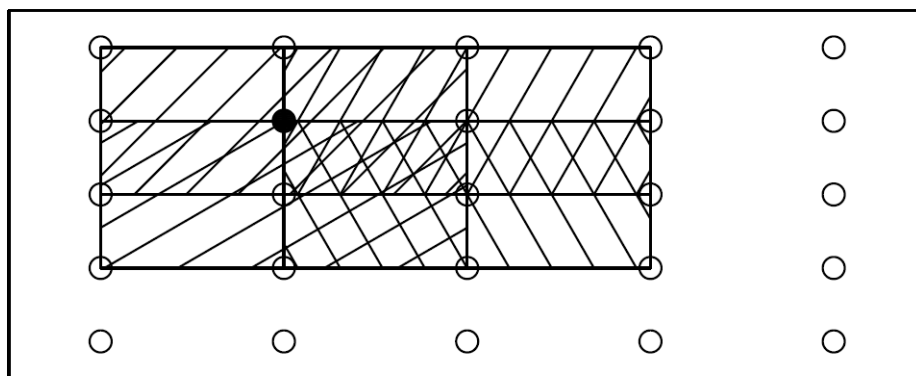


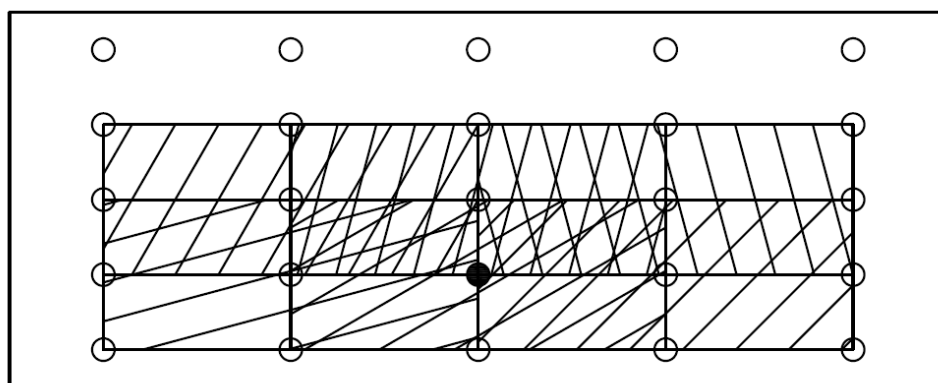
Рисунок 2.3 – Геометрична модель «виключених» точок
(чорним кольором позначено виключені точки)

Фізичний зміст моделі полягатиме у тому, що з метою виключення з системи управління випадкових величин здійснюється опосередкування температур за певний інтервал часу. В основу принципів відбракування

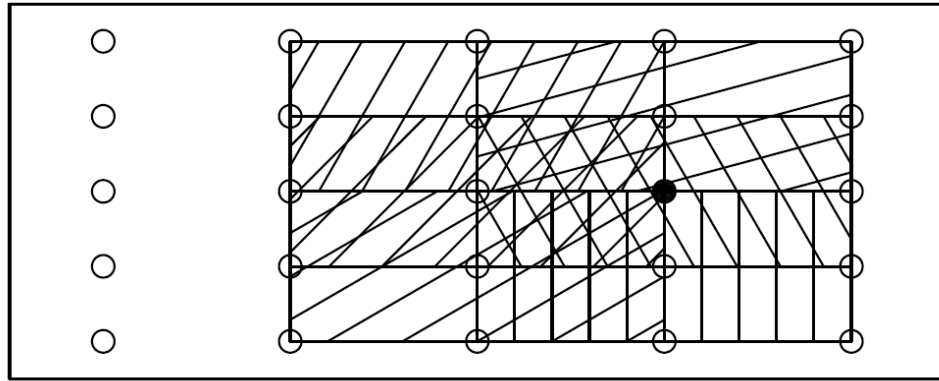
точок покладено граничні умови: $t > t_{02}$, але t не повинні перевищувати очікувані значення, середньоквадратичне відхилення S не повинно перевищувати 50 °С. Під час моделювання введено припущення, що у комірки після відбракування точок методом найменших квадратів залишається менш ніж 9 опорних точок. Процес оброблення результатів у точках елементарної комірки здійснюється методом найменших квадратів у послідовності, як це показано на рисунку 2.4, що дає змогу визначити значення температур у точках, які зазнали відбракування. Навколо кожної точки визначаються прямокутники розміром 3×3 комірки, які й складають елементарну комірку.



а



б



в

Рисунок 2.4 – Моделювання процесу оброблення результатів вимірювань у межах елементарної комірки:

a – у точці 1; b – у точці 2; $в$ – у точці 3

Температура у точці, для якої відсутні данні, визначається для всіх можливих розташувань комірок, при цьому сама точка може розташовуватися в середині чи на границі комірки. Після визначення усіх значень знаходиться їх середнє арифметичне.

Наступним етапом моделювання є побудова двовимірної поверхні розподілу температурних полів з ефектом згладжування, для чого застосовано формули Гауса [21]

$$z = \frac{\sum_i \omega(d_i) \cdot z_i}{\sum_i \omega(d_i)}, \quad (2.4)$$

де z – значення температури; d_i – відстань до точки, яка визначається за формулою

$$d_i = \sqrt{\left(\frac{x - x_i}{dx}\right)^2 + \left(\frac{y - y_i}{dy}\right)^2}, \quad (2.5)$$

де x – базова відстань.

За формулою Гауса [21] функціональну залежність описано як

$$\omega(d) = \exp(-d^2) \quad (2.6)$$

Розроблену математичну модель реалізовано за допомогою наступного алгоритму (рисунок 2.5), який покладено в основу проєктування інформаційної системи.



Рисунок 2.5 – Алгоритм обробки результатів

Процес обробки результатів стендових випробувань можна описати за допомогою UML-моделювання з виявленням акторів системи (таблиця 2.3) та виявленням варіантів використання (таблиця 2.4).

Таблиця 2.3 – Виявлення акторів системи

Актор	Короткий опис
Користувач	Виконує роботу по занесенню значень вимірювань, створює та редагує данні, виконує розрахунки, будує ізотерми розподілу температурних полів

Таблиця 2.4 – Виявлення варіантів використання

Основний Актор	Найменування	Формулювання
----------------	--------------	--------------

Користувач	Авторизація	Цей варіант використання дає змогу користувачеві увійти до системи за своїм аккаунтом для зберігання та редагування своїх результатів вимірювань
Користувач	Автоматичний вибір показників	Цей варіант використання дає змогу користувачеві обрати потрібні йому показники
Користувач	Ручне корегування даних	Цей варіант використання дає змогу користувачеві вручну здійснювати корегування даних
Користувач	Редагування інформації	Цей варіант використання дає змогу користувачеві будувати поверхні розподілу температур

За результатами побудовано діаграму варіантів використання системи розрахунку температурних полів (рисунок 2.6).

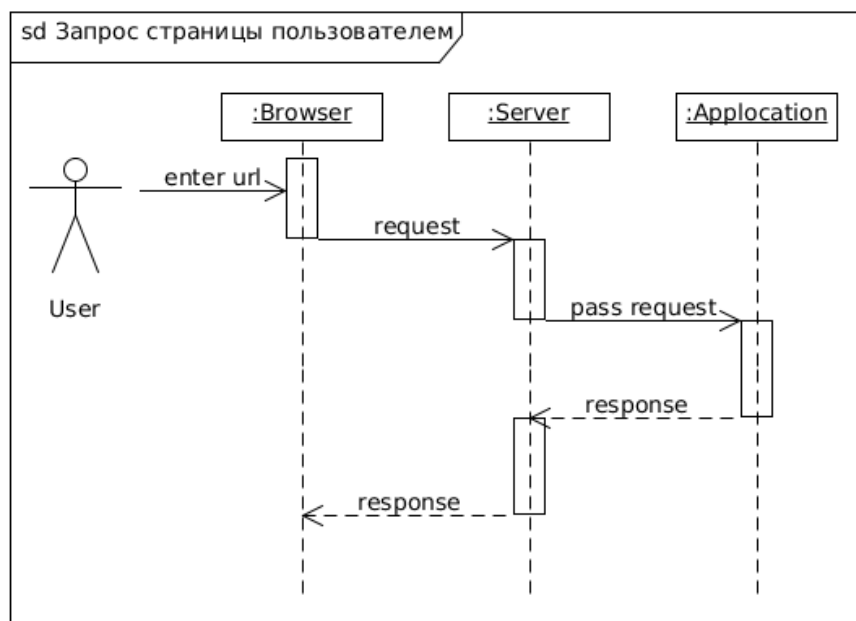


Рисунок 2.6 – Діаграма варіантів використання системи розрахунку температурних полів

2.3 Вимоги до інформаційної системи, вибір мови програмування та написання програмного коду

Інформаційна система для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів повинна задовольняти системним вимогам одноплатного комп'ютера, мати відкритий код та бібліотеки візуального моделювання, можливість формулювання файлів.

На підставі проведеного у попередньому розділі аналізу інформаційних систем для візуалізації зображень експериментальних даних сформульовано наступні невирішені питання, які є головними вимогами при проектуванні нової інформаційної системи, це:

- вибірковість даних;
- осереднення одержаних результатів;
- відсів недійсних значень у відокремлених точках;
- вибір графічних редакторів;
- сприятливість інформації конструкторами;
- можливість корегування даних у ручному режимі.

В основу створення нової інформаційної системи покладено об'єктно-орієнтований підхід [6], математичні методи дослідження операцій [4] і комп'ютерної алгебри [8].

Для розробки програмного забезпечення застосовано мову програмування *COMMON LISP* [15]. На теперішній час мова *COMMON LISP* визнана стандартом та використовується для написання програмних кодів для наукових досліджень, вирішення інженерних задач тощо. Його перевагами вважаються:

- мультипарадигменість – можливість застосовувати та поєднувати у межах однієї мови різні стилі та підходи, наприклад, об'єктно-орієнтований і функціональний;
- динамічність – має на увазі динамічну типізацію з можливістю оголошування типів. Ставлення до програми здійснюється на підставі живого образу; динамічність підтримується можливостями інтерінспекції;
- синтаксис – як єдиноподібна префіксна нотація *S*-виразу;

- програмуємість – можливість додавати до мови власні доповнення, які на рівних правах існують поряд зі стандартними мовними засобами. Цей факт підкріплюється тим, що на відміну від інших платформ, у *LISP*-середовищі програмісту дається можливість впливати (одними тими самими мовними засобами) на всі три етапи існування програми: синтактичний розбір, концепцію та виконання, а не тільки на самий останній етап – виконання.

Класичною моделлю створення великих систем в рамках *LISP* є інтерактивна розробка, де за мету прийнято максимальне наближення до предметної області. Вона включає у себе такі підходи як мета програмування (тобто програмування само цієї мови), проблемно-орієнтованого програмування (враховує адаптацію мови до предметної області) та розробка *data– driven–design*.

Принципи «код – це данні» та «данні –це код» вважаються рівнозначними та означають, що саму програму можна розглядати у вигляді даних, з якими можна та потрібно працювати саме так, як й з будь-якими іншими. Поставлену задачу можна розглядати як і підхід «від даних до написання коду».

Як приклад далі наведено фрагмент коду програми щодо розв’язання системи лінійних рівнянь методом Гауса, які застосовуються для визначення температур у точках за допомогою метода найменших квадратів.

```
(defpackage #:math/ls-gauss
  (:use #:cl #:math/arr-matr)
  (:export convert-to-triangular
            solve-linear-system-gauss-backward-run
            solve-linear-system-gauss))

(in-package :math/ls-gauss)

(defgeneric convert-to-triangular (matrix)
  (:documentation
   "@b(Описание:) обобщенная_функция @b(convert-to-triangular)
   выполняет приведение матрицы @b(matrix) к треугольному виду,
   для решения системы ЛУ методом Гаусса."))

(defgeneric solve-linear-system-gauss (matrix)
  (:documentation
   "@b(Описание:) обобщенная_функция @b(solve-linear-system-gauss)
   возвращает матрицу, содержащую корни решения системы линейных уравнений."))
```

```

Решение системы линейных уравнений выполняется методом Гаусса.
"))

(defmethod convert-to-triangular ((matr <matrix> ))
  "@b(Пример использования:)
  @begin[lang=lisp](code)
    (convert-to-triangular
      (make-instance '<matrix>
        :initial-contents '((0.0 0.0 4.0 12.0)
                           (2.0 0.0 2.0 8.0)
                           (0.0 3.0 0.0 6.0))))
  @end(code)"
  (do ((n (rows matr)) (ie nil) (j 0 (1+ j)) (row-j nil) (row-i nil))
    ((>= j n) matr)
    (setf ie (1- n))
    (do ((i j (1+ i)) (matr-ij nil) (row-ie nil)) ; Цикл перестановки строк в
      j-том столбце которых присутствуют нули
      ((> i ie))
      (setf row-i (row matr i)
        matr-ij (mref matr i j))
      (cond ((= matr-ij 0) ; Перестановка i-товой строки в место полой
        непереставленной
        (setf row-ie (row matr ie) ; Последняя непереставленная строка
          (row matr i) row-ie
          (row matr ie) row-i
          ie (1- ie)) ; Увеличение количества переставленных строк
        (decf i)) ; Уменьшение переменной цикла для выполнения повторной
        итерации
        ((/= matr-ij 0)
        (setf row-i (mapcar #'(lambda (el) (/ el matr-ij)) row-i) ;
        Деление строки на matr-ij элемент матрицы
        (row matr i) row-i))))
      (setf row-j (row matr j)) ; Строка которую необходимо вычесть из других
      строк
      (do ((i (1+ j) (1+ i))) ; Цикл для вычитания j-товой строки из i-товой
        ((> i ie))
        (setf row-i (row matr i)
          row-i (mapcar #'(lambda (el1 el2) (- el1 el2)) row-i row-j)
          (row matr i) row-i))))

  (defmethod solve-linear-system-gauss-backward-run ((matr <matrix>))
    "Обратный ход при вычислении решения системы линейных уравнений.
    Матрица matr должна быть приведена к треугольной;
    "
    (let* ((n (rows matr)) ;; Количество строк в матрице (матрица расширенная)
      (x (matr-new 1 n))) ;; Вектор результат
      (do ((i 0 (+ 1 i)))
        ((>= i n) x)
        (setf (mref x 0 i) 1))
      (do ((i (- n 1) (- i 1)) (summ 0 0))
        ((< i 0) x)
        (do ((j (+ 1 i) (+ 1 j)))
          ((>= j n) 'done2)
          (setf summ (+ summ (* (mref matr i j) (mref x 0 j)))))
        (setf (mref x 0 i) (/ (- (mref matr i n) summ) (mref matr i i)))))

  (defmethod solve-linear-system-gauss ((matr <matrix>))
    "@b(Пример использования 1.1:)
    @begin[lang=lisp](code)
      (solve-linear-system-gauss
        (matr-new 3 4 '(1 2 3 14
                        2 1 1 7
                        3 0 1 2)))
    => Matr 1x3

```

```
[ 1/3      16/3      1      ]
@end(code)
"
(let* ((matr-tr (convert-to-triangular matr))
      (x (solve-linear-system-gauss-backward-run matr-tr)))
  x))
```

Програмне забезпечення написано на мові *COMMON LISP* [5] та реалізує функції вибірки даних, їх осереднення, відсіву недійсних значень, відновлення значень у відокремлених точках з побудовою функцій осереднення за методом Гауса з можливістю корегування даних у ручному режимі.

Код програми наведено у Додатку А.

Для виводу результатів обчислювань застосовано графічну програму *Gnuplot* [12] – вільне програмне середовище для створення дво- або тривимірних графіків. *Gnuplot* має власну систему команд, може працювати як інтерактивно, так і в режимі командної стрічки; використовується як система виводу зображень у різних математичних пакетах [GNU Octave](#), [Maxima](#), [Reduce](#) та ін. Програма є доступною для багатьох платформ (*Linux*, *MS Windows*, *OSX*) і являє собою утиліту командної стрічки зі власним набором команд. Так є можливість виконувати скрипти, підтримується виведення як безпосередньо на екран, так і у файли різних графічних форматів. Утиліта є зручною для візуалізації та глибокого аналізу різних наукових даних. Вбудована скриптова мова дає змогу гнучко задавати різні параметри візуалізації.

2.4 Висновки до розділу 2

1 В основу методології постановки дослідження покладено алгоритм, складений з використанням вузькоспеціальної нормативної документації, який включатиме у себе етапи постановки експериментальних досліджень температур у секторі кільцевої камери згоряння, фіксацію значень температур продуктів згоряння у реперних точках, відбракування даних з вибірки за критерієм Грубса, обробку результатів методом найменших

квадратів з математичним моделюванням температурних полів та згладжуванням поверхні за методом Гауса.

2 В основу проєктування нової інформаційної системи покладено розроблену математичну модель розподілу температурних полів на виході із жарових труб кільцевої камери згоряння: для досліджень застосовано метод елементарної комірки з геометричною моделлю «виключених точок». Обробка результатів здійснюється з використанням критерія Грубса, метода найменших квадратів та побудовою функцій опосереднення за методом Гауса.

3 Складено алгоритм обробки результатів та сформульовано вимоги до інформаційної системи. Програмне забезпечення написано на мові *COMMON LISP*, задля виводу результатів обчислювань застосовано графічну програму *Gnuplot* з керуванням консолей.

					ДР.122.6145юмз.03.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ У ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРІЇ ПІДПРИЄМСТВА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвеев М.А.						56	
Керівник	Михелев І. Л.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант								
Зав.кафедрою	Михелев І. Л.							

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ У ВИПРОБУВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Загальносистемні рішення на основі теорії графів

В основу проєктування нової інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів покладено орієнтований граф (рисунок 3.1) *System-graf* залежності систем, який показує залежність системи температурного поля *TEMPERATURE-FILD* від її складових частин та від інших систем, розроблених за допомогою *COMMON LISP*.

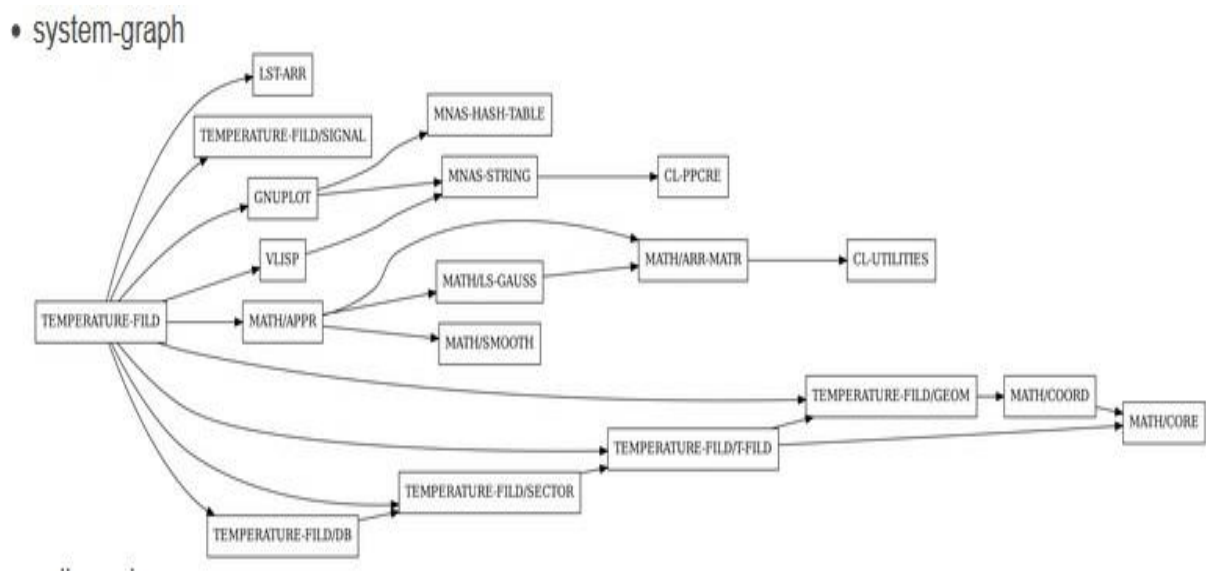


Рисунок 3.1 – Системний граф

Система містить пакети, функції, методи, класи.

System-graph являє собою граф залежностей системи *TEMPERATURE-FILD* від інших систем, які розроблені за допомогою *COMMON LISP*. Стрілками позначені залежності системи *TEMPERATURE-FILD* -> від інших систем.

Call-graf (рисунок 3.2) – граф викликів, вказує на те, що функція або метод під час свого виконання викликатиме виконання -> іншої функції або

метода.

- call-graph

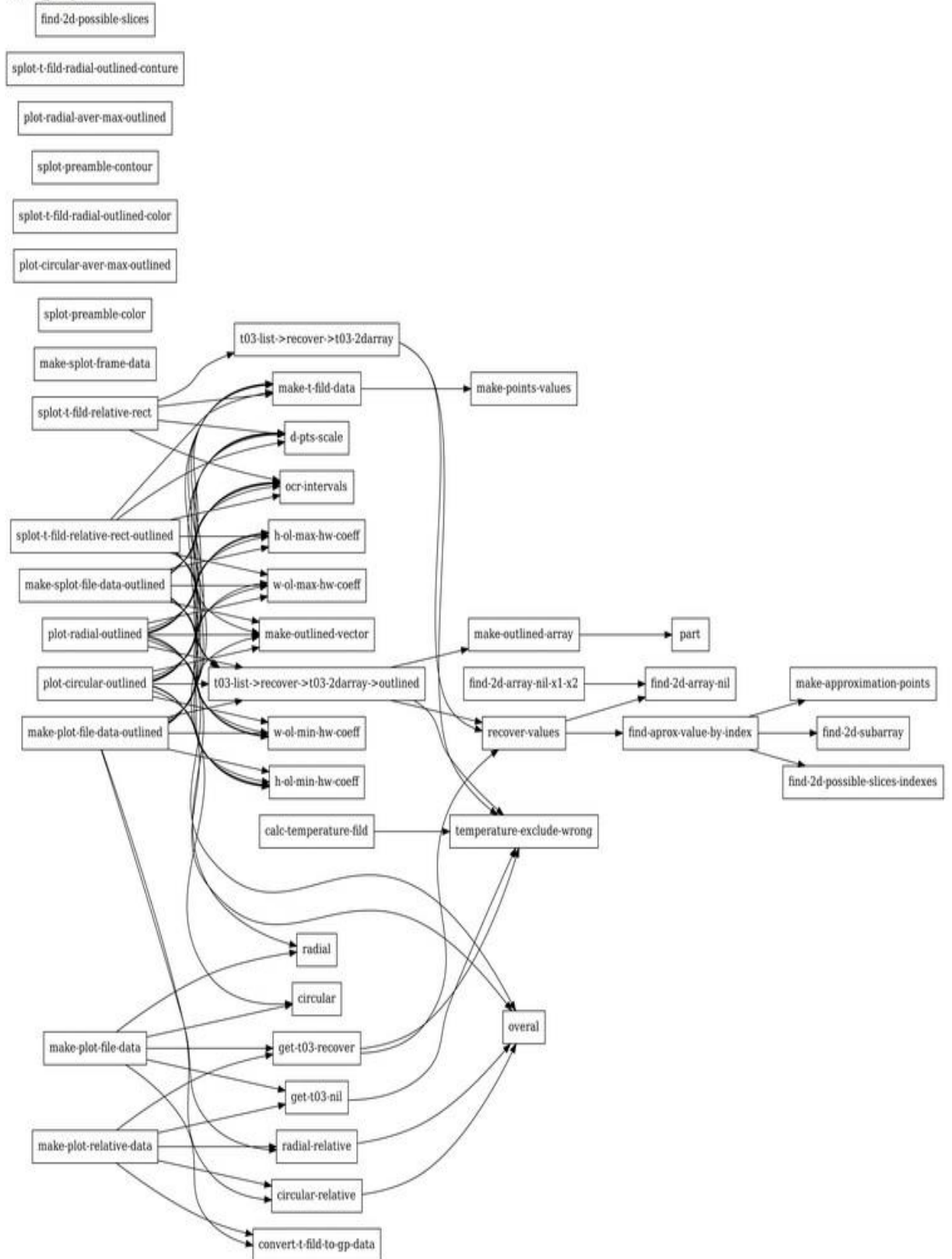


Рисунок 3.2 – Call-graf

Symbol-graph (рисунок 3.1) показує використання функціями або методами -> глобальних змінних.

Class-graph показує залежність класів -> від інших класів.

3.2 Характеристика інформаційної системи та розробка фізичної моделі

Інформаційна система має модульну структуру, яка складається з модуля збирання вибірки даних з файлу тренда; обробки інформації, виконання розрахунків; формування звітів, зокрема у графічному вигляді. Основними вхідними даними, які заносяться до електронного журналу, є час вимірювання, температура та об'ємна витрата повітря на вході в камеру згоряння, температура та витрати палива, температура повітря на виході з жарових труб. Фізичну модель даних наведено на рисунку 3.3.

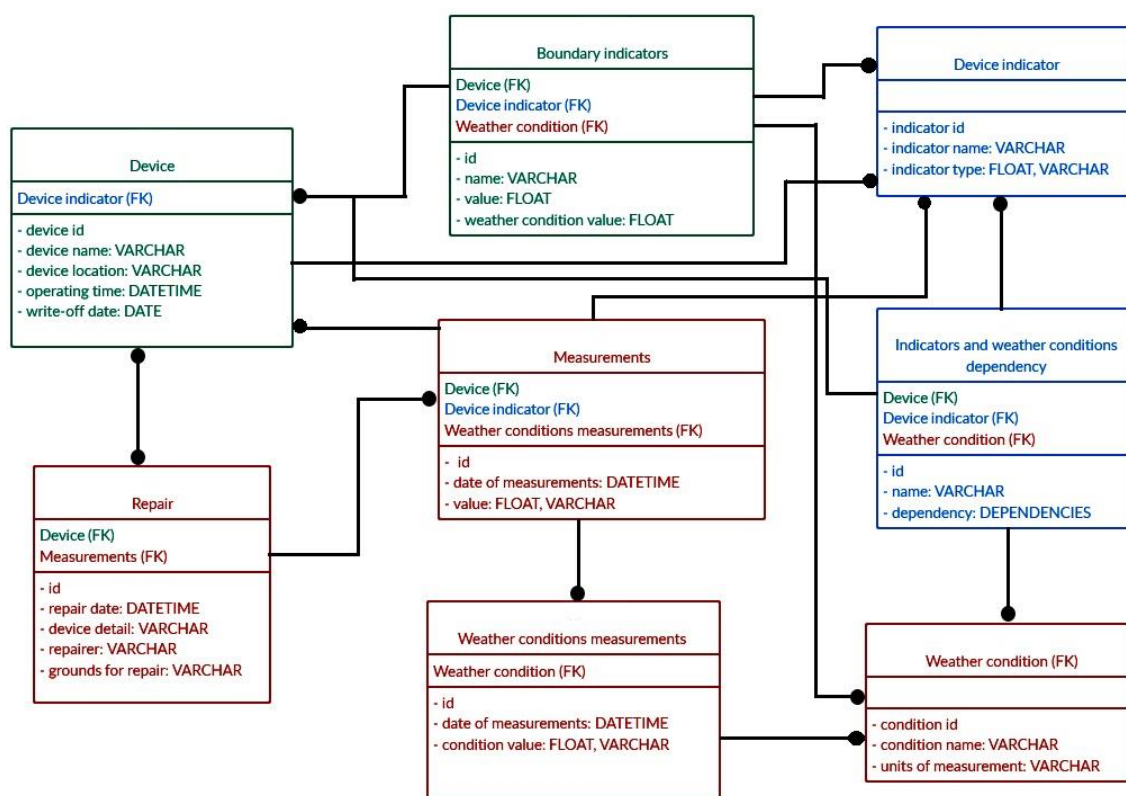


Рисунок 3.3 – Фізична модель даних

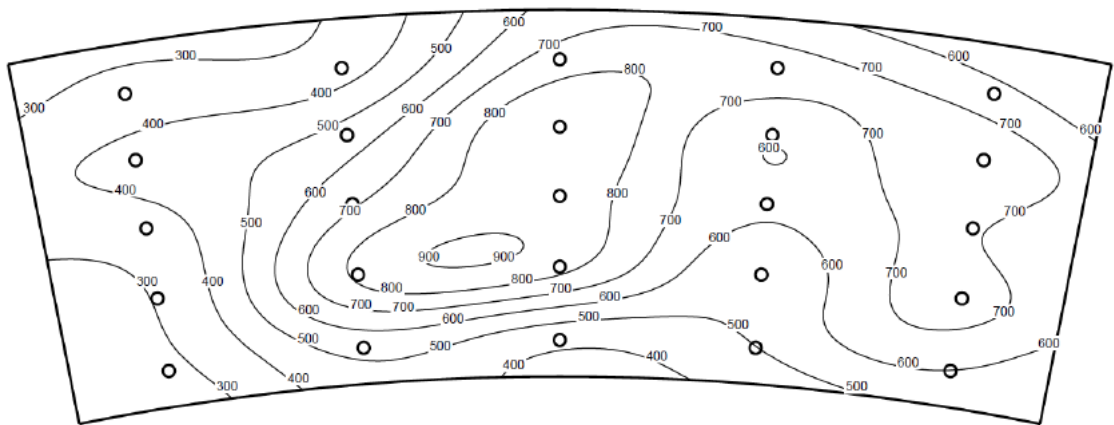
Тестування програми здійснено за принципом «білої скринки»: перевірено коректність побудови всіх елементів програми та вірність їх взаємодії. Принцип тестування «білої скриньки» ґрунтується на аналізі керуючої структури програми. Якщо проведено вичерпне тестування

маршрутів (шляхів) її графа управління, то програма вважається повністю перевіреною. У цьому випадку формуються тестові варіанти, в яких гарантується перевірка всіх незалежних маршрутів програми, знаходяться гілки *True*, *False* для всіх логічних рішень, виконуються всі цикли (у межах їхніх кордонів та діапазонів), аналізується правильність внутрішніх структур даних.

Визначений підхід є ефективним при візуалізації процесу або результатів роботи з використанням принципів генетичних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації.

3.2 Реалізація інформаційної системи на виробничому підприємстві

Вимірювання відбуваються у режимі реального часу з автоматичним збереженням параметрів роботи камери згоряння у файлі тренду; за результатами вибірок будується контурна діаграма температурних полів (рисунок 3.4).



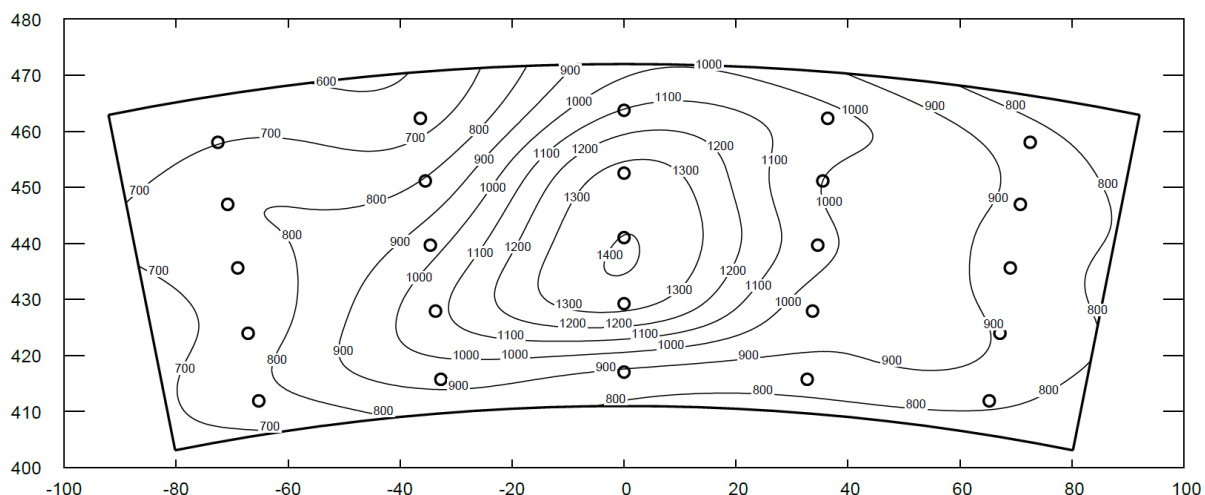


Рисунок 3.4– Контурна діаграма температурних полів

Програмне забезпечення, яке написано на мові *COMMON LISP* реалізує функції вибірки даних, їх осереднення, відсіву недійсних значень, відновлення значень у відокремлених точках з побудовою функцій осереднення за методом Гауса з можливістю корегування даних у ручному режимі. Одержані результати зберігаються у електронному журналі, до якого також заносяться час вимірювання, температури і об'ємні витрати повітря на вході та на виході з жарових труб камери згоряння. Результати представляються у вигляді контурних діаграм температурних полів – плоских ізотерм, за якими визначається відповідність температурних полів технічним вимогам. Побудова діаграм відбувається у вибіркового порядку, який встановлює експерт.

На рисунку 3.5 наведено побудовані у графічному редакторі *Gnuplot* радіальні та окружні епюри відносних температур на виході з жарових труб кільцевої камери згоряння газотурбінного двигуна. Пунктирною лінією нанесено максимальні температури, сплошною – середні.

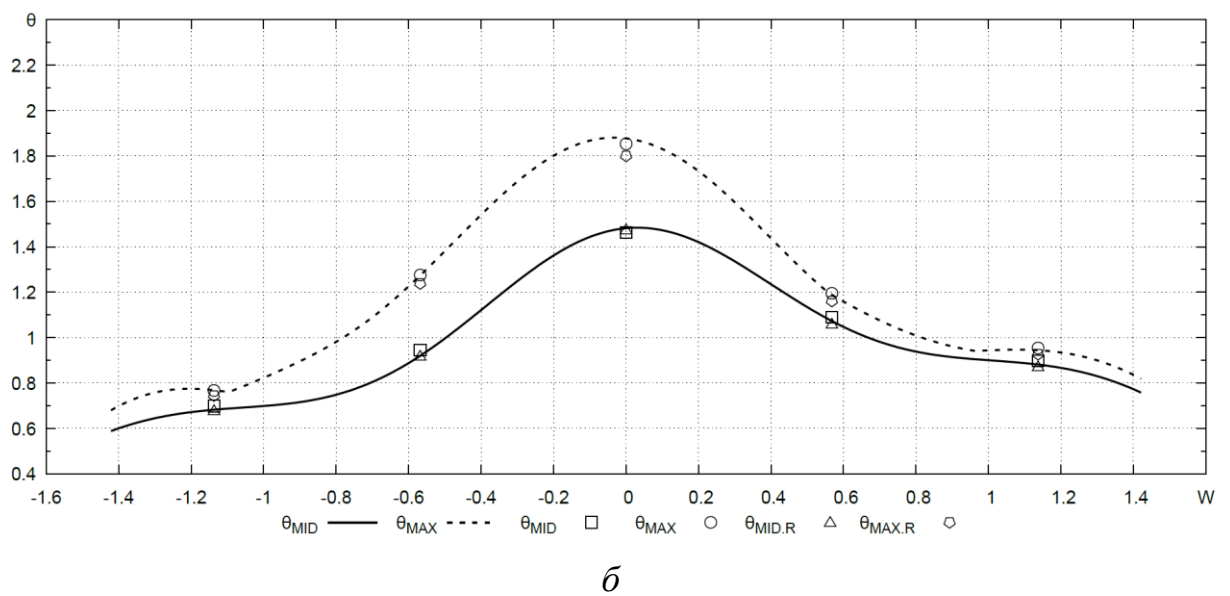
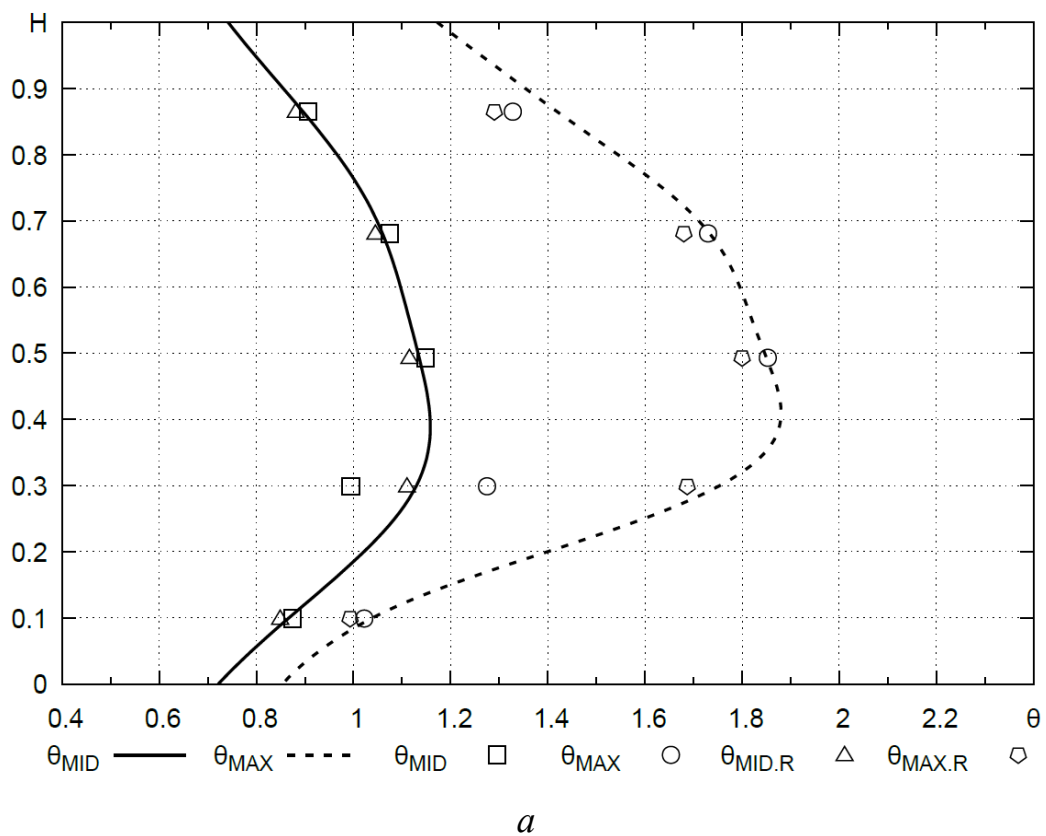


Рисунок 3.5 – Епюри максимальних і середніх відносних температур на виході з кільцевої камери згоряння:

а – радіальна епюра; б – окружна епюра

Результати роботи впроваджено у конструкторському відділенні ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

3.4 Висновки до розділу 3

1 В основу розробки нової інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів покладено створений орієнтований граф *System-graf*, який показує залежність системи температурного поля *TEMPERATURE-FILD* від її складових частин та від інших систем, розроблених за допомогою *COMMON LISP*.

2 Розроблено фізичну модель інформаційної системи. Інформаційна система має модульну структуру, яка складається з модуля збирання вибірки даних з файлу тренда; обробки інформації, виконання розрахунків; формування звітів, зокрема у графічному вигляді.

3 Розробка спрямована на покращення наукового рівня проєктування камер згоряння газотурбінних двигунів, сприяє підвищенню якості конструкторських та дослідно-довершувальних робіт, виключає застосування дороговартісних методів *CFD*-аналізу.

4 Результати роботи впроваджено у конструкторському відділенні ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

					ДР.122.6145юмз.04.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвеев М.А.						64	
Керівник	Михелев І. Л.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант	Михелев І. Л.							
Зав.кафедрою	Михелев І. Л.							

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

4.1 Загальні положення

В сучасних умовах розвитку промисловості суттєво підвищуються вимоги до економічного обґрунтування щодо впровадження нових засобів інформаційного забезпечення проєктних, виробничих та експлуатації сферах машинобудівного підприємства. Даний розділ містить чотири базових варіанти змісту економічної частини:

- техніко-економічне обґрунтування необхідності розробки інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів;
- техніко-економічна оцінка процесу розробки нової технології обробки результатів;
- техніко-економічне обґрунтування проекту робочого місця у випробувальній лабораторії;
- техніко-економічне обґрунтування робіт, пов'язаних з впровадженням у робочий процес виробничого комплексу.

Техніко - економічне обґрунтування інформаційної системи повинно містити:

1. Визначення трудомісткості розробки ІС;
2. Розрахунок витрат на розробку ІС;
3. Визначення можливої ціни розробленої ІС;
4. Економічне обґрунтування вибору комплексу технічних і програмних засобів;
5. Оцінку соціально - економічних результатів функціонування ІС.

4.2 Розрахунок витрат на створення і впровадження підсистеми

Витрати на розробку системи складаються з витрат на зарплату розробника, на амортизацію ЕОМ, на якій виконується розробка, на експлуатацію цієї ЕОМ, на засоби розробки та витрат на матеріали і комплектуючі.

Виходячи з того, що основна заробітна плата розробників програмного забезпечення складає 15000 грн./міс., вартість сучасної ПЕОМ складає 420000 грн. і вартість кіловат-години електроенергії складає 2,204660грн. з ПДВ, розрахуємо вартість розробки системи:

4.2.1. Розрахунок заробітної плати зробимо по формулі 4.1:

$$З_{зп} = ЗП_{роз} * T_{роз}, \quad (4.1)$$

де $ЗП_{роз}$ – зарплата розробника, за місяць;

$T_{роз}$ – тривалість розробки (дослідження, створення, налагодження і впровадження).

Для розробки даної системи необхідно 6 місяців (за експертною оцінкою часу на розробку аналогічних систем). З цього випливає, що загальна сума витрат на заробітну плату складе:

$$З_{зп} = ЗП_{роз} * T_{роз} = 15000 * 6 = 900000 \text{ (грн)};$$

Додаткова заробітна плата складає 20% від основної заробітної плати:

$$З_{дод} = З_{зп} * 0,2 = 180000 \text{ (грн.)}.$$

4.2.2. Відрахування на соціальні заходи складають 38% від основної і додаткової заробітної плати, розраховуються по формулі 4.2:

$$В_{сз} = (З_{зп} + З_{дод}) * 38\% \quad (4.2)$$

$$В_{сз} = (900000 + 180000) * 0,38 = 410400 \text{ (грн)}$$

4.2.3. Витрати на амортизацію ЕОМ, на якій виконується розробка, розраховується по формулі 4.3:

$$З_{амор} = Ц_{варт} * A * T_{роз} \quad (4.3)$$

де $Ц_{варт}$ = 4200000 грн. – балансова вартість ЕОМ;

$A = 40\%$ – амортизація за рік;

$T_{роз} = 0,5$ року – час, необхідний для розробки системи.

$$З_{амор} = 42000 * 0,4 * 0,5 = 84000 \text{ (грн)};$$

4.2.4. Витрати на експлуатацію ЕОМ, на якій виконується розробка, полягають в оплаті споживаної нею електричної енергії і розраховуються по формулі 4.4:

$$З_{елек} = P_{еом} * T_{розр} * N_{рд} * N_{рч} * E_{ел} \quad (4.4)$$

де $P_{еом} = 0,2$ квт./год. – норма споживання електроенергії ЕОМ;

$T_{розр} = 6$ міс. – тривалість розробки;

$N_{рд} = 21$ день – число робочих днів у місяці;

$N_{рч} = 8$ годин – число годин у робочому дні;

$E_{ел} = 2,20466$ грн. – вартість 1 квт. Електроенергії.

$$З_{елек} = 0,2 * 6 * 21 * 8 * 2,20466 = 4440,5 \text{ (грн)}$$

4.2.5. Загальновиробничі і адміністративні затрати складають 50% від основної та додаткової заробітної плати, розраховуються за формулою 4.5:

$$З_{зв} = (З_{зп} + З_{дод}) * 50\% \quad (4.5)$$

$$З_{зв} = (90000 + 18000) * 0,5 = 540000 \text{ грн}$$

4.2.6. Під час розробки інформаційної системи будуть інші поточні затрати, які включають у себе канцелярські товари, флеш накопичувачі та інші витратні матеріали, які складають 10% від основної заробітної плати:

$$В_{пот} = 90000 * 0,1 = 90000 \text{ грн}$$

Для розробки системи необхідні наступні засоби розробки (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Програмні засоби розробки

№	Найменування	Вартість, грн.
1	MySQL Server +J Connector	0
2	Eclipse	0
Разом		0

4.2.7. Загальний кошторис витрат на створення системи наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Загальний кошторис витрат

Найменування витрат	Сума, грн.
Заробітна плата основна	900000,00
Заробітна плата додаткова (20% від п.1)	180000,00
Витрати на соціальні заходи	410400,00
Загальновиробничі витрати	540000,00
Витрати на амортизацію ЕОМ	84000,00
Витрати на експлуатацію ЕОМ	4440,50
Інші витрати	90000,00
Витрати на програмні засоби розробки	0,00
Разом на створення системи	22088400,50

4.3 Витрати на впровадження системи з урахуванням вартості навчання кадрів і витрати на монтаж і налаштування

4.3.1 Впровадження інформаційної системи включає в себе встановлення серверу з високошвидкісним доступом до глобальної мережі Інтернет і джерелом безперервного живлення. Витрати на обладнання наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати на обладнання

Обладнання	Сума, грн
Сервер HP ProLiant DL380p SFF Gen8 Refurbished 525	183180,00
Джерело безперебійного живлення APC Back-UPS 1100VA (BX1100CI-RS)	56300,00
Разом:	23948,00

Доступ до глобальної мережі Інтернет можна вважати вже існуючим і не потребує витрат через специфіку галузі, в якій існують софтверні компанії.

4.3.2. Також необхідно налаштувати операційну систему і серверну частину інформаційної системи

Таблиця 4.4 – Витрати на налаштування інформаційної системи

Найменування робіт/програмного забезпечення	Сума, грн.
ОС “Cent OS”	0,00
Встановлення і налаштування операційної системи	6000,00
Монтаж і налаштування локальної мережі	1500,00
Встановлення серверної частини інформаційної системи	3000,00
Разом:	10500,00

4.3.3. Витрати на технічну підтримку і підготовку кадрів наведена в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Витрати на технічну підтримку і підготовку кадрів

Найменування	Сума, грн.
Підготовка кадрів	30000,00
Технічна підтримка за рік користування інформаційною системою (супроводження системи)	10500,00
Разом:	40500,00

Додаткові капітальні вкладення з урахуванням витрат на проектування, створення і функціонування системи – загальна сума витрат на створення і впровадження системи складає: $220884,50 + 23948,00 + 1050,00 + 4050,00 = 249932,50$ грн.

4.4 Економічна ефективність розробки і впровадження інформаційної системи у робочу діяльність випробувальної лабораторії машинобудівного підприємства

Основним показником економічної ефективності функціонування системи є підвищення ефективності роботи конструкторського відділу за рахунок впровадження нового інформаційного забезпечення.

До числа основних факторів, що визначають приріст прибутку в зв'язку з упровадженням програми, відносяться:

- а) підвищення продуктивності праці;
- б) вивільнення робочого часу.

Крім того, не піддається прямій грошовій оцінці підвищення оперативності керування, якість одержуваних результатів, поліпшення організації праці тощо.

Обов'язковою умовою визначення економічної ефективності програми є оцінка усіх показників у часі, за цінами й іншими нормами, використовуваними для визначення показників, за змістом і колом елементів витрат.

Використання даної системи дозволяє вивільнити 20% робочого часу керівника проекту а також 10% робочого часу програмістів. Таким чином ми можемо сказати, що для реалізації проекту нам необхідно буде на 10% менше програмістів і на 20% менше керівника проекту.

При розрахунку можна вважати, що при виконанні проекту можна знизити навантаження з двох інженерів

Зарплата 0,2 керівника проекту у рік складає
 $\Delta C_k = 25000 * 12 * 0,2 = 600000(\text{грн.})$

Зарплата інженера за рік складатиме
 $\Delta C_n = 1500000 * 12 * 2 = 36000000(\text{грн.})$

Річний економічний ефект розраховується по формулі 4.4:

$$E_{\text{рік}} = \Delta C_n + 2 * \Delta C_k - C_{\text{супр}} - E_n * k \quad (4.4)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень у галузь – для обчислювальної техніки приймається = 0,6;

$C_{\text{супр}}$ – вартість супроводження системи;

k – додаткові капітальні вкладення з урахуванням витрат на проектування, створення і функціонування системи.

$$\begin{aligned} E_{\text{рік}} &= 3600000 + 2 * 600000 - 10500,00 - 0,6 * 2499320,50 \\ &= 3289900,50 (\text{грн.}) \end{aligned}$$

Термін окупності системи розраховується по формулі 4.5:

$$I = \frac{k}{E_{\text{рік}}} = \frac{2499320,50}{3289900,50} = 0,76 \text{ (року)} \approx 9 \text{ місяців} \quad (4.5)$$

Тобто, система окупиться приблизно через 9 місяців.

4.5 Висновок до розділу 4

Надано техніко-економічне обґрунтування щодо перспектив впровадження нової інформаційної системи для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів у робочий процес машинобудівного виробництва.

Визначено, що термін окупності складатиме приблизно 9 місяців.

Впровадження нової інформаційної системи дасть змогу поступово виключити з дослідницьких робочих процесів застосування дороговартісних *CFD*-пакетів.

					ДР.122.6145ЮмЗ.05.ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
					ОХОРОНА ПРАЦІ			Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Матвеев М.А.								
Керівник		Михелєв І. Л.							72	
Консультант		Михелєв І. Л.						НУК ім адм. Макарова		
Зав.кафедрою		Михелєв І. Л.								

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

Мета розділу полягатиме у розробці заходів з охорони праці на автоматизованому робочому місці інженера у випробувальній лабораторії на машинобудівному підприємстві.

5.1 Розрахунок освітлення

Згідно СНіП II-4-79 в приміщенні, де встановлені комп'ютери, необхідно застосовувати систему комбінованого освітлення. Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300лк, а комбінована – 750лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 і 300лк відповідно. Крім того усе поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – ця основна гігієнічна вимога. Іншими словами, ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими, тому що яскраве світло в районі периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності.

5.2 Параметри мікроклімату

Параметри мікроклімату можуть мінятися в широких межах, у той час як необхідною умовою життєдіяльності людини є підтримка сталості температури тіла завдяки терморегуляції, тобто здатності організму регулювати віддачу тепла в навколишнє середовище. Принцип нормування мікроклімату — створення оптимальних умов для теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем.

Обчислювальна техніка є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. У приміщеннях, де встановлені комп'ютери, повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату. У санітарних нормах СН-245-71 встановлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні

умови. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметри мікроклімату	Значення
Холодний	Температура повітря у приміщенні	22...24 °С
	Відносна вологість	40...60 %
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м/с
Теплий	Температура повітря у приміщенні	23...25 °С
	Відносна вологість	40...60 %
	Швидкість руху повітря	0,1...0,2 м/с

Об'єм приміщень, в яких розміщені працівники обчислювальних центрів, не повинен бути менше 19,5м³/на людину з урахуванням максимального числа одночасно працюючих в зміну. Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери, приведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата свіжого повітря, що подається в приміщенні м ³ /на одну людину в годину
Обсяг до 20м ³ на людину	Не менше 30
20...40м ³ на людину	Не менше 20
Більше 40м ³ на людину	Природна вентиляція

5.3 Шум і випромінювання

Шум погіршує умови праці, роблячи шкідливий вплив на організм людини: працюючи в умовах тривалого шумового впливу відчувають дратівливість, головний біль, запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, зниження апетиту, біль у вухах тощо. Такі порушення в роботі організму людини можуть викликати негативні зміни в емоційному

стані людини аж до стресових. Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється втома у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічним напруженням, погіршується мовна комутація.

Тривала дія інтенсивного шуму [вище 80 дБ (А)] на слух людини приводить до його часткової або повної втрати. Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50 дБА. Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути облицьовані звукопоглинальними матеріалами. Більшість вчених вважають, що як короточасний, так і тривалий вплив усіх видів випромінювання від екрану монітора безпечно для людини. Проте вичерпних даних щодо небезпеки дії випромінювання від моніторів на працюючих з комп'ютерами не існує і дослідження в цьому напрямку тривають.

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці оператора комп'ютера звичайно не перевищує 10мкбер/год, а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрану монітора лежить в межах 10...100 мВт/м². Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку. Слід обмежити тривалість робочої діяльності біля екрана, не розміщувати дисплеї концентровано в робочій зоні, вимикати дисплей, якщо на ньому не працюють.

5.4 Ергономічні вимоги до робочого місця

Проектування робочих місць відноситься до числа важливих проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки.

Робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця співробітника повинні бути дотримані наступні основні умови: оптимальне

розміщення обладнання, достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення.

Ергономічними аспектами проектування робочих місць, зокрема, є: висота робочої поверхні, розміри простору для ніг, вимоги до розташування документів на робочому місці (наявність і розміри підставки для документів, можливість різного розміщення документів, відстань від очей до екрану, документа, клавіатури), характеристики робочого крісла, вимоги до поверхні робочого столу, можливість регулювання елементів робочого місця.

Головними елементами робочого місця співробітника є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення співробітника. Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, має бути розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Оптимальне розміщення предметів праці і документації в зонах досяжності представлено на рисунку 5.1.

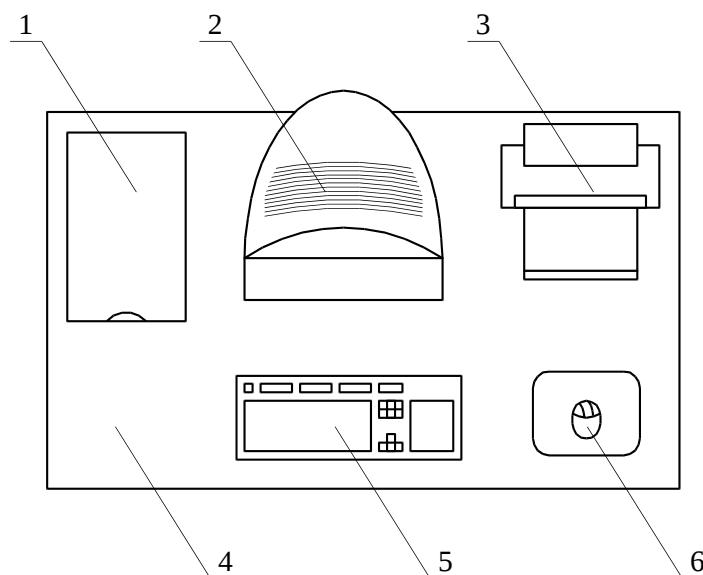


Рисунок 5.1 – Розміщення основних складових робочого місця:

1 – сканер, 2 – монітор, 3 – принтер, 4 – поверхня робочого столу,
5 – клавіатура, 6 – маніпулятор типу «миша»

Для комфортної роботи співробітника стіл повинен задовольняти наступним вимогам:

- висота столу повинна бути вибрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності спираючись на підлокітники;
- нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб програміст міг зручно сидіти і не був змушений підтискати ноги;
- поверхня столу повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору програміста;
- конструкція столу повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менше 3 для зберігання документації, лістингів, канцелярського приладдя).

Висота робочої поверхні рекомендується в межах 680-760 мм. Висота поверхні, на яку встановлюється клавіатура, повинна бути близько 650 мм.

Велике значення надається характеристикам робочого крісла. Так, висота сидіння над рівнем підлоги перебуває в межах 420-550 мм. Поверхня сидіння м'яка, передній край закруглений, а кут нахилу спинки — регульований.

Положення екрану визначається:

- відстанню зчитування (0,6 ... 0,7 м);
- кутом зчитування, напрямком погляду на 20° нижче горизонталі до центру екрану.

Повинна також передбачатися можливість регулювання екрану: по висоті +3 см; по нахилу від -10° до $+20^{\circ}$ щодо вертикалі – в лівому і правому напрямках.

Велике значення також надається правильній робочій позі користувача. При незручній робочій позі можуть з'явитися болі в м'язах, суглобах і сухожиллях. Вимоги до робочої пози користувача наступні:

- голова не повинна бути нахилена більш ніж на 20° ,
- плечі повинні бути розслаблені,

- лікті — під кутом 80° ... 100° ,
- передпліччя і кисті рук — у горизонтальному положенні.

Причина неправильної пози користувачів обумовлена наступними чинниками: немає хорошої підставки для документів, клавіатура знаходиться дуже високо, а документи - низько, нікуди покласти руки і кисті, недостатній простір для ніг. Вагоме значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, густина їх розміщення, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Якщо відстань від очей до екрана дисплея становить 60 ... 80 см, то висота знака повинна бути не менше 3 мм, оптимальне співвідношення ширини і висоти знака складає 3:4, а відстань між знаками – 15 ... 20% їх висоти. Співвідношення яскравості фону екрану і символів – від 1:2 до 1:15.

Під час користування комп'ютером медики радять встановлювати монітор на відстані 50...60 см від очей. Фахівці також вважають, що верхня частина дисплея повинна бути на рівні очей або трохи нижче. Коли людина дивиться прямо перед собою, його очі відкриваються ширше, ніж коли він дивиться вниз. За рахунок цього площа огляду значно збільшується, викликаючи обезводнення очей. До того ж якщо екран встановлений високо, а очі широко відкриті, порушується функція моргання: очі не закриваються повністю, чи не омиваються слізної рідиною, не отримують достатнього зволоження, що приводить до їх швидкої стомлюваності.

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості, позитивно впливає на продуктивність.

5.5 Висновок

Розглянуто заходи щодо охорони праці на автоматизованому робочому місці у випробувальній лабораторії машинобудівного підприємства:

проаналізовано особливості освітлення, розташування приладів, можливості шумоізоляції та захисту від випромінювання.

					ДР.122.6145юмз.06.ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
					ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	Літ.	Аркуш
Студент	Матвеев М.А.						Аркушів
Керівник	Михелев І. Л.						80
Консультант	Михелев І. Л.					НУК ім адм. Макарова	
Зав.кафедрою	Михелев І. Л.						

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Загальні відомості

Охорона навколишнього середовища - відносно молода біологічна галузь науки. Останніми десятиріччями вона почала швидко розвиватись. Цьому сприяла необхідність вирішення таких важливих проблем сучасності, як раціональне використання природних ресурсів, транспортом, запобігання знищенню природних угруповань, збереження генофонду рослинного і тваринного світу. Розглядання питань охорони навколишнього середовища дає уявлення про те, яким чином досягти симбіозу техніки, виробництва і природи - цих не досить узгоджених у наш час компонентів біосфери і соціосфери. Екологізація виробництва - одна з провідних напрямів науково-технічної революції, покликаної не тільки забезпечити узгоджене функціонування природних і технічних систем, а й значно підвищити ефективність останніх.

Екологічна криза торкнулася вже й навколоземних просторів біосфери. Одним із вражаючих наслідків антропогенного забруднення атмосфери стало зменшення загального вмісту озону в атмосфері, перш за все в стратосфері, де зосереджена основна його кількість.

До навколоземних екологічних проблем належить і проблема «парникового ефекту», зумовленого різким зростанням в атмосфері вуглекислого газу, який пропускає сонячну радіацію, але у зворотньому напрямку не пропускає інфрачервоне (теплове) випромінювання. Все це може спричинити глобальне підвищення температури на Землі аж до танення льодовиків.

Необхідність охорони навколишнього середовища відзначено на законодавчому рівні. Закон України «Про охорону навколишнього середовища» був прийнятий у червні 1991 р. У ньому визначаються, правові, екологічні, а також соціальні основи організації навколишнього середовища

в інтересах сьогодення і майбутнього поколінь. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» був прийнятий 16 жовтня 1992 р. Атмосферне повітря є одним з основних життєвий важливих елементів навколишнього середовища. Закон визначає правові й організаційні основи, екологічні вимоги області охорони і використання атмосферного повітря.

6.2 Аналіз факторів забруднення навколишнього середовища

У результаті господарської діяльності людини в атмосфері з'являється велика кількість забруднюючих речовин. Взаємодія атмосферного повітря з водою і ґрунтом призводить до якісних і кількісних змін усієї біосфери в цілому, підсилюючи і прискорюючи небажані зміни складу і структури атмосферного повітря, клімату Землі. Найбільш сильні зміни клімату і якості атмосферного повітря спостерігаються у великих містах. Якщо кисень в атмосферному повітрі буде дуже сильно забруднений усілякими речовинами, то поступово у всього живого на Землі буде скорочуватися термін життя, доки не зменшиться до винищення всіх і всього.

Різноманітне втручання людини в природні процеси в біосфері можна згрупувати за наступними видами забруднень, розуміючи під ними будь-які небажані для екосистем антропогенні зміни:

інгредієнтне (інгредієнт – складова частина складного з'єднання або суміші) забруднення як сукупність речовин, кількісно або якісно далеких природнім біогеоценозам;

параметричне забруднення (параметр навколишнього середовища – одне з його властивостей, наприклад рівень шуму, освітленості, радіації і т.д.), пов'язане зі зміною якісних параметрів навколишнього середовища;

біоценотичне забруднення, що полягає у впливі на склад і структуру популяції живих організмів;

стаціонально-деструкційне забруднення (стація – місце проживання популяції, деструкція – руйнування), яке являє собою зміну ландшафтів екологічних систем у процесі природокористування.

Стрімкий розвиток усіх галузей промисловості, енергетики, транспорту, збільшення чисельності населення й урбанізація, хімізація всіх сфер діяльності людини привели до визначених змін навколишнього природного середовища, у тому числі несприятливих, що полягають головним чином у забрудненні біосфери. Вплив шкідливих речовин антропогенного походження на природне середовище, а так само відгук середовища на ці впливи стають глобальними, всеосяжними. До мобільних джерел забруднення відносяться автомобілі і транспортні механізми, що пересуваються по землі, по воді і по повітрю. У великих містах до числа основних джерел забруднення атмосферного повітря відноситься автотранспорт. Гази двигунів, що відходять, містять складну суміш, їх більш ніж двісті компонентів, серед яких чимало канцерогенів. Наземні транспортні засоби – це механізми, що пересуваються по шосейним і залізничним дорогам, а також будівельне, сільськогосподарське і військове устаткування.

Шкідливі речовини при експлуатації рухливих транспортних засобів надходять у повітря з відпрацьованими газами, випарами з паливних систем і при заправленні, а також з картерними газами. На викиди оксиду вуглецю значний вплив має рельєф дороги і режим руху автомашини. Так, наприклад, при прискоренні і гальмуванні у відпрацьованих газах збільшується зміст оксиду вуглецю майже в 8 разів. Мінімальна кількість оксиду вуглецю виділяється при рівномірній швидкості автомобіля 60 км/г.

Процес роботи газотурбінного двигуна являє собою небезпеку для навколишнього середовища, передусім це: акустичні та теплові випромінювання, хімічне забруднення.

При роботі газотурбінних двигунів виникає забруднення повітря викидами CO, CO₂ та NO, NO₂, які утворюються у смолоскипах викидів газотурбінних двигунів, також треба враховувати специфічні особливості джерел викидів і умов їхнього розсіювання в атмосферному повітрі.

Нижче приведена таблиця 6.1 в якій вказані характеристики газотурбінного двигуна ДН – 80. Данні характеристики відносної об'ємної концентрації забруднюючих речовин у вихлопних газів вимірювались прибором TESTO – 33. Для розрахунку валового викиду забруднюючих речовин використовувалась методика розроблена в Укрніігаз.

Таблиця 6.1 – Екологічні характеристики газотурбінного двигуна
Марки ДН-80

Забруднюючі речовини					
	NO	NO ₂	NO _x	CO	CO ₂
Відносна об'ємна концентрація, ppm	552	0		28	5%
Валовий викид забруднюючі речовини, г/с	23	0	12	26	-

Для порівняння у таблиці 6.2 надано концентрацію речовин у залежності від режиму карбюраторного двигуна.

Таблиця 6.2 – Концентрація речовин у залежності
від режиму роботи карбюраторного двигуна

Режим роботи двигуна	Оксид вуглецю, % по об'єму	Вуглеводні, мг/л	Оксиди азоту, мг/л
Холостий хід	4...12	2...6	—
Примусовий холостий хід	2...4	8...12	—
Середні навантаження	0...1	0,8...1,5	2,5...4,0
Повні навантаження	2	0,7...0,8	4...8

Викиди оксидів азоту максимальні при відношенні повітря – паливо 16:1. Таким чином, значення викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах автотранспорту залежать від цілого ряду факторів: відношення в суміші

повітря і палива, режимів руху автотранспорту, рельєфу і якості доріг технічного стану автотранспорту й ін. Склад і обсяги викидів залежать також від типу двигуна. У таблиці 6.3 показані викиди ряду шкідливих речовин карбюраторного і дизельного двигунів.

Таблиця 6.3 – Викиди (% по об'єму) речовин при роботі дизельних і карбюраторних двигунів

Речовина	Двигун	
	Карбюраторний	Дизельний
Оксид вуглецю	0,5...12,0	0,01...0,5
Оксид азоту	0,005...0,8	0,002...0,5
Вуглеводні	0,2...0,3	0,009...0,5
Бензапирен	до 20 мкг/м ³	до 10 мкг/м ³

Як видно з даних таблиці 6, викиди основних забруднюючих речовин значно нижче в дизельних двигунах. Тому прийнято вважати їх більш екологічно чистими. Однак дизельні двигуни відрізняються підвищеними викидами сажі, яка утворюється внаслідок перевантаження палива. Сажа насичена канцерогенними вуглеводнями і мікроелементами; їх викиди в атмосферу неприпустимі.

У зв'язку з тим, що відпрацьовані гази автомобілів надходять у нижній шар атмосфери, а процес їхнього розсіювання значно відрізняється від процесу розсіювання високих стаціонарних джерел, шкідливі речовини знаходяться практично в зоні подиху людини. Тому автомобільний транспорт варто віднести до категорії найбільш небезпечних джерел забруднення атмосферного повітря поблизу автомагістралей.

Відповідно до формули для середнього питомого викиду (коефіцієнта викиду):

$E_m = (\text{сумарний річний викид забруднюючих речовин}) / (\text{сума річних транспортних показників})$

У таблиці 6.4 приведені ці величини для автомобільних викидів.

Таблиця 6.4 – Середні питомі викиди (коефіцієнти викидів) автотранспорту

Вид забруднюючої речовини	Середній питомий викид (при середній швидкості 31,7 км/г)	
	За годину	На кілометр
Оксид вуглецю	752 г/год.	23,7 г/км
Незгорілі вуглеводні	29,4 г/год.	0,93 г/км
Оксиди азоту	33,2 г/год.	1,05 г/км
Свинець	1,11 г/год.	0,035 г/км
Сумарна кількість вихлопних газів (при 0°)	28,95 м³/год.	0,914 м³/км
Середня витрата палива	2,75 кг/год.	0,087 кг/км

6.3 Заходи запобігання забруднення навколишнього середовища

Природоохоронною є будь-яка діяльність, спрямована на збереження якості навколишнього середовища на рівні, що забезпечує стійкість біосфери. До неї відноситься як великомасштабна, здійснювана на загальнодержавному рівні діяльність по збереженню еталонних зразків недоторканої природи і збереженню різноманітності видів на Землі, організації наукових досліджень, підготовці фахівців-екологів і вихованню населення, так і діяльність окремих підприємств по очищенню від шкідливих речовин стічних вод і відхідних газів, зниженню норм використання природних ресурсів і т.д. Така діяльність здійснюється в основному інженерними методами.

Існують два основних напрямки природоохоронної діяльності підприємств. Перший – очищення шкідливих викидів. Цей шлях «у чистому вигляді» малоефективний, тому що з його допомогою далеко не завжди вдається цілком припинити надходження шкідливих речовин у біосферу. До того ж скорочення рівня забруднення одного компонента навколишнього середовища веде до посилення рівня забруднення іншого. І, наприклад, установка вологих фільтрів при газоочищуванні дозволяє скоротити забруднення повітря, але веде до ще більшого забруднення води. Уловлені з відхідних газів і зливальних вод речовини часто отруюють значні земельні

площі. Використання очисних споруд, навіть найефективніших, різко скорочує рівень забруднення навколишнього середовища, однак не вирішує цієї проблеми цілком, оскільки в процесі функціонування цих установок теж виробляються відходи, хоча й у меншому обсязі, але, як правило, з підвищеною концентрацією шкідливих речовин. Нарешті, робота більшої частини очисних споруджень вимагає значних енергетичних витрат, що, у свою чергу, теж небезпечно для навколишнього середовища. Крім того, забруднювачі, на знешкодження яких йдуть величезні засоби, являють собою речовини, на які уже витрачена праця і які за рідкісним винятком можна було б використовувати в народному господарстві. Для досягнення високих еколого-економічних результатів необхідно процес очищення шкідливих викидів сполучити з процесом утилізації уловлених речовин, що уможливить об'єднання першого напрямку з другим.

Другий напрямок – усунення самих причин забруднення, що вимагає розробки маловідходних, а в перспективі і безвідходних технологій виробництва, які дозволяли б комплексно використовувати вихідну сировину й утилізувати максимум шкідливих для біосфери речовин. Однак далеко не для усіх виробництв знайдені прийнятні техніко-економічні рішення по різкому скороченню кількості відходів, що утворюються, і їх утилізації, тому на даний час доводиться працювати в обох зазначених напрямках.

Піклуючись про удосконалювання інженерної охорони навколишнього природного середовища, треба пам'ятати, що ніякі очисні спорудження і безвідходні технології не зможуть відновити стійкість біосфери, якщо будуть перевищені припустимі (граничні) значення скорочення природних, не перетворених людиною природних систем, у чому виявляється чинність закону незамінності біосфери.

Таким порогом може виявитися використання більш 1% енергетики біосфери і глибоке перетворення більш 10% природних територій (правила одного і десяти відсотків). Тому технічні досягнення не знімають необхідності рішення проблем зміни пріоритетів суспільного розвитку,

стабілізації народонаселення, створення достатнього числа заповідних територій і інших, розглянутих раніше.

Шкідливі домішки в відхідних газах можуть бути представлені або у вигляді аерозолів, або в газоподібному чи пароподібному стані. У першому випадку завдання очищення полягає у вилученні зважених твердих і рідких домішок, що містяться в промислових газах, пилу, диму, крапельок туману і бризів. У другому випадку – нейтралізація газо- і пароподібних домішок.

Очищення від аерозолів здійснюється застосуванням електрофільтрів, методів фільтрації через різні пористі матеріали, гравітаційної чи інерційної сепарації, способами мокрого очищення. Очищення викидів від газо- і пароподібних домішок здійснюються методами адсорбції, абсорбції і хімічних методів.

Адсорбція – це процес поглинання газу чи пари поверхнею твердих тіл (адсорбентів) – силікагелю, активованого вугілля й інших. У випадку низької концентрації і правильного підбору адсорбенту цей метод дозволяє витягати будь-яку домішку з високим ступенем очищення, що досягає 99 %. Адсорбенти використовуються у вигляді зерен розміром 2-8 мм або в пило подібному стані. Забруднений газ пропускається через шар адсорбенту.

Абсорбційний спосіб очищення заснований на різній розчинності компонентів газової суміші в рідині – абсорбенті. Як абсорбенти, що використовуються для очищення газових викидів, застосовується вода, розчини лугів, етанол-аміни й інші рідини. Достоїнством абсорбційного очищення є, насамперед, високий рівень очищення, безперервність процесу, можливість витягу великої кількості домішок і можливості регенерації абсорбенту, а до недоліків – громіздкість устаткування, складність технологічних схем очищення.

Хімічні методи очищення газоподібних відходів полягають в тому, що до промислових відхідних газів додають різні реагенти, що вступають у хімічні реакції з домішками. Іноді цими реагентами можуть служити компоненти самих забруднювачів, а реакції підтримуються застосуванням

каталізаторів. В результаті взаємодії утворюються нові з'єднання, які не роблять негативного впливу на природу. Основне достоїнство хімічних методів очищення – високий рівень очищення.

Одним із видів хімічних методів може служити термічне очищення – опалювання відроблених газів. При високих температурах відбувається окислювання токсичних органічних забруднень киснем повітря до нетоксичних з'єднань. Допалювання органічних домішок у газах промислових викидів і транспорту застосовують в основному в тих випадках, коли їхня утилізація недоцільна або не можлива.

6.4 Висновок до розділу 6

Розглянуто заходи щодо охорони навколишнього середовища: проаналізовано фактори забруднення та практичні можливості їх зниження.

					ДР.122.6145юмз.00.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвєєв М.А.						90	
Керівник	Михелєв І. Л.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант								
Зав.кафедрою	Михелєв І. Л.							

ВИСНОВКИ

1 Досліджено організацію стендових випробувань камер згоряння газотурбінного двигуна з цифровою обробкою та графічною інтерпретацією експериментальних даних, в результаті чого виділено проблемні питання візуалізації зображень, серед яких вибірковість та осереднення даних, відсів недійсних значень у відокремлених точках, вибір графічних редакторів, сприятливість інформації конструкторами; можливість корегування даних у ручному режимі.

2 Досліджено механізми побудови інформаційної системи обробки результатів випробувань камери згоряння газотурбінних двигунів, в основу проєктування якої покладено принципи систематизації, аналізу та відбракування експериментально одержаних даних з побудовою графічної інтерпретації розподілу температурних полів;.

3 Інформаційна система має модульну структуру, яка складається з модуля збирання вибірки даних з файлу тренда; обробки інформації, виконання розрахунків; формування звітів, зокрема у графічному вигляді. Програмне забезпечення написано на мові COMMON LISP, для побудови контурної діаграми температурних полів застосовано графічний редактор Gnuplot.

4 Надано техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження нової інформаційної системи у конструкторську діяльність науково-виробничого підприємства: розробка спрямована на покращення наукового рівня проєктування камер згоряння газотурбінних двигунів, сприяє підвищенню якості конструкторських та дослідно-довершувальних робіт, виключає застосування дороговартісних методів *CFD*-аналізу.

5 Розроблено заходи щодо охорони праці та навколишнього середовища на робочому місці інженера-системотехніка випробувальної лабораторії на машинобудівному підприємстві.

Результати магістерської дипломної роботи пройшли апробацію на X Міжнародно-технічній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2020 р.) та IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (Одеса : Одеській національний політехнічний університет, 2020 р.) і опубліковані у наступних роботах:

1. Морозова Г. С., **Матвєєв М. А.** Інформаційно-аналітичне забезпечення документування і обробки результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів // Матеріали X Міжнародно-технічній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 220-221.

2. Інформаційна система для візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів / Т. А. Фаріонова, І. Л. Міхелєв, Г. С. Морозова, **М. А. Матвєєв** // Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні управляючі системи та технології». – О. : ОНПУ, 2020. – С. 144–146.

Наукове значення роботи. Одержані результати спрямовані на покращення наукового рівня проєктування камер згоряння газотурбінних двигунів за рахунок впровадження розробленої інформаційної системи у робочий процес інженерно-конструкторської діяльності.

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

- вперше розроблено метод візуалізації зображень результатів випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів, який на відміну від існуючих включає у себе алгоритм побудови контурних діаграм температурних полів у автоматичному і ручному режимах з вибором найкращого варіанту конструктивно-компонувального рішення;
- удосконалено підхід до управління процесом обробки даних розподілу температурних полів при стендових випробуваннях камер згоряння газотурбінних двигунів, який за рахунок розробки нової інформаційної системи з можливостями реалізації вибірки даних дає змогу

підвищити якість конструкторських та дослідницько-довершувальних робіт на машинобудівному підприємстві.

Практичне значення роботи полягає у можливості управління вибору найкращого конструктивно-компонувального рішення з елементами візуалізації зображень та виключенням з робочого процесу застосування дороговартісних *CFD*-пакетів.

					ДР.122.6145юмз.07.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвєєв М.А.						94	
Керівник	Михелєв І. Л.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант								
Зав.кафедрою	Михелєв І. Л.							

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1 Аверкин А. Н. Поддержка принятия решений в слабоструктурированных проблемных областях. Анализ ситуаций и оценка альтернатив / А. Н. Аверкин, О. П. Кузнецов, А. А. Кулинич, Н. В. Титова // Теория и системы управления. – 2006. – № 3. – С. 139-149.

2 Александров Ю. Б. Исследование формирования температурных полей в камерах сгорания газотурбинных двигателей / Ю. Б. Александров, И. И. Вафин, Б. Г. Мингазов // Инженерный журнал. – 2018. – № 18. – С. 1-13.

3 Введение в теорию графов : изд-ние 5-е / под ред. Р. Уилтона. – М. : Диалектика-Вильямс, 2019. – 240 с.

4 Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 207 с.

5 Дьяков В. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В. Дьяков. – 2014. – 383.

6 Иванова, Г. С. Объектно-ориентированное программирование / Г. С. Иванова, Т. Н. Никишкина : [учебник]. – М. : Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2014. – 456 с.

7 Игуменца Н. В. Статистический анализ результатов экспериментов и наблюдений: учебное пособие / Н. В. Игуменцева, В. И. Паханов. – Харьков ООО «Компания СМИТ», 2005. – 236 с.

8 Клименко, В. П. Современные особенности развития систем компьютерной алгебры / В. П. Клименко, А. Л. Ляхов, Д. Н. Гвоздик // Математичні машини і системи. – 2011. – № 2. – С. 3–16.

9 Маркушин А. А. Испытательные стенды для исследований процессов и доводки низкоэмиссионных камер сгорания ГТД / А. А. Макушин, А. В. Бакланов // Вестник Самарского госуд. аэрокосмического ун-та. – 2013. – № 3 (41). – С. 131-138.

10 Мингазов Б. Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей : монография / Б. Г. Мингазов. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 167 с.

11 Орлов М. Ю. Доводка поля температуры на выходе из многофорсуночной камеры сгорания ГТД методами трехмерного моделирования / М. Ю. Орлов, И. А. Зубрилин, С. С. Матвеев, Ю. И. Цыбизов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – № 6(4). – С. 905-910.

12 Попов А. В. GNUPLOT и его приложения / А. В. Попов. – М.: Изд-во попечительского совета механико-математического факультета МГУ, 2015. – 240 с.

13 Применение методов визуализации при исследовании структуры экспериментальных многомерных данных / В. А. Воловоденко, О. Г. Берестнева, Е. В. Немеров, И. А. Осадчая // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 5. – С. 125-130.

14 Романова И. К. Современные методы визуализации многомерных данных: анализ, классификация, реализация, приложение в технических системах / И. К. Романова // Наука и образование МГУ им. Н.Э. Баумана. – 2016. – № 3. – С. 133-167.

15 Сайбель П. Практическое использование COMMON LISP / Питер Сайбель. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 488 с.

16 Степанова Т. В. Разработка методических приемов по улучшению точности моделирования аэродинамики в рамках задачи исследования неравномерности температурного поля на выходе из камеры сгорания методами CFD-анализа / Т. В. Степанова, Д. В. Козел // Вестник двигателестроения. – 2010. – № 2. – С. 59-64.

17 Чухрай А. Г. Методология обучения алгоритмам : Харьков : Нац. аэрокосмич. ун-тет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2017. – 336 с.

18 Чубукова И. А. Data mining : учебное пособие / И. А. Чубук. – Интернет-университет информационных технологий. – 2013. – 382 с.

19 Miller B., Barnett B. Newspaper infographics in the presentation of health risks. Newspaper Research Journal. Vol. 31. 2010. No. 1. P. 52-68.

20 Interactive Computer Graphics ^ A Top-Down Approach Using Open GL. – Angel : 2015. – 365 p.

21 Philipp K janert. Gnuplot in Action. – Manning : Shelter Island. – 227 p.

					ДР.122.6145юмз.08.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
					ДОДАТКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент	Матвєєв М.А.						98	
Керівник	Михелєв І. Л.					НУК ім адм. Макарова		
Консультант								
Зав.кафедрою	Михелєв І. Л.							

Додаток А

./temperature-fild.asd

```
(defsystem "temperature-fild"
  :description "Построение температурных полей в одногорелочном отсеке камеры сгорания."
  :depends-on ("cl-who"
              "math"
              "vlisp"
              "lst-arr"
              "gnuplot"
              "temperature-fild/geom"
              "temperature-fild/signal"
              "temperature-fild/t-fild"
              "temperature-fild/sector"
              "temperature-fild/db"
              "temperature-fild/core"
              "temperature-fild/plot"
              "temperature-fild/splot"
              )
  :in-order-to ((test-op (test-op "temperature-fild/tests")))
  :serial nil
  :components ((:file "package")
               (:module "src" :depends-on ("package")
                :serial nil
                :components ((:file "defmethod")
                             (:file "temperature-fild")
                             )))
               ))

(defsystem "temperature-fild/geom"
  :description "Функции преобразования координат для проекта temperature-fild"
  :depends-on ("math/coord")
  :components ((:module "src/geom"
                    :serial nil
                    :components ((:file "geom")))))

(defsystem "temperature-fild/core"
  :description "Определяет класс <t-fild> - поле температур и функции доступа к его полям и базовые функции определения его геометрии."
  :depends-on ("temperature-fild/t-fild" "temperature-fild/signal" "math" "mnas-string")
  :components ((:module "src/core"
                    :serial nil
                    :components ((:file "core")))))

(defsystem "temperature-fild/t-fild"
  :description "Определяет класс <t-fild> - поле температур и функции доступа к его полям и базовые функции определения его геометрии."
  :depends-on ("temperature-fild/geom" "math/core")
  :components ((:module "src/t-fild"
                    :serial nil
                    :components ((:file "t-fild")))))

(defsystem "temperature-fild/sector"
  :description "Определяет класс <sector> - одногорелочный отсек камеры сгорания и функции доступа к его полям."
  :depends-on ("temperature-fild/t-fild")
  :components ((:module "src/sector"
                    :serial nil
                    :components ((:file "sector")))))
```

```

(defsystem "temperature-fild/plot"
  :description "Определяет 2d-функции отрисовки поля температур"
  :depends-on ("temperature-fild/core" "temperature-fild/t-fild" "vgplot"
"math/gnuplot" "math/stat")
  :components ((:module "src/plot"
                    :serial nil
                    :components ((:file "plot")))))

(defsystem "temperature-fild/splot"
  :description "Определяет 3d-функции отрисовки поля температур"
  :depends-on ("temperature-fild/core" "temperature-fild/t-fild" "vgplot"
"math/gnuplot" "math/stat")
  :components ((:module "src/splot"
                    :serial nil
                    :components ((:file "splot")))))

(defsystem "temperature-fild/db"
  :description "Функции преобразования координат для проекта temperature-
fild"
  :depends-on ("temperature-fild/sector")
  :components ((:module "src/db"
                    :serial nil
                    :components ((:file "db")))))

(defsystem "temperature-fild/signal"
  :description "Функции преобразования данных поля температур из (в) 2d-
списки 2d-массивы"
  :depends-on ("math/core" "math/list-matr" "lst-arr" "temperature-fild/t-
fild")
  :perform (test-op (o s)
              (uiop:symbol-call :temperature-fild/tests :test-
temperature-fild))
  :components ((:module "src/signal"
                    :serial nil
                    :components ((:file "signal")))))

```

./package.lisp

```

(defpackage #:temperature-fild
  (:nicknames "MTF")
  (:use #:cl #:cl-who #:temperature-fild/t-fild #:math)
  (:export t03-list->recover->t03-2darray
           t03-list->recover->t03-2darray->outlined
           get-t03-nil
           get-t03-recover)
  (:export radial-relative
           circular-relative
           calc-temperature-fild
           convert-t-fild-to-gp-data
           find-aprox-value-by-index
           recover-values)
  (:export *make-outlined-array-part*)
  (:export make-plot-file-data-outlined
           make-plot-file-data
           make-data-radial-outlined
           make-data-circular-outlined
           make-plot-relative-data
           make-t-fild-data
           make-approximation-points
           make-outlined-vector)
  (:export make-splot-frame-data
           make-splot-file-data-outlined))

```

./src/temperature-fild.lisp


```

        (/ (- (funcall f-aver-or-max (mapcar #'third el)) t02) Δt)))
gp-data)))

(defun circular-relative (t02 gp-data &key (f-aver-or-max
#'math/stat:average-not-nil-value))
  "@b(Описание:) функция @b(circular-relative) возвращает точки окружной
  эпюры средних или максимальных относительных температур, вычисляемые по полю
  температур @b(gp-data).
  Описание аргументов @b(gp-data) и @b(f-aver-or-max) см. функцию @b(overal).
  @b(Переменные:)
  @begin(list)
  @item(t02 - температура воздуха на входе в отсек.)
  @end(list)"
  (assert (member f-aver-or-max mtf/core:*assert-f-aver-or-max*))
  (let ((Δt (- (mtf/core:overal gp-data :f-aver-or-max #'math/stat:average-
not-nil-value) t02)))
    (mapcar
      #'(lambda (el) (list (second (first el))
                           (/ (- (funcall f-aver-or-max (mapcar #'third el))
t02) Δt))))
      (math/core:transpose gp-data))))

(defmethod convert-t-fild-to-gp-data (t03-2d-list (t-fild mtf/t-fild:<t-
fild>))
  "@b(Описание:) convert-t-fild-to-gp-data"
  (mapcar #'(lambda (h-r tmp-lst)
    (mapcar #'(lambda (w-r tmp) (list h-r w-r tmp))
      (t-fild-termopara-width-relative t-fild )
      tmp-lst))
    (reverse (t-fild-termopara-hight-relative t-fild ))
    t03-2d-list))

(defun calc-temperature-fild
  (t-lst &key (t2 20)
    &aux
      (t3-max (math/stat:max-value (math/core:exclude-nil-from-list
(math/list-matr:unite-rows t-lst))))
      (t-lst-nil (temperature-exclude-wrong t2 t-lst))
      (t3-mid (math/stat:average-not-nil-value (math/list-matr:unite-rows t-
lst-nil))))
  (Δt (- t3-mid t2))
  )
  "@b(Описание:) calc-temperature-fild выполняет вычисление характеристик
  температурного поля.
  Возвращает множественные значения в следующем порядке:
  @begin(enum)
  @item( t-lst - исходное поле температур;)
  @item( t-lst-nil - поле температур с исключенными значениями температур;)
  @item( θ-nil - отклонение температурного поля от среднего значения;)
  @item( t2 - температура на входе в камеру сгорания;)
  @item( Δt - подогрев продуктов горения в камере сгорания;)
  @item( t3-max - максимальная температура;)
  @item( θ-max - максимальное отклонение температурного поля;)
  @item( t3-mid-row - температура средняя в ряду;)
  @item( t3-max-row - температура максимальная в ряду;)
  @item( t3-mid-col - температура средняя в столбце;)
  @item( t3-max-col - температура максимальная в столбце;)
  @item( θ-mid-row - среднее отклонение температуры в ряду;)
  @item( θ-max-row - максимальное отклонение температуры в ряду;)
  @item( θ-mid-col - среднее отклонение температуры в столбце;)
  @item( θ-max-col - максимальное отклонение температуры в столбце.)
  @item( rez - таблица с характеристиками температурного поля.)
  @end(enum)"
  (let* ((t3-mid-row (math/list-matr:average-row-not-nil-value t-lst-nil))

```

```

(t3-mid-col (math/list-matr:average-col-not-nil-value t-lst-nil))
(t3-max-row (math/list-matr:max-row-not-nil-value t-lst-nil))
(t3-max-col (math/list-matr:max-col-not-nil-value t-lst-nil))
(θ-mid-row (mapcar #'(lambda (el) (/ (- el t2) Δt)) t3-mid-row))
(θ-max-row (mapcar #'(lambda (el) (/ (- el t2) Δt)) t3-max-row))
(θ-mid-col (mapcar #'(lambda (el) (/ (- el t2) Δt)) t3-mid-col))
(θ-max-col (mapcar #'(lambda (el) (/ (- el t2) Δt)) t3-max-col))
(θ-max (/ (- (math/stat:max-value (math/core:exclude-nil-from-
list (math/list-matr:unite-rows t-lst))) t2) Δt))
(θ-nil (mapcar #'(lambda (el-o) (mapcar #'(lambda (el) (when el
(/ (- el t2) Δt))) el-o )) t-lst-nil)))
(let ((rez nil))
  (setf rez (math/list-matr:append-col θ-mid-row t-lst-nil ))
  (setf rez (math/list-matr:append-col θ-max-row rez ))
  (setf rez (math/list-matr:prepend-row (list t3-max t3-mid t2 θ-max Δt )
rez))
  (setf rez (math/list-matr:prepend-row (list "Tmax" "T3cp" "T2"
"θ_{MAX}" "ΔT" "" "" ) rez))
  (setf rez (math/list-matr:append-row (append θ-mid-col '("θ_{MID}" ""
)) rez ))
  (setf rez (math/list-matr:append-row (append θ-max-col '(""
"θ_{MAX}") ) rez ))
  (math/list-matr:lm-print t-lst :fmt "~6f")
  (format t "~%")
  (math/list-matr:lm-print rez :fmt "~6f")
  (values t-lst
          t-lst-nil θ-nil
          t2 Δt
          t3-max θ-max
          t3-mid-row t3-max-row
          t3-mid-col t3-max-col
          θ-mid-row θ-max-row
          θ-mid-col θ-max-col
          rez))))

(defun find-2d-array-nil (a2d)
  "@b(Описание:) find-2d-array-nil возвращает индексы элементов двумерного
массива, имеющие значения nil."
  (let ((rez nil))
    (loop :for i :from 0 :below (array-dimension a2d 0)
          :do (loop :for j :from 0 :below (array-dimension a2d 1)
                    :collect (unless (aref a2d i j) (push (list i j) rez ))))
    rez))

(defun find-2d-array-nil-x1-x2 (a2d-3x3)
  (mapcar
   #'(lambda (el)
       (mapcar #'- el '(1 1)))
   (find-2d-array-nil a2d-3x3)))

(defun find-2d-subarray (index-from index-to a2d)
  (let ((a-rez (make-array (mapcar #'- index-to index-from '(-1 -1))
:initial-element nil)))
    (loop :for i-rez :from 0 :below (array-dimension a-rez 0)
          :for i-sou :from (first index-from) :to (first index-to) :do
            (loop :for j-rez :from 0 :below (array-dimension a-rez 1)
                  :for j-sou :from (second index-from) :to (second index-to)
:do
              (setf (aref a-rez i-rez j-rez) (aref a2d i-sou j-sou ) )
              ))
    a-rez))

(defun find-2d-possible-slices (index a2d)
  (let ((rez nil))

```

```

(loop :for i :from -2 :to 0 :do
  (loop :for j :from -2 :to 0 :collect
    (let* ((i-from (mapcar #'(lambda (i) (i-from (mapcar #'(lambda (i) (i-to (mapcar #'(lambda (i) (push (list i-from i-to) rez))))))
      (remove-if
        #'(lambda (el)
          (let ((low (first el))
                (hig (second el)))
            (or (< (first low) 0)
                (< (second low) 0)
                (>= (first hig) (array-dimension a2d 0))
                (>= (second hig) (array-dimension a2d 1))))))
        rez)))

(defun find-2d-possible-slices-indexes (index a2d)
  (let ((rez nil))
    (loop :for i :from -2 :to 0 :do
      (loop :for j :from -2 :to 0 :collect
        (let* ((i-from (mapcar #'(lambda (i) (i-from (mapcar #'(lambda (i) (i-to (mapcar #'(lambda (i) (push (list (list i-from i-to) (list (* -
1 (+ i 1)) (* -1 (+ 1 j)))) rez))
          ))
        (remove-if
          #'(lambda (el)
            (let ((low (first (first el))
                  (hig (second (first el))))
              (or (< (first low) 0)
                  (< (second low) 0)
                  (>= (first hig) (array-dimension a2d 0))
                  (>= (second hig) (array-dimension a2d 1))))))
            rez)))

(defun make-approximation-points (a2d-3x3)
  "@b(Описание:) функция @b(make-approximation-points) выполняет формирование
списка точек, используя значения массива a2d-3x3 в качестве функции отклика,
в качестве параметров используются индексы массива смещенные на одну единицу
в минус:
@begin(list)
  @item( первый индекс - строка;)
  @item( второй индекс - столбец.)
@end(list)

Элементы массива, имеющие значение nil при формировании списка точек
пропускаются."
  (let ((rez nil))
    (loop :for i :from 0 :to 2
      :for x-1 :from -1 :to 1 :do
        (loop :for j :from 0 :to 2
          :for x-2 :from -1 :to 1 :do
            (when (aref a2d-3x3 i j)
              (push (list x-1 x-2 (aref a2d-3x3 i j)) rez))))
    rez))

(defun find-aprox-value-by-index (index-ij a2d &key (ff math/appr:*apr-func-
2-6*))
  "@b(Описание:) find-aprox-value-by-index для индекса index-ij массива a2d
(список из 2-х целых чисел) выполняет поиск аппроксимирующего значения на
основании закона определяемого функцией ff.
Варианты вида аппроксимирующих полиномов, используемых в качестве параметра
ff: math/appr:*apr-func-2-4* math/appr:*apr-func-2-5* math/appr:*apr-func-
```

```

2-6* math/appr:*apr-func-2-7* math/appr:*apr-func-2-8* math/appr:*apr-func-
2-9*
"
  (let* ((sl-lst-indexes (find-2d-possible-slices-indexes index-ij a2d))
        (sl-lst (mapcar #'first sl-lst-indexes))
        (indexes (mapcar #'second sl-lst-indexes))
        (slices (mapcar #'(lambda (el) (find-2d-subarray (first el) (second
el) a2d)) sl-lst)))
    (apply #'math/stat:average
            (mapcar
             #'(lambda (slice index)
                 (apply (eval (math/appr:averaging-function-lambda
math/appr:*apr-args-2* ff (make-approximation-points slice))) index))
              slices indexes))))

(defun recover-values (a2d &key (ff math/appr:*apr-func-2-6*))
  "@b(Описание:) recover-values выполняет восстановление значений в массиве
a2d, заданных значениями nil.
Массив должен иметь размерность 3x3 минимум.
При определении функциональная зависимость определяется шаблоном ff"
  (let* ((a-rez (make-array (array-dimensions a2d) :initial-contents (lst-
arr:array2d->list-list-by-row a2d)))
        (a-nils-indexes (find-2d-array-nil a-rez)))
    (mapcar
     #'(lambda (index)
         (setf (aref a-rez (first index) (second index)) (find-aprox-value-
by-index index a2d :ff ff )))
     a-nils-indexes)
    a-rez))

```

./src/defmethod.lisp

```

(in-package #:temperature-fild)
(defun part (a b &optional (part 1/2))
  "@b(Описание:) part делит отрезок [a,b] на две части в точке p,
так что part=[a,p]/[a,b]. Возвращает значение в этой точке.
"
  (+ a (* (- b a) part)))

(defparameter *make-outlined-array-part* 1/2
  "Доля, на которую снижаются температуры, при формировании обрамленного
температурного поля"
  )

(defun make-outlined-array (value arr &key (part *make-outlined-array-part*))
  "@b(Описание:) make-outlined-array возвращает новый обрамленный массив
такой что:
@begin(list)
@item(количество его строк больше на 2 количества строк массива arr;)
@item(количество его столбцов больше на 2 количества столбцов массива arr;)
@item(элементы по границам массива принимают значения value; )
@item(элементы в центральной части массива (за исключением граничных)
принимают значения равные элементам массива arr;)
@end(list)"
  (assert (arrayp arr))
  (assert (= (array-rank arr) 2))
  (assert (numberp value))
  (let* ((a-rez (make-array
                  (mapcar #'(lambda (el) (+ 2 el)) (array-dimensions arr))
                  :initial-element value))
        )
    (loop :for i :from 0 :below (array-dimension arr 0) :do
      (loop :for j :from 0 :below (array-dimension arr 1) :do
        (setf (aref a-rez (+ i 1) (+ j 1) ) (aref arr i j)))))
  )

```



```

"spot-t-fild-radial-outlined"))))
  (when (some #'null (list (probe-file (concatenate 'string f-name
".data"))))
    (let* (
      (h-r (mtf/core:make-outlined-vector (apply #'vector
(reverse (t-fild-termopara-hight-relative t-fild))) h-ol-max h-ol-min))
      (x-r (mtf/core:make-outlined-vector (apply #'vector
(t-fild-termopara-width-relative t-fild)) w-ol-min w-ol-max))
      (t03-2d-arr-ol (mtf/core:t03-list->recover->t03-2darray-
>outlined t03 t2 t-fild))
      (gp-list (mtf/core:make-t-fild-data t03-2d-arr-ol h-r x-r
:d-pts d-pts :hights heights :ocr ocr))
      (gp-list-rot (mtf/core::t-fild-relative->polar gp-list t-
fild))
    )
    (with-open-file (os (concatenate 'string f-name "." "data")
:direction :output :if-exists :supersede :external-format :utf8)
      (format os "# ~8A ~8A ~8A~%" "X" "Y" "Z")
      (format os "~{~{~{~8F ~}~%~}~%~}" gp-list-rot))))))

(defmethod get-t03-recover (t03 t2 (t-fild mtf/t-fild:<t-fild>))
  "@b(Описание:) get-t03-recover
"
  (let* ((t03-2d-list-orig (mtf/signal:t03-signals->2dlist t-fild t03))
        (t03-2d-list-nil (temperature-exclude-wrong t2 t03-2d-list-orig))
        (t03-2d-arr-nil (lst-arr:list2d->array2d t03-2d-list-nil))
        (t03-2d-arr (recover-values t03-2d-arr-nil)))
    (lst-arr:array2d->list-list-by-row t03-2d-arr)))

(defmethod get-t03-nil (t03 t2 (t-fild mtf/t-fild:<t-fild>))
  (let* ((t03-2d-list-orig (mtf/signal:t03-signals->2dlist t-fild t03))
        (temperature-exclude-wrong t2 t03-2d-list-orig)))

(defmethod make-plot-file-data (t03 t2 u-tm (t-fild mtf/t-fild:<t-fild>)
                                &key (func-aver-or-max #'math/stat:average-
not-nil-value))
  "@b(Описание:) метод @b(make-plot-file-data) формирует файлы с данными для
построения эпюр средних (при func-aver-or-max #'math/stat:average-not-nil-
value) или максимальных (при func-aver-or-max #'math/stat:max-not-nil-value)
температур.
Данные в файлах записываются в две колонки:
@begin(list)
@item(первая - относительная высота или относительная окружная координата;)
@item(вторая - значения температур.)
@end(list) "
  (assert (consp t03))
  (assert (numberp t2))
  (assert (member func-aver-or-max (list #'math/stat:average-not-nil-value
#'math/stat:max-not-nil-value)))
  (let* ((f-list nil)
        (ut-str (mnas-string:print-universal-date-time-fname u-tm :stream
nil))
        (aver-max (cond ((eq func-aver-or-max #'math/stat:average-not-nil-
value ) "aver")
                          ((eq func-aver-or-max #'math/stat:max-not-nil-value)
"max"))))
    (f-name-radial-data-nil (concatenate 'string
mtf/core:*default-directory* ut-str "_" "plot-radial-data-nil-" aver-
max ".data"))
    (f-name-radial-data-recover (concatenate 'string
mtf/core:*default-directory* ut-str "_" "plot-radial-data-recover-" aver-
max ".data"))
    (f-name-circular-data-nil (concatenate 'string
mtf/core:*default-directory* ut-str "_" "plot-circular-data-nil-" aver-

```

```

max ".data"))
      (f-name-circular-data-recover (concatenate 'string
mtf/core:*default-directory* ut-str "_" "plot-circular-data-recover-" aver-
max ".data"))
      (t03-radial-nil (mtf/core:radial (convert-t-fild-to-gp-data
(get-t03-nil t03 t2 t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-max))
      (t03-radial-recover (mtf/core:radial (convert-t-fild-to-gp-data
(get-t03-recover t03 t2 t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-max))
      (t03-circular-nil (mtf/core:circular (convert-t-fild-to-gp-data
(get-t03-nil t03 t2 t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-max))
      (t03-circular-recover (mtf/core:circular (convert-t-fild-to-gp-data
(get-t03-recover t03 t2 t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-max)))
      (with-open-file (os f-name-radial-data-nil :direction :output :if-exists
:supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-radial-nil)
        (push f-name-radial-data-nil f-list))
      (with-open-file (os f-name-radial-data-recover :direction :output :if-
exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-radial-recover)
        (push f-name-radial-data-recover f-list))

      (with-open-file (os f-name-circular-data-nil :direction :output :if-
exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-circular-nil)
        (push f-name-circular-data-nil f-list))
      (with-open-file (os f-name-circular-data-recover :direction :output :if-
exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-circular-recover)
        (push f-name-circular-data-recover f-list))))

(defmethod make-plot-relative-data (t03 t2 u-tm (t-fild mtf/t-fild:<t-fild>)
&key
      (func-aver-or-max #'math/stat:average-
not-nil-value))
  "@b(Описание:) метод @b(make-plot-relative-data) генерирует четыре файла,
содержащих эюры средних (при func-aver-or-max = #'math/stat:average-not-nil-
value (по умолчанию)) или максимальных (при func-aver-or-max =
#'math/stat:max-not-nil-value (по умолчанию)) относительных температур:
радиальные, построенные по:
@begin(list)
  @item(<data>_plot-radial-relative-data-nil-<aver|max>.data - значениям
температур t03 с исключенными точками;)
  @item(<data>_plot-radial-relative-data-recover-<aver|max>.data - значениям
температур t03 с восстановленными точками;)
@end(list)
окрыжные, построенные по:
@begin(list)
  @item(<data>_plot-circular-relative-data-nil-<aver|max>.data - значениям
температур t03 с исключенными точками;)
  @item(<data>_plot-circular-relative-data-recover-<aver|max>.data - значениям
температур t03 с восстановленными точками;)
@end(list)

  @b(Переменные:)
@begin(list)
  @item(t03 - список 1d, содержащий значения температур за жаровой трубой, в
порядке как они приведены в тренде;)
  @item(t2 - температура воздуха на входе в КС;)
  @item(t-fild - объект, представляющий размеры на выходе из жаровой трубы.)
@end(list)"
  (assert (consp t03))
  (assert (numberp t2))
  (assert (member func-aver-or-max (list #'math/stat:average-not-nil-value
#'math/stat:max-not-nil-value)))

```

```

(let* ((ut-str (mnas-string:print-universal-date-time-fname u-tm :stream
nil))
      (f-name-radial-relative-data-nil
        (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-str "_"
"plot-radial-relative-data-nil-"
          (cond
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:average-not-nil-
value ) "aver")
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:max-not-nil-
value)      "max")))
          ".data"))
      (f-name-radial-relative-data-recover
        (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-str "_"
"plot-radial-relative-data-recover-"
          (cond
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:average-not-nil-
value ) "aver")
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:max-not-nil-
value)      "max")))
          ".data"))
      (f-name-circular-relative-data-nil
        (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-str "_"
"plot-circular-relative-data-nil-"
          (cond
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:average-not-nil-
value ) "aver")
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:max-not-nil-
value)      "max")))
          ".data"))
      (f-name-circular-relative-data-recover
        (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-str "_"
"plot-circular-relative-data-recover-"
          (cond
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:average-not-nil-
value ) "aver")
            ((eq func-aver-or-max #'math/stat:max-not-nil-
value)      "max")))
          ".data"))
      (t03-radial-nil      (radial-relative t2 (convert-t-fild-to-gp-
data (get-t03-nil      t03 t2  t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-
max))
      (t03-radial-recover  (radial-relative t2 (convert-t-fild-to-gp-
data (get-t03-recover  t03 t2  t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-
max))
      (t03-circular-nil    (circular-relative t2 (convert-t-fild-to-gp-
data (get-t03-nil      t03 t2  t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-
max))
      (t03-circular-recover (circular-relative t2 (convert-t-fild-to-gp-
data (get-t03-recover  t03 t2  t-fild) t-fild) :f-aver-or-max func-aver-or-
max)))
      (with-open-file (os f-name-radial-relative-data-nil :direction :output
:if-exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-radial-nil))
      (with-open-file (os f-name-radial-relative-data-recover :direction
:output :if-exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-radial-recover))

      (with-open-file (os f-name-circular-relative-data-nil :direction :output
:if-exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-circular-nil))
      (with-open-file (os f-name-circular-relative-data-recover :direction
:output :if-exists :supersede :external-format :utf8)
        (format os "~{~{~10,3f ~} ~%~}" t03-circular-recover))))

```

```

(defmethod make-plot-file-data-outlined (t03 t2 u-tm (t-fild mtf/t-fild:<t-
fild>))
    &key
    (scale mtf/core:*scale-smoothing*)
    (d-pts (mtf/core:d-pts-scale t-
fild :scale scale))
    (intervals 100)
    (hights (list 1 0 intervals))
    (ocr (mtf/core:ocr-intervals t-
fild :intervals intervals))
    (hw-coeff mtf/core:*hw-coeff*)
    (h-ol-max (mtf/core:h-ol-max-hw-
coeff t-fild :hw-coeff hw-coeff))
    (h-ol-min (mtf/core:h-ol-min-hw-
coeff t-fild :hw-coeff hw-coeff))
    (w-ol-max (mtf/core:w-ol-max-hw-
coeff t-fild :hw-coeff hw-coeff))
    (w-ol-min (mtf/core:w-ol-min-hw-
coeff t-fild :hw-coeff hw-coeff)))
    " @b(Описание:) метод @b(make-plot-file-data-outlined) формирует файлы
с данными для построения эпюр относительных температур:
@begin(list)
@item(<date>_plot-radial-aver-outlined.data - радиальной эпюры средних
температур;)
@item(<date>_plot-radial-max-outlined.data - радиальной эпюры максимальных
температур;)
@item(<date>_plot-circular-aver-outlined.data - окружной эпюры средних
температур;)
@item(<date>_plot-circular-max-outlined.data - окружной эпюры максимальных
температур.)
@end(list)

    @b(Переменные:)
@begin(list)
@item(t03 - список, содержащий температуры в порядке следования сигналов;)
@item(t2 - температура t02;)
@item(u-tm - время, заданное в универсальном формате;)
@item(t-fild - объект типа <t-fild>;)
@item(scale - масштаб для радиуса сглаживания;)
@item(d-pts - вектор, содержащий радиусы сглаживания в радиальном (по
относительной высоте)
и окружном (по относительной окружной координате)
направлениям;)
@item(intervals - количество интервалов (узлов) вычисления температуры;)
@item(hights - список из трех чисел, задающих:
- верхнее значение относительной высоты;
- нижнее значение относительной высоты;
- количество интервалов вдоль относительной высоты лопатки. )
@item(ocr - список из трех чисел, задающих:
- нижнее значение координаты окружного расположения лопаток;
- нижнее значение координаты окружного расположения лопаток;
- количество интервалов вдоль координаты окружного расположения
лопаток;)
@item(hw-coeff - относительное расстояние от сектора до обрамляющего контура
во всех направлениях;)
@item(h-ol-max - относительное расстояние от сектора до обрамляющего контура
вовне лопатки;)
@item(h-ol-min - относительное расстояние от сектора до обрамляющего контура
внутри лопатки;)
@item(w-ol-max - относительное расстояние от сектора до обрамляющего контура
в направлении увеличения относительной окружной координаты;)
@item(w-ol-min - относительное расстояние от сектора до обрамляющего контура
в направлении уменьшения относительной окружной координаты.)
@end(list)

```

```

"
  (assert (consp t03))
  (assert (numberp t2))
  (let* ((ut-str (mnas-string:print-universal-date-time-fname u-tm :stream
nil))
        (f-name-r-aver (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-
str " " "plot-radial-" "aver" "-outlined"))
        (f-name-r-max (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-
str " " "plot-radial-" "max" "-outlined"))
        (f-name-c-aver (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-
str " " "plot-circular-" "aver" "-outlined"))
        (f-name-c-max (concatenate 'string mtf/core:*default-directory* ut-
str " " "plot-circular-" "max" "-outlined"))
        (f-names (list f-name-r-aver f-name-r-max f-name-c-aver f-
name-c-max))
        (f-nm (mapcar #'(lambda (el) (probe-file (concatenate
'string el ".data" ))) f-names)))
    (when (some #'null f-nm)
      (let* ((h-r (mtf/core:make-outlined-vector (apply #'vector
(reverse (t-fild-termopara-hight-relative t-fild))) h-ol-max h-ol-min))
             (x-r (mtf/core:make-outlined-vector (apply #'vector
(t-fild-termopara-width-relative t-fild)) w-ol-min w-ol-max))
             (t03-2d-arr-ol (mtf/core:t03-list->recover->t03-2darray-
>outlined t03 t2 t-fild))
             (gp-list (mtf/core:make-t-fild-data t03-2d-arr-ol h-r x-
r :d-pts d-pts :hights heights :ocr ocr))
             (2d-list-r-aver (radial-relative t2 gp-list :f-aver-or-max
#'math/stat:average-not-nil-value))
             (2d-list-r-max (radial-relative t2 gp-list :f-aver-or-max
#'math/stat:max-not-nil-value))
             (2d-list-c-aver (circular-relative t2 gp-list :f-aver-or-max
#'math/stat:average-not-nil-value))
             (2d-list-c-max (circular-relative t2 gp-list :f-aver-or-max
#'math/stat:max-not-nil-value))
             (2d-lists (list 2d-list-r-aver 2d-list-r-max 2d-list-c-
aver 2d-list-c-max)))
        (mapcar #'math/gnuplot:make-plot-data-file f-names 2d-lists)
        (mapcar #'(lambda (el) (concatenate 'string el ".data")) f-names))))))

(defmethod make-splot-frame-data (f-name (t-fild <t-fild>) &key (termopara-
diameter 2.0))
  "@b(Описание:) make-splot-frame-data формирует файл с именем @b(f-name),
который содержит векторы формате gnuplot (для вывода при помощи команды
splot), отображающие контур обоймы жаровой трубы @b(t-fild) и схему
расположения термопар измерения температурного поля @b(t-fild).
Параметр @b(termopara-diameter) - задает диаметр термопар на схеме.
"
  (let ((objs nil)
        (zero (make-instance 'gnuplot:<point> :coords '(0.0 0.0 0.0)))
        (s-a (- (/ pi 2) (/ (* 2 pi) 2 (t-fild-tube-number t-fild))))
        (e-a (+ (/ pi 2) (/ (* 2 pi) 2 (t-fild-tube-number t-fild))))
        (r-min (t-fild-nozzle-r-min t-fild))
        (r-max (t-fild-nozzle-r-max t-fild))
        (t-h (t-fild-termopara-hight t-fild)))
    (push (make-instance 'gnuplot:<arc> :center zero :radius r-min :start-
angle s-a :end-angle e-a) objs)
    (push (make-instance 'gnuplot:<arc> :center zero :radius r-max :start-
angle s-a :end-angle e-a) objs)
    (push (make-instance 'gnuplot:<line> :start (gnuplot::polar zero s-a r-
min) :end (gnuplot::polar zero s-a r-max)) objs)
    (push (make-instance 'gnuplot:<line> :start (gnuplot::polar zero e-a r-
min) :end (gnuplot::polar zero e-a r-max)) objs)
    (loop :for ang :in (t-fild-termopara-angles t-fild) :do
      (loop :for h :in t-h :do

```

```
(push (make-instance 'gnuplot:<circle> :center (gnuplot::polar zero
ang (+ h r-min)) :radius (/ termopara-diameter 2)) objs)))
(gnuplot:out-vectors-to-file f-name objs)))
```

file:///math/ls-gauss/ls-gauss.lisp

```
(defpackage #:math/ls-gauss
  (:use #:cl #:math/arr-matr)
  (:export convert-to-triangular
           solve-linear-system-gauss-backward-run
           solve-linear-system-gauss))

(in-package :math/ls-gauss)

(defgeneric convert-to-triangular (matrix)
  (:documentation
   "@b(Описание:) обобщенная_функция @b(convert-to-triangular)
   выполняет приведение матрицы @b(matrix) к треугольному виду,
   для решения системы ЛУ методом Гаусса."))

(defgeneric solve-linear-system-gauss (matrix)
  (:documentation
   "@b(Описание:) обобщенная_функция @b(solve-linear-system-gauss)
   возвращает матрицу, содержащую корни решения системы линейных уравнений.

   Решение системы линейных уравнений выполняется методом Гаусса.
   ")

  ))

(defmethod convert-to-triangular ((matr <matrix> ))
  "@b(Пример использования:)
  @begin[lang=lisp](code)
  (convert-to-triangular
   (make-instance '<matrix>
                   :initial-contents '((0.0 0.0 4.0 12.0)
                                       (2.0 0.0 2.0 8.0)
                                       (0.0 3.0 0.0 6.0))))
  @end(code)"
  (do ((n (rows matr)) (ie nil) (j 0 (1+ j)) (row-j nil) (row-i nil))
      ((>= j n) matr)
      (setf ie (1- n))
      (do ((i j (1+ i)) (matr-ij nil) (row-ie nil)) ; Цикл перестановки строк в
          j-товом столбце которых присутствуют нули
          ((> i ie))
          (setf row-i (row matr i)
                matr-ij (mref matr i j))
          (cond ((= matr-ij 0) ; Перестановка i-товой строки в место полойней
                  непореставленной
                  (setf row-ie (row matr ie) ; Последняя непореставленная строка
                        (row matr i) row-ie
                        (row matr ie) row-i
                        ie (1- ie)) ; Увеличение количества переставленных строк
                  (decf i)) ; Уменьшение переменной цикла для выполнения повторной
                  итерации
                  ((/= matr-ij 0)
                   (setf row-i (mapcar #'(lambda (el) (/ el matr-ij)) row-i) ;
                         Деление строки на matr-ij элемент матрицы
                         (row matr i) row-i))))
          (setf row-j (row matr j)) ; Строка которую необходимо вычесть из других
          строк
          (do ((i (1+ j) (1+ i))) ; Цикл для вычитания j-товой строки из i-товой
              ((> i ie))
              (setf row-i (row matr i)
```

```

        row-i (mapcar #'(lambda (el1 el2) (- el1 el2)) row-i row-j)
        (row matr i) row-i)))

(defmethod solve-linear-system-gauss-backward-run ((matr <matrix>))
  "Обратный ход при вычислении решения системы линейных уравнений.
  Матрица matr должна быть приведена к треугольной;
  "
  (let* ((n (rows matr)) ;; Количество строк в матрице (матрица расширенная)
        (x (matr-new 1 n)) ;; Вектор результат
        (do ((i 0 (+ 1 i)))
              ((>= i n) x)
            (setf (mref x 0 i) 1))
        (do ((i (- n 1) (- i 1)) (summ 0 0))
              ((< i 0) x)
            (do ((j (+ 1 i) (+ 1 j)))
                  ((>= j n) 'done2)
              (setf summ (+ summ (* (mref matr i j) (mref x 0 j)))))
            (setf (mref x 0 i) (/ (- (mref matr i n) summ) (mref matr i i))))))

(defmethod solve-linear-system-gauss ((matr <matrix>))
  "@b(Пример использования 1.1:)
  @begin[lang=lisp](code)
    (solve-linear-system-gauss
      (matr-new 3 4 '(1 2 3 14
                      2 1 1 7
                      3 0 1 2)))
  => Matr 1x3
      [ 1/3      16/3      1      ]
  @end(code)
  "
  (let* ((matr-tr (convert-to-triangular matr))
        (x (solve-linear-system-gauss-backward-run matr-tr)))
    x))

```