

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДИВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Крошка Олександр Вікторович

УДК 697.1

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО
ОБЛАДНАННЯ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



О. В. Крошка

Науковий керівник:

Арсірій Василь Анатолійович

доктор технічних наук, професор

Одеса – 2024

АНОТАЦІЯ

Крошка О.В. **Методи поліпшення показників теплотехнічного обладнання житлових комплексів.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2024.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, вибрано об'єкт досліджень, показано зв'язок роботи зі проблемами житлових комплексів у складні часи, що потребують швидкого відновлення енергетичної інфраструктури. Сформульовані мета роботи і завдання досліджень, описано методи досліджень, наведені положення наукової новизни та практичного значення отриманих результатів.

У *першому розділі* проаналізовано залежність енергетичного забезпечення житлових комплексів від природніх катаклізмів, а також військових руйнувань. Як показує досвід для швидкого відновлення тепlopостачання будинків за більшістю показників добре зарекомендували себе газотрубні котли, у трубах яких рухаються димові гази. Вони прості у виготовленні та експлуатації, але мають обмеження у збільшенні теплової потужності через технічні особливості. Головною перешкодою є низькі значення переносу теплоти на межі «димові гази – металева стінка». Аналіз відомих методів інтенсифікації переносу теплоти від газів свідчить про складнощі та протиріччя у вирішенні цієї проблеми. Дослідження останнього часу показують чотири варіанту рішень, що ведуть до збільшення коефіцієнту тепловіддачі α за рахунок зміни геометрії проточних частин. При реальному проектуванні виникають складнощі прогнозування реальних значень збільшення коефіцієнту тепловіддачі α , тому що зазвичай вказують широкій діапазон розбіжностей: у 2 – 6 разів зі складними розрахунками рекомендацій. Вже доведено, що використання простих турбулізаторів – вставок и, в першу

чергу, спіралей дає результати інтенсифікації теплообміну до збільшення у 6 разів, які співставні зі складними та витратними методами. Використання спіралей спрощує проєктування та здешевлює обладнання. Але треба відзначити суттєве протиріччя – встановлення спіралей у газові труби інколи призводить до збільшення коефіцієнтів аероопорів (R ; λ) руху газів у 10 разів, а іноді більш ніж у 100 разів, що приводить до значного підвищення витрат енергії на роботу вентиляторів котлів. Треба підкреслити важливий факт, що причиною такого непропорційного збільшення витрат електрики вентиляторами може бути проблема невизначеності розрахунків аеросистем з похибками до 25% при виконанні проєктних досліджень. Проблеми невизначеності проєктних розрахунків виникають у різних аспектах проєктування. Їх треба враховувати також для вибору поперечних розмірів ізоляції. Тому розв’язання цих протиріч є актуальною науково-технічною задачею покращення показників енергетичного обладнання у системах тепlopостачання житлових комплексів.

У роботі сформульовано *робочу гіпотезу*. Існують і можуть бути реалізовані прості заходи збільшення тепловіддачі на межі «димові гази – металева стінка» з одночасним зменшенням аероопор руху димових газів у елементах котлів задля забезпечення ефективних енергетичних балансів. Основою для ефективного вибору цих заходів вибрано методи удосконалення геометричних параметрів проточних частин за допомогою візуалізації процесів самоорганізації структури потоків та покращення і уточнення розрахунків основних енергетичних параметрів роботи обладнання.

Виходячи з робочої гіпотези та спираючись на аналіз літератури, була сформульована **мета роботи**: розробка заходів для підвищення ефективності енергетичного обладнання житлових комплексів за рахунок удосконалення геометрії проточних частин на основі моделей співставних коефіцієнтів пропорційності процесів переносу теплоти і руху рідини або газу.

Для досягнення мети роботи виявилось необхідним виконати наступні **завдання**: дослідити вплив геометричних параметрів обладнання на зміни

енергетичних показників енергетичних процесів на прикладі газотрубних котлів, розробити і запропонувати шляхи інтенсифікації переносу тепла та зменшення втрат енергії у проточних частинах аеросистем за рахунок їх модифікації.

У *другому розділі* розроблено дві графоаналітичні моделі енергетичних процесів у вигляді представлення основних параметрів енергії: динамічної складової D та потенціалу P , а також коефіцієнтів пропорційності (бажано значень опорів). Перша «термомодель» процесів переносу теплоти скрізь металеву стінку з використанням коефіцієнтів переносу тепла має графічний характер і відображає пряму залежність основних параметрів динамічної складової теплової енергії D (кількості тепла q) та термopотенціалів (температури t). Ця модель удосконалена за рахунок додаткового графіку на основі термічних опорів R_t .

Друга «аеромодель», подібна термомоделі, описує процес руху рідини або газів. Вона розроблена для співставлення теплових і аеропроеесів. Аеромодель представляє основні енергетичні параметри руху газів у вигляді динамічної складової аероенергії $D = kV^2$ та аеропотенціалів (тиску P) на основі використання коефіцієнтів опорів R_a у аеросистем. Саме коефіцієнти опорів: як теплові R_t , так і аеро R_a , дозволяють розраховувати або графічно виявляти основні енергетичні параметри як теплових процесів, так і процесів руху газів у проточних частинах обладнання.

На основі графоаналітичної «термомоделі» розроблено метод графічного визначення зміни кількості теплової енергії при зміні коефіцієнтів пропорційності – тепловіддачі (як одиниць кількості тепла на одиницю температури або потенціалу та одиницю розміру), а також термічних опорів, що дозволило визначити розподіл температур у різних точках переносу теплоти.

На основі графоаналітичної «аеромоделі» розроблено метод розрахунку та представлення зміни кількості динамічної складової гідро- або аероенергії

при зміні опорів (як міри втрат динамічної енергії руху), що дозволило визначити розподіл значень тиску в різних точках газового тракту котла.

Таким чином, дві графічні моделі процесів переносу теплоти і руху газів дають два наявних метода моделювання зміни та аналізу співвідношення основних енергетичних параметрів на основі співставних коефіцієнтів пропорційності – коефіцієнтів опорів як теплових, так і аеропроектів.

У *третьому розділі* розроблено метод удосконалення проточних частин елементів гідро та аеродинамічних систем з використанням комп'ютерних методів обробки візуальних картин структури потоків. Для цього були вокинани чотири етапи: візуалізація потоків у фізичній моделі; оцифрування візуальних картин для отримання кількісної та якісної оцінок стану газових потоків в елементах; синтез нової проточної частини елементів гідро- та аеродинамічних систем; розробка проточної частини зі зниженим опором на основі комп'ютерного моделювання. Реалізація запропонованого методу показана на прикладі вдосконалення «повороту» потоку газів, де створено умови самоорганізації структури середовища. Виділення окремих ділянок потоку, кількісна та якісна оцінка стану структури потоку та синтез з метою оптимізації геометрії проточної частини, дозволило розробити геометрію каналу без відривів потоку від стінок, що забезпечує зменшення аероопору «повороту потоку на 180°» у 2,6 рази.

У *четвертому розділі* досліджено вплив поперечної структури потоків на основні енергетичні параметри та коефіцієнти пропорційності, що дозволило за рахунок зміни поперечних розмірів каналів збільшити перенос теплоти без збільшення витрат на процеси руху газів.

По-перше, на відміну від експериментів Рейнольдса було візуально виявлено не тільки шари ламінарного потоку, но також розміри шарів: дві смуги (світла і сіра) мають сталий розмір $\Delta h = 0,52$ мм. Світлі смуги запропоновано характеризувати як позитивні пульсаційні компоненти динамічної складової енергії; сірі смуги – як негативні компоненти динамічної складової енергії.

В роботі представлений аналіз результатів двох серій експериментів, які виконано у двох різних лабораторіях. Були досліджені залежності коефіцієнта гідравлічного тертя λ від числа Рейнольдса $\lambda = f(Re)$ при дискретній зміні дійсних значень висоти каналу h у діапазоні $h = (0,4 \div 2,5)$ мм. Вимірювались витрати Q газів або швидкість V в заданому діапазоні тисків ($P = 5 - 40$ кПа). Шорсткість поверхні каналів під час проведення експериментів була нульовою і не змінювалася. Тому для ламінарного режиму результати гідравлічного експерименту залежності коефіцієнта тертя від числа Рейнольдса було необхідно порівнювати з лінією за формулою Пуазейля $\lambda = 64/Re$; при числах $Re > 5000$ результати порівнювались з лінією, яка розрахована за формулою Блазіуса $\lambda = 0,3164/ Re^{0,25}$.

У першій серії експериментів, де в основі була відома теорія тепло- та масообміну з використанням осереднення параметрів, значення реальних даних мають невизначеність 25% і більше у залежності $\lambda = f(Re)$ відносно до формул Пуазейля та Блазіуса. Другий гідравлічний експеримент, якій планувался з прив'язкою до результатів виявленої структури потоків, визначив залежність не тільки від числа Рейнольдса, а також нелінійну залежність коефіцієнта гідравлічного тертя λ від зміни висоти каналів h у вигляді $\lambda = f(Re; h)$. Лінійна зміна розмірів висоти каналів h дає нелінійну зміну значень витрати Q газів або швидкості V . Таким чином, на основі результатів гідравлічних експериментів запропоновано вважати, що зміну динамічної складової енергії потоку $D = kV^2 = f(P)$, а також коефіцієнтів гідравлічного тертя λ відображає розподіл щільності світлих і сірих смуг візуальних картин, що підтверджує сталий розподіл енергетичної структури потоків, яка має нелінійних характер розподілу реальних значень епюри швидкостей у поперечному перерізі каналів. Це дозволяє усунути проблему невизначеності розрахунків параметрів у каналах щілинних розмірів.

По-друге, досліджено (у першій серії експериментів) вплив поперечної структури потоків на коефіцієнт тепловіддачі α . Аналіз залежності $\alpha = f(P)$ у

каналах з висотою $h = 0,4 \div 1,6$ мм довів, що темп збільшення коефіцієнта тепловіддачі в діапазоні розміру каналів $h = 0,4 \div 0,65$ мм і $h = 0,9 \div 1,17$ мм (світлі зони позитивних динамічних компонент енергії) більше, ніж у діапазоні лінійної зміни висоти $h = (0,65 \div 0,9)$ мм і $h = (1,17 \div 1,45)$ мм (сірі зони негативних динамічних компонент енергії).

Зіставлення результатів гідравлічного та теплового експерименту показує ознаки впливу структури потоків (нелінійний характер розподілу динамічних компонентів енергії) на гідравлічні та теплові параметри потоків. Слід відмітити, що традиційно для розрахунків та подання характеристик використовують коефіцієнти опорів (коефіцієнт гідравлічного тертя – λ), а для теплових процесів використовують пряму пропорційність – коефіцієнти тепловіддачі α . Отримані результати можна використовувати для розробки пристроїв інтенсифікації тепловіддачі на межі «газ – металева стінка». Результати показують діапазон поперечних розмірів каналів, де коефіцієнт тепловіддачі має високі значення, при цьому аероопори каналів матимуть мінімальні значення.

У н'ятому розділі досліджено вплив подовжньої структури потоків на показники переносу теплоти за рахунок збільшення коефіцієнту тепловіддачі на межі «газ – металева стінка». Візуальні дослідження надають варіанти змін подовжніх розмірів елементів турбулізаторів, які забезпечують підвищення ефективності котлів без збільшення витрат на роботу вентиляторів.

Сьогодні велика увага приділяється вихорам. Проте слід зазначити, що наявність вихорів показує різке збільшення аероопорів у потоці. Аналіз структури потоків струменя, що витікає в затоплений простір, дозволяє виявляти зони подовжніх структур у вигляді світлих дискретних областей, які характеризують локальне збільшення динамічної складової теплової енергії потоку. Виявлені світлі подовжні ділянки вказують оптимальні подовжні розміри спіралей турбулізаторів. Виготовлення турбулізаторів для котлів дозволяє суттєво збільшити тепловіддачу на межі «газ – метал» і при цьому забезпечити помірні значення гідравлічних опорів. Наведено дані випробувань

котла, в якому досліджувалися енергетичні параметри двох варіантів експлуатації: 1 – без турбулізаторів у газових трубах та 2 – із встановленням стрічки для інтенсифікації теплообміну. Установка турбулізатора дозволила збільшити ефективність котла від $\eta_{к.1} = 0,8$ до величини $\eta_{к.2} = 0,92$. При цьому витрати енергії на роботу вентилятора змінилися незначно.

Таким чином, візуальні дослідження потоків з виявленням самоорганізації структури потоків дають нову корисну інформацію для організації гідравлічних та теплових експериментів для виявлення впливу структурної організації потоків у проточних частинах обладнання на основні енергетичні параметри та коефіцієнти пропорційності у вигляді опорів.

Результати дозволяють усунути проблему невизначеності при розрахунках енергетичних параметрів переносу теплоти, а також руху рідини або газів. Отримані результати демонструють переваги візуальної інформації при розробці або вдосконаленні геометрії каналів з метою покращення параметрів роботи систем опалення, кліматизації, вибору розмірів ізоляційних матеріалів тощо для поліпшення енергетичних показників систем житлових комплексів.

Ключові слова: житлові комплекси, котли газотрубні, ефективність, гідро- та аероопори, перенос теплоти, тепловіддача, фізичне моделювання, візуалізація, структура потоків, самоорганізація.

ABSTRACT

Kroshka O.V. **Methods of improving the indicators of heating equipment of residential complexes.** – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 - Construction and civil engineering. – Odesa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, 2024.

The introduction substantiates the relevance of the topic, selects the object of research, shows the connection of the work with the problems of residential complexes in difficult times, which require a quick restoration of the energy infrastructure. The purpose of the work and research tasks are formulated, the research methods are described, the provisions of scientific novelty and the practical significance of the obtained results are given.

The first chapter analyzes the dependence of the energy supply of residential complexes on natural disasters, as well as military destruction. As experience shows, gas tube boilers, in the pipes of which flue gases move, have proven themselves well for the rapid restoration of heat supply to buildings according to most indicators. They are easy to manufacture and operate, but have limitations in increasing thermal power due to technical features. The main obstacle is the low values of heat transfer at the "flue gases - metal wall" boundary. Analysis of known methods of intensification of heat transfer from gases shows the difficulties and contradictions in solving this problem. Recent studies show four options for solutions leading to an increase in the heat transfer coefficient α by changing the geometry of the flow parts. During actual design, there are difficulties in predicting the actual values of the increase in the heat transfer coefficient α , because they usually indicate a wide range of discrepancies: 2 to 6 times with complex calculations of recommendations. It has already been proven that the use of simple turbulators - inserts and, first of all, spirals gives the results of intensification of heat exchange up to 6 times, which are comparable to complex and expensive methods. The use of spirals simplifies the design and makes the equipment cheaper. But it is necessary to note a significant contradiction - the installation of spirals in gas pipes sometimes leads to an increase in the air resistance coefficients ($R; \lambda$) of the movement of gases by 10 times, and sometimes by more than 100 times, which leads to a significant increase in energy consumption for the operation of boiler fans. It is necessary to emphasize the important fact that the reason for such a disproportionate increase in electricity consumption by fans can be the problem of uncertainty in calculations of aerosystems with errors of up to 25% when performing design studies. Problems of

uncertainty of design calculations arise in various aspects of design. They should also be attributed to the selection of the geometry of thermal insulation and equipment channels for providing comfortable living conditions. Therefore, solving these contradictions is an urgent scientific and technical task of improving the energy performance of energy equipment in the heat supply systems of residential complexes.

The work formulates a working hypothesis. There are and can be implemented simple measures to increase the heat transfer at the boundary "flue gases - metal wall" with the simultaneous reduction of air resistances for the movement of flue gases in boiler elements in order to ensure effective energy balances. The basis for the effective selection of these measures is the methods of improving the geometric parameters of the flow parts by means of visualization of the processes of self-organization of the flow structure and improvement and refinement of the calculations of the main energy parameters of the equipment.

Based on the working hypothesis and based on the analysis of the literature, the goal of the work was formulated: the development of measures to increase the efficiency of the energy equipment of residential complexes due to the improvement of the geometry of the flow parts based on the models of the relative coefficients of proportionality of the processes of heat transfer and movement of liquid or gas.

To achieve the goal of the work, it turned out to be necessary to perform the following tasks: to investigate the influence of the geometric parameters of the equipment on changes in energy indicators of energy processes using the example of gas tube boilers, to develop and propose ways of intensifying heat transfer and reducing energy losses in the flow parts of aerosystems due to their modification.

In **the second chapter**, two grapho-analytical models of energy processes are developed in the form of a representation of the main parameters of energy: the dynamic component D and the potential P , as well as proportionality coefficients (preferably resistance values). The first "thermomodel" of heat transfer processes throughout the metal wall using heat transfer coefficients is graphical in nature and reflects the direct dependence of the main parameters of the dynamic component of

thermal energy D (amount of heat q) and thermal potentials (temperature t). This model is improved with an additional graph based on thermal resistances R_t .

The second "aeromodel", similar to the thermal model, describes the process of movement of liquids or gases. It is designed to compare thermal and air processes. Aeromodel represents the main energy parameters of gas movement in the form of a dynamic component of air energy $\mathcal{D} = kV^2$ and air potentials (pressure P) based on the use of resistance coefficients R_a in aero systems. It is the resistance coefficients: both thermal R_t and aero R_a , that allow you to calculate or graphically identify the main energy parameters of both thermal and gas movement processes in the flow parts of the equipment.

On the basis of the grapho-analytical "thermomodel", a method of graphically determining the change in the amount of thermal energy with a change in proportionality coefficients - heat transfer (as units of the amount of heat per unit of temperature or potential and unit of size), as well as thermal resistances, was developed, which made it possible to determine the distribution of temperatures at different points of heat transfer .

On the basis of the grapho-analytical "aeromodel" a method was developed for calculating and presenting the change in the amount of the dynamic component of hydro- or aero-energy when the resistances change (as a measure of the loss of dynamic energy of movement), which made it possible to determine the distribution of pressure values at different points of the gas path of the boiler.

Thus, two graphical models of heat transfer processes and gas movement provide two existing methods of modeling changes and analysis of the ratio of the main energy parameters based on comparable proportionality coefficients - resistance coefficients of both thermal and aero processes.

In **the third chapter**, a method of improving the flow parts of the elements of hydro and aerodynamic systems using computer methods for processing visual pictures of the flow structure is developed. For this, four stages were created: visualization of flows in the physical model; digitization of visual pictures to obtain quantitative and qualitative assessments of the state of gas flows in the elements;

synthesis of a new flow part of hydraulic and aerodynamic system elements; development of a flow part with reduced resistance based on computer simulation. The implementation of the proposed method is shown on the example of improving the "turn" of the gas flow, where the conditions for self-organization of the environment structure are created. Isolation of individual sections of the flow, quantitative and qualitative assessment of the state of the flow structure and synthesis with the aim of optimizing the geometry of the flow part, made it possible to develop a channel geometry without flow separation from the walls, which provides a 2.6-fold reduction in the air resistance of the "*180° turn of the flow*".

In the **fourth chapter**, the influence of the transverse structure of the flows on the main energy parameters and proportionality coefficients was investigated, which made it possible to increase heat transfer without increasing the costs of gas movement processes due to the change in the transverse dimensions of the channels.

First, unlike the Reynolds experiments, not only laminar flow layers were visually detected, but also the dimensions of the layers: two bands (light and gray) have a constant size of $\Delta h = 0.52$ mm. Light bands are proposed to be characterized as positive pulsating components of the dynamic energy component; gray bars are negative components of the dynamic energy component.

The paper presents an analysis of the results of two series of experiments performed in two different laboratories. The dependences of the hydraulic friction coefficient λ on the Reynolds number $\lambda = f(Re)$ were investigated with a discrete change in the actual values of the channel height h in the range $h = (0.4 \div 2.5)$ mm. Gas flows Q or velocity V were measured in a given pressure range ($P = 5 - 40$ kPa). The surface roughness of the channels during the experiments was zero and did not change. Therefore, for the laminar regime, it was necessary to compare the results of the hydraulic experiment on the dependence of the friction coefficient on the Reynolds number with the line according to Poiseuille's formula $\lambda = 64/Re$; at numbers $Re > 5000$, the results were compared with the line calculated by the Blasius formula $\lambda = 0,3164/ Re^{0,25}$.

In the first series of experiments, where the theory of heat and mass transfer was based on the use of parameter mediation, the values of real data have an uncertainty of 25% or more in the dependence $\lambda = f(Re)$ relative to the formulas of Poiseuille and Blasius. The second hydraulic experiment, which was planned based on the results of the revealed flow structure, determined the dependence not only on the Reynolds number, but also the nonlinear dependence of the coefficient of hydraulic friction λ on the change in the height of the channels h in the form $\lambda = f(Re; h)$. A linear change in the dimensions of the height of the channels h gives a non-linear change in the values of gas flow rate Q or velocity V . Thus, based on the results of hydraulic experiments, it is proposed to assume that the change in the dynamic energy component of the flow $D = kV^2 = f(P)$, as well as the coefficients of hydraulic friction λ reflects the distribution of the density of light and gray bands of visual pictures, which confirms the constant distribution of the energy structure of the flows, which has a non-linear nature of the distribution of the real values of the velocity plot in the cross section of the channels. This makes it possible to eliminate the problem of the uncertainty of parameter calculations in channels with slot sizes.

Secondly, the influence of the transverse structure of the flows on the heat transfer coefficient α was investigated (in the first series of experiments). Analysis of the dependence of $\alpha = f(P)$ in channels with a height of $h = 0.4 \div 1.6$ mm proved that the rate of increase in the heat transfer coefficient in the range of channel sizes $h = 0.4 \div 0.65$ mm and $h = 0.9 \div 1.17$ mm (light zones of positive dynamic energy components) more than in the range of linear height change $h = (0.65 \div 0.9)$ mm and $h = (1.17 \div 1.45)$ mm (gray zones of negative dynamic energy component).

A comparison of the results of the hydraulic and thermal experiments shows signs of the influence of the flow structure (non-linear nature of the distribution of dynamic energy components) on the hydraulic and thermal parameters of the flows. It should be noted that traditionally resistance coefficients (hydraulic friction coefficient - λ) are used for calculations and characteristics, and direct proportionality - heat transfer coefficients α are used for thermal processes. The

obtained results can be used for the development of heat transfer intensification devices at the "gas - metal wall" interface. The results show a range of cross-sectional dimensions of the channels, where the heat transfer coefficient has high values, while the aerofoils of the channels will have minimum values.

In the **fifth chapter**, the influence of the longitudinal structure of the flows on the heat transfer indicators due to the increase of the heat transfer coefficient at the "gas - metal wall" interface is investigated. Visual studies provide options for changes in the longitudinal dimensions of the turbulator elements, which ensure an increase in boiler efficiency without increasing fan operation costs.

Today, much attention is paid to vortices. However, it should be noted that the presence of vortices shows a sharp increase in drag in the flow. The analysis of the flow structure of the jet flowing into the flooded space allows us to identify zones of longitudinal structures in the form of bright discrete areas that characterize a local increase in the dynamic component of the thermal energy of the flow. The identified light longitudinal sections indicate the optimal longitudinal dimensions of the spirals of the turbulators. The production of turbulizers for boilers allows you to significantly increase the heat transfer at the "gas - metal" interface and at the same time ensure moderate values of hydraulic resistances. The boiler test data are given, in which the energy parameters of two operating options were investigated: 1 – without turbulators in the gas pipes and 2 – with the installation of a belt for heat exchange intensification. The installation of the turbulator made it possible to increase the efficiency of the boiler from $\eta_{k.1} = 0.8$ to $\eta_{k.2} = 0.92$. At the same time, the energy consumption of the fan has changed slightly.

Thus, visual studies of flows with the detection of self-organization of the flow structure provide new useful information for the organization of hydraulic and thermal experiments to identify the influence of the structural organization of flows in the flowing parts of the equipment on the main energy parameters and proportionality coefficients in the form of resistances.

The results make it possible to eliminate the problem of uncertainty when calculating the energy parameters of heat transfer, as well as the movement of liquids

or gases. The obtained results demonstrate the advantages of visual information in the development or improvement of channel geometry in order to improve the operating parameters of heating and air conditioning systems, the selection of sizes of insulating materials, etc. to improve the energy performance of residential complex systems.

Key words: residential complexes, gas-tube boilers, efficiency, hydraulic and air supports, heat transfer, heat transfer, physical modeling, visualization, flow structure, self-organization.

**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ
Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати
дисертації:**

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Арсірій В.А., Крошка О.В. Термо- і аеромоделі процесів газотрубних котлів. *Наука та будівництво*. 2023. Т.38, №4. С.49-56.
<https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-7>
2. Арсірій В.А. Крошка О.В. Термо- і аеромоделі енергетичного обладнання житлових комплексів. *Сучасне будівництво та архітектура*. 2024. №7. С. 118-127. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-7-118-127>
3. Арсірій В. А., Крошка О. В. Метод удосконалення проточних частин елементів енергетичних систем житлових комплексів. *Механіка та математичні методи*. 2024. Т.6, №1. С.57-73.
<https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-57-73>
4. Arsirii V. A., Arsirii O. O., Kravchenko O. V., Ryabokon P. M., Kroshka O. V. Structural and parametric models of hydro-aerodynamic systems for increasing the efficiency of energy infrastructure facilities. *Applied Aspects of Information Technology. Nauka i Tekhnika*. 2022. Vol. 5, №4. С. 331–347.
<https://doi.org/10.15276/aait.05.2022.22>

Наукові праці, що опубліковані в закордонних періодичних виданнях

5. Арсірій В. А., Кравченко О.В. Крошка А. В., Рябоконт П. М. Пьезо модель расчета и представления энергетических характеристик аэродинамических систем. *International journal Sustainable development*. 2020. Vol. 2. P.52–58.
6. Арсірій В., Крошка А., Рябоконт П., Кравченко О. Визуализация структуры потоков для исследования гидродинамических параметров жидкостей и газов. *International journal Sustainable development*. 2022. Vol.2. P.66–73.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Крошка О.В., Вишнеvsька О.В., Кібіш А., Фютак О.О. Міський комплекс генерації електроенергії та тепла. *Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології: матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції*, м. Одеса, 13-14 грудня 2023 р. 2023. Одеса: ОДАБА. С.79-80.
8. Крошка О.В., Кіщенко А., Буцацкий К. Дослідження впливу структури потоків на характеристики теплотехнічного обладнання. *Фізичні основи сучасних технологій в будівельній індустрії: тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених*. м.Одеса, 5 квітня 2024р. Одеса: ОДАБА. 2024. Р. 112-116.
9. Арсірій В. А., Крошка О. В., Савчук Б.А. Сінергетичний підхід формування властивостей деформованих середовищ за рахунок структуроутворення. *Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції*, Одеса, 23-24 квітня 2024 р. Одеса: ОДАБА. С.68-69.
10. Арсірій В.А., Голубова Д.О. Крошка О.В. Оптимізація регіональних енергетичних систем – навчаємо здобувачів бути корисними. *Управління якістю підготовки фахівців: матеріали XXIX наукової-методичної конференції (2 частина)*, Одеса, 18-19 квітня 2024р. Одеса: ОДАБА. С. 4-5.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ABSTRACT	8
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	16
ЗМІСТ	18
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	21
ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЛІПШЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ.....	29
1.1. Аналіз методів проектування систем теплопостачання	32
житлових комплексів із газотрубними котлами	32
1.2. Аналіз публікацій з досліджень інтенсифікації переносу.....	35
1.3. Методи інтенсифікації теплообміну.....	38
1.3.1. Аналіз варіантів інтенсифікації теплообміну на межі «газ-.....	39
стінка» для покращення параметрів роботи котлів	39
1.3.2. Турбулізатори – вставки у вигляді кручених стрічок	40
1.4. Термомодернізація громадських будівель з метою поліпшення мікроклімату приміщень.....	42
1.5. Моделі та методи удосконалення параметрів аеро- і гідросистем.....	43
1.5.1. Моделі та методи досліджень з метою поліпшення параметрів	45
енергетичних систем	45
1.5.2. Візуальні дослідження потоків	49
1.5.3. Використання візуалізації для зменшення опорів.....	50
1.5.4. Використання візуалізації для виявлення структури потоків	51
1.5.5. Візуалізація – спосіб виявлення самоорганізації структур.....	53
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	55
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛІ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	57
2.1. Модель розрахунку потужності та ефективності котлів	58
2.1.1. Представлення енергетичних процесів на основі основних	60

параметрів та коефіцієнтів пропорційності між ними	60
2.1.2. Розрахунково - графічна модель представлення параметрів аеросистем	63
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	68
РОЗДІЛ 3 МЕТОД УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТА СІНТЕЗУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ РУХУ У ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЯХ	70
3.1. Загальна схема створення проєктного рішення за методом удосконалення фізичної моделі проточної частини	71
3.2. Засоби отримання кількісної оцінки стану газового потоку	74
3.2.2 . Засоби отримання якісної оцінки структури потоків	79
3.2.3. Створення бази даних структурних примітивів (вікон)	82
3.3. Створення каталогу даних базових проточних частин	89
3.4. Створення енергоефективної проточної частини елемента	92
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	99
РОЗДІЛ 4 ПРОЄКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ПОПЕРЕЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОТОКІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ.....	102
4.1. Вплив поперечної структури потоків на основні енергетичні	103
параметри та коефіцієнті пропорційності	103
4.2. Вплив поперечної структури потоків на коефіцієнт тепловіддачі.....	109
4.3. Епюри розподілу реальних швидкостей потоків.....	113
4.3.1 Кінематична модель потоків.....	113
4.3.2. Коригування структури потоків для формування необхідних проявів пульсаційних компонентів швидкості.....	117
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	120
РОЗДІЛ 5 КОРИГУВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ	121
5.1 . Використання поздовжньої структури потоків на розробку	122
геометрії турбулізаторів з інтенсифікації переносу теплоти	122

5.2. Реконструкція аеросистеми на основі візуалізації структури	125
потоків	125
5.3. Удосконалення системи тепlopостачання житлового району за рахунок розподільчої генерації.....	128
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5	130
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	133
ДОДАТКИ.....	146
Додаток А	147
Додаток Б	150

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГТК – газотрубні котли (або жаротрубні котли)

ОК – опалювальні котельні

АС - аеродинамічні системи (аеросистеми)

ГС - гідравлічні системи (гідросистеми)

ККД – коефіцієнт корисної дії

МВДСП – метод візуалізації дискретної структури потоків

МВПЧ ГАС – метод вдосконалення проточних частин гідро- та аеросистем

ДВ – дугтьові вентилятори

ЦТП – центральні теплови пункти

ФМ – фізичне моделювання

ЧМ – чисельне моделювання

P_v – повний напір вентилятору

M_A модель – представлення параметрів аеросистем з використанням коефіцієнтів аероопорів

M_t модель – представлення параметрів переносу тепла з використанням коефіцієнтів переносу теплоти або термічних коефіцієнтів опору

R_A – коефіцієнтів опору елементів аеросистеми котла

R_t – коефіцієнтів опору елементів котла при переносі тепла

η_k – ефективність котлів

α – коефіцієнт тепловіддачі

λ – коефіцієнт теплопровідності

ζ – місцевий коефіцієнтів опору аеросистем

λ_r – коефіцієнтів опору третя

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Система теплопостачання є найважливішою частиною енергетичного забезпечення міських житлових комплексів. Особливе значення ці системи мають у зимовий період низьких температур. Останні роки теплопостачання міст проходить випробування під час руйнування інфраструктури міст. Наприклад, у м. Харків у зимовий період 2023 року були пошкоджені 6 великих котлових агрегатів системи теплопостачання, що забезпечували теплопостачання об'єктів житлової забудови. На відновлення обладнання крупної енергетики потрібен досить великий період проведення робіт - до кількох тижнів. Але для збереження системи потрібно відновити теплопостачання не більше, ніж за одну добу. Більший термін відсутності теплоносія у системі може привести до руйнувань через замерзання і тривалої відсутності теплопостачання. Такі наслідки можуть виникати також через аварії або в період природних катаклізмів. Тому руйнування інфраструктури житлових комплексів у зимовий період потребують оперативного відновлення енергетичних систем. Рішенням такої складної проблеми, наприклад, у Харкові було використання газотрубних котлів (ГТК). Монтаж ГТК тепловою потужністю 2 – 5МВт виявився надійним варіантом швидкого відновлення теплової генерації як житлового, так і промислового комплексів.

Головна особливість газотрубних котлів – організація термо- та аеропроектів у трубах, де формується рух та теплові процеси, а рідина циркулює у просторі між трубах. Вказані проблеми є причиною обмеження теплової потужності ГТК. Численні дослідження вказують на найголовнішу проблему із забезпеченням інтенсифікації теплообміну на межі «газ – металева стінка труб» та аналізу результатів при зіставленні змін термо- та аеропроектів. Ця проблема фіксує теплову потужність ГТК на рівні 5 - 10МВт. Існує ще інша проблема – неоднозначність результатів розрахунків як процесів руху газів у трубах, а також похибка більш 25% при розрахунках переносу

теплоти. Тому останні часи пріоритет розвитку енергозабезпечення житлових комплексів віддавалася крупним котельням з водотрубними котлами.

Проблеми більш точного прогнозування енергетичних параметрів теплових процесів потрібно визначити в період нового будівництва житлових комплексів. Наприклад, в системах кліматизації (вентиляція, кондиціонування повітря), а також раціонального виготовлення системи утеплення будинків. Такі розрахунки також потребують наочних методів аналізу властивостей.

Треба відзначити світові тенденції розвитку розподілених систем теплової генерації енергії у зв'язку з природними катаклізмами, які полягають у тому, що все більшу увагу приділяють котлам газотрубних конструкцій. Головна перевага газотрубних котлів – простота виготовлення, швидкий монтаж, просте та якісне обслуговування.

Сучасні системи централізованого теплопостачання міст більшою мірою формувалися з використанням водотрубних котлів. Останні десятиліття при плануванні міської забудови йде конкуренція між централізованим теплопостачанням і тенденцією децентралізації. Тенденції децентралізації передбачають дослідження з визначенням основних показників роботи систем та виконання реновацій або відновлюваних робіт для забезпечення надійного, ефективного, соціально спрямованого та екологічного рівня показників інженерних систем житлових комплексів міст. Газотрубні котли мають переваги порівняно з водотрубними котлами в інженерних мережах систем теплопостачання міст для забезпечення комфортних умов життєдіяльності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції в рамках освітньої програми "Енергоефективність будівель та енергетичний інжиніринг". Тема дисертації безпосередньо пов'язана з реалізацією міжнародного проєкту «UKRENERGY» ("Innovative Master Courses the improvement of the Energy and Carbon Footprint of the Ukrainian Building Stock", Erasmus+CBHE, №101082898. Дисертаційна робота також виконана у відповідності до Закону України «Про

енергетичну ефективність будівель» (2017 р.), Указу Президента України «Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» (2015 р.), Концепції «Сталого розвитку населених пунктів» (1999 р.).

Метою роботи є покращення показників енергетичних систем житлових комплексів за рахунок вдосконалення геометрії каналів та розробки моделей та методів для наочного співставного аналізу зміни динамічних процесів у рамках одного виду енергії: руху у аеросистемі або теплових процесів.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити **наступні завдання:**

1. Проаналізувати особливості динамічних процесів енергетичного обладнання на прикладі газотрубних котлів.
2. Теоретично дослідити вплив геометричних конструктивних особливостей елементів газотрубних котлів на ефективність його роботи та динамізм аеро- та теплових процесів у елементах котлів.
3. Встановити показники якості (опорів або динамізму) аеропроцесів у елементах аеросистем котлів.
4. Розробити показники якості (динамізму або опорів) теплових процесів у окремих конструктивних елементах котлів.
5. Теоретично обґрунтувати можливості підвищення продуктивності та ефективності газотрубних котлів за рахунок збільшення якості динамічних процесів у окремих елементах котлів.

Об'єкт досліджень – системи теплопостачання житлових комплексів.

Предмет досліджень – моделі і методи підвищення енергетичних показників обладнання житлових комплексів.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач використані наступні методи: методи візуалізації потоків рідини або газів; моделювання основних енергетичних параметрів або коефіцієнтів x_i пропорційності для аналізу проблем енергозбереження у житлових комплексах, що проєктуються з використанням структурного підходу при

побудові моделей енергосистем з удосконаленням геометрії проточних частин основного та допоміжного обладнання на основі візуальних досліджень структури потоків.

Розроблені моделі та методи експериментальних випробувань, графічні та математичні методи представлення параметрів роботи аеродинамічних систем та процесів переносу тепла, що дозволяють аналізувати якість роботи енергетичних систем житлових комплексів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у створенні нових та подальшому розвитку існуючих моделей і методів задля підвищення продуктивності та ефективності обладнання енергетичних систем житлових комплексів, а саме:

- отримала подальший розвиток графоаналітична термомодель представлення переносу теплової енергії скрізь стінку у вигляді двох складових: кількості тепла (динаміки на одиницю потенціалу (як причини процесу) та зміни потенціалу (перепаду температур), у якій за рахунок використання коефіцієнтів прямої залежності цих складових – коефіцієнту тепловіддачі, а також зворотної – у вигляді коефіцієнту опора, що дозволило отримати розподіл температур у різних точках переносу теплоти для представлення динамічних процесів газотрубних котлів;

- вперше розроблено графоаналітичну аеромодель залежності динамічної складової енергії руху газів від потенціалу (значень тиску), у якій коефіцієнти пропорційності (опори) використовуються в якості виміру витрат динамічної складової, що дозволило розробити метод графічного визначення розподілу значень тиску в різних точках газового тракту котла;

- отримав подальший розвиток метод візуалізації структури потоків рідини або газів у фізичних моделях каналів обладнання, який полягає в отриманні кількісної та якісної оцінок стану у елементах дослідження, що дозволяє синтезувати геометрію проточних частин зі знизеним опором;

- вперше виявлено нелінійну залежність коефіцієнту тепловіддачі на межі «рідина – металева стінка», яка відрізняється від розрахункових

результатів згідно формулі Михеєва, що дозволяє розробляти геометрію проточних частин для інтенсифікації теплообміну з урахуванням структури потоків.

Обґрунтованість та вірогідність наукових результатів забезпечується тим, що при створенні наукових положень, висновків та рекомендацій автор застосовує закони та рівняння, які використовуються при проектуванні аеросистем, сучасний досвід з наукових джерел, спирається на аналіз результатів реконструкцій елементів котлів з використанням існуючих моделей аеросистем та розроблених при виконанні наукової роботи.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується застосуванням моделей і методів при виконанні реальних реконструкцій аеросистем з метою коригування динамічних процесів задля усунення обмежень потужності котлів за рахунок підвищення продуктивності тягодуттьових трактів. В роботі наведені практичні результати реконструкцій, які підтверджуються актами впровадження, результатами практичного використання із позитивним ефектом. При вирішенні поставлених задач використані: системний підхід при аналізі проблем енергозбереження в аеродинамічних системах, що проектуються з використанням структурного підходу при побудові моделей з виконанням удосконалення структури потоків; методи прийняття рішень при проектуванні газотрубних котлів. Розрахунково-графічний метод аналізу параметрів з використанням термомоделей підвищує можливості для оптимізації параметрів динамічних процесів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці моделей представлення та підвищенні достовірності методів розрахунку параметрів аеросистем на етапі проектування або реконструкції тягодуттьових трактів котлів. У представленій дисертаційній роботі з використанням аеромоделі і термомоделі виконано обґрунтування результатів реконструкцій газотрубних котлів.

Розроблені моделі та методи доцільно використовувати для проведення

реконструкції енергетичного обладнання при вирішенні проблеми підвищення питомої потужності котлів, або для підвищення продуктивності систем теплопостачання житлових комплексів.

Розроблені геометричні параметри повороту потоку на 180° зі зменшеними значення аероопору, а також отримана геометрія вставки – турбулізатора у вигляді спіралі для інтенсифікації переносу тепла у каналах газотрубних котлів.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні експериментальних досліджень структури потоків енергетичного обладнання для вирішення проблем за рахунок реконструкцій – зміни геометрії проточних частин. Основні результати досліджень були отримані здобувачем самостійно. Формулювання мети та завдань дисертаційної роботи, планування експериментальних досліджень на всіх етапах роботи, обговорення результатів досліджень і підготовка публікацій виконано спільно з науковим керівником. У надрукованих в співавторстві роботах особистий внесок здобувача полягає у проведенні лабораторних досліджень структури потоків та дослідження впливу структури потоків на коефіцієнти пропорційності, обговорення результатів, інтерпретації та узагальненні висновків.

Апробація результатів дисертації. Матеріали роботи доповідались на міжнародних науково-практичних, науково-технічних та науково-методичних конференціях:

- V Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології», м. Одеса, 13-14 грудня 2023 р. Одеса: ОДАБА. Одеса: ОДАБА;
- VI Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні основи сучасних технологій в будівельній індустрії». ОДАБА, Одеса, 5 квітня 2024р.
- міжнародній науково-технічній конференції «Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій». ОДАБА, 23 квітня 2024 р.

- XXIX науково-методичній конференції «Управління якістю підготовки фахівців». ОДАБА, Одеса, 18-19 квітня 2024р.

Публікації результатів роботи, їх обговорення. За результатами роботи опубліковано 10 наукових праць, з яких 4 наукові статті у фахових періодичних виданнях, 2 статті опубліковані у міжнародному періодичному виданні, опубліковано 4 наукові праці апробаційного характеру, було зроблено 4 доповіді на науково-технічних, науково-практичній та науково-методичній конференціях.

Структура дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 152 сторінки, з них основна частина - 111 сторінок, 2 додатки на 6 сторінках. Дисертація містить 47 рисунків, 3 таблиці та перелік літературних джерел із 119 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЛІПШЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ

У проєктах житлового будівництва або споруд комерційного та комунально-побутового призначення важливими є питання раціонального використання фізичних властивостей як матеріалів будівництва, так і систем життєзабезпечення. Останні роки пріоритетним завданням будівельної галузі України є забезпечення житлових або промислових приміщень тепловою енергією, тому що державні служби та підприємства відповідають за сталу та ефективну роботу більшої частини систем тепlopостачання житлових комплексів [1,2]. На жаль, усі попередні енергетичні стратегії України (починаючи з 1996 р. їх було прийнято чотири) не були повністю реалізовані [3]. Проте без прогнозування розвитку енергетичного господарства неможливо планування економіки. Сьогодні триває інтенсивна підготовка та обговорення варіантів використання енергетичних систем житлових комплексів у період воєнних дій та інших складних ситуацій [4].

Кожні 50 - 70 років тенденції наукових досліджень та відповідно розвиток промислового і комунального обладнання зазнають метаморфоз, коли уявлення можуть змінюватись на протилежні. Якщо в середині ХХ сторіччя тенденція розвитку енергетики формулювала необхідність побудови крупних систем з обладнанням великої потужності, у яких легше біло забезпечувати високі показники ефективності, то в теперішній час парадигма енергетичного комплексу наближується до комунальних потреб [5]. Тому все більш потрібними є малі енергетичні системи, які найкраще придатні для швидкого відновлення після великих руйнувань в період різного роду катаклізмів. У багатьох країнах все більше уваги приділяється створенню розподіленої генерації електрики та тепла. Потреба масового відновлення систем забезпечення житлових комплексів теплом у період військової агресії робить актуальним питання удосконалення котлів з простими

конструктивними елементами при цьому із забезпеченням високих енергетичних показників [6].

Опалення житлового комплексу забезпечує, як правило, дві котельні з водотрубними котлами великої потужності. Останні десятиліття в таких комплексах віддавали перевагу водотрубним котлам великої потужності для спрощення обслуговування та забезпечення високої ефективності роботи. Але у випадку аварій або руйнування потрібен довгий час на відновлення роботи. Для швидкого відновлення роботи систем теплопостачання більш вигідними та зручними виявилися газотрубні котли середньої потужності.

Перерви електро- та теплопостачання через природні катаклізми ще кілька десятиліть тому розглядалися як форс-мажор. Однак у період воєнної агресії масова руйнація підприємств енергетичної інфраструктури міст потребує оперативного відновлення. Схема системи теплопостачання житлового району м. Одеса в межах котельні №1 відображає вже застарілі методи проектування житлових комплексів на рис.1.1.

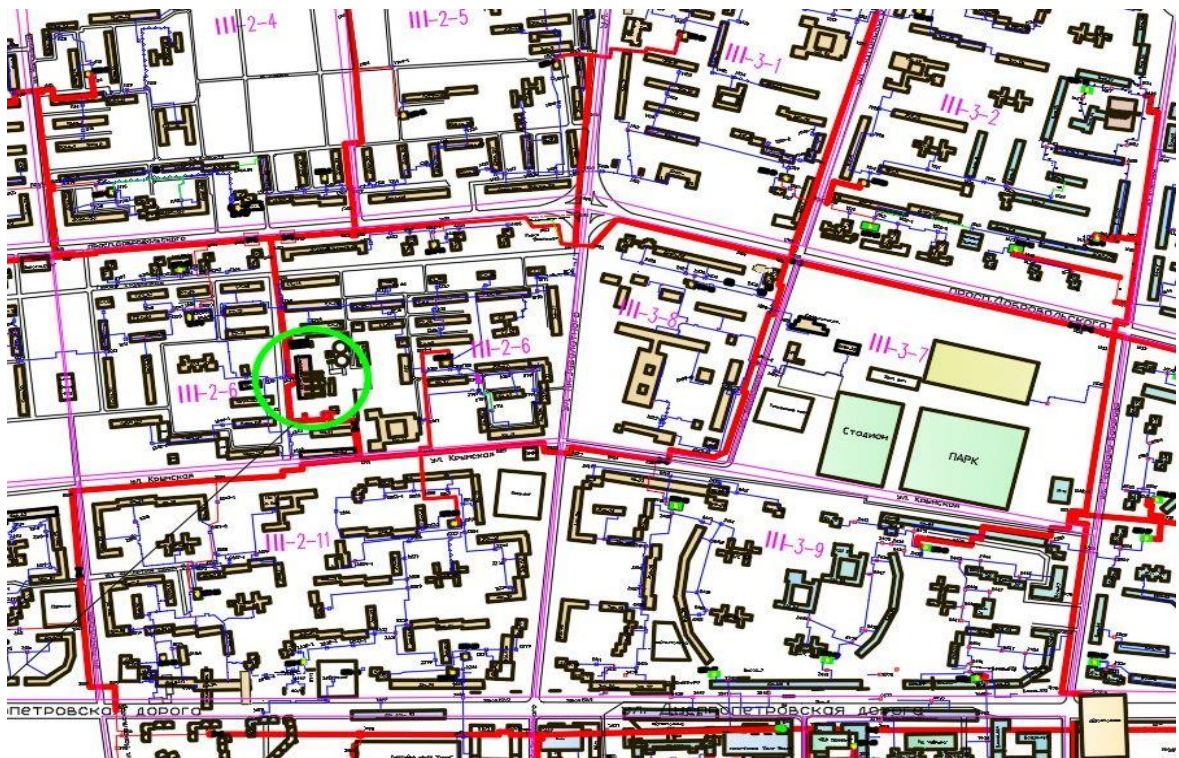


Рис 1.1. Схема системи теплопостачання житлового району м. Одеса

Історія використання ГТК налічує вже кілька століть від паровозів та пароплавів до сучасних котельнь різних фірм: *Beretta*, *Ferrol*, *Lamborghini* в Італії, *Bosch* у Німеччині та *Колві* в Україні. Незважаючи на довгу історію використання ГТК, залишається низка проблем, які потребують наукових досліджень з метою покращення енергетичних процесів [7]. Пріоритетом досліджень ГТК є досягнення наступних властивостей: надійність; швидкість виготовлення, монтажу; швидкість та простота обслуговування; придатність до ремонтів та обслуговування; економічність; ефективність.

Відмінності газотрубних котлів від водотрубних згідно з ДБН В.2.5-77:2014 [8] у тому, що в трубах необхідно забезпечити рух продуктів згорання палива з високою температурою. Рух та нагрівання води необхідно організувати у просторі між труб. Головними перевагами ГТК є швидке виготовлення; використання простих видів сталі, що знижує собівартість виготовлення у поєднанні зі швидкою установкою та простотою управління та обслуговування. Тому у випадках руйнування систем теплопостачання головною логікою відновлення роботи обладнання є швидкість виготовлення, транспортування, встановлення та введення в експлуатацію в першу чергу котлів для генерації теплоносіїв. Прикладом непрогнозованих дій у системі теплопостачання можна вважати аварійні роботи відновлення котельного обладнання для м. Харків в зимовий період 2022 року.

Для попередження наслідків руйнацій енергетичного обладнання у другій половині 2022 року для м. Харків було виготовлено та поставлено 14 блочно-модульних котельних потужністю від 3 до 8 МВт. Їх впровадження базувалось на уявленні заміни крупних енергетичних обертів, відновлення якого потребує тривалий термін. В перше чергу це були ТЕЦ великої потужності, які у разі пошкодження внаслідок обстрілів потребують тривалого ремонту. По-друге, були встановлені нові котли у крупних центральних теплових пунктах або інших місцях у безпосередньому наближенні до скупчення житлових будинків. Таке рішення можна розглядати як створення розподільчої системи опалення, приближеної до житлових будинків, а також

інфраструктурних об'єктів. Такі дії виконувались з урахуванням питань показників економічності, здібностей регулювання потужності, а також гнучкості переключень у разі руйнування частини теплових мереж, що дозволило оптимізувати витрати теплової енергії при транспортуванні теплоносія. Додатково треба відзначити, що в період руйнування крупних котлів у зимовий період вирішувалась головна умова швидкого відновлення генерації тепла у термін до 24 годин. Не виконання умови забезпечення вказаного терміну призводило до того, що системи тепlopостачання могли виходити з ладу на тривалий період. Вимоги швидкості виготовлення, встановлення та введення в експлуатацію котлів або елементів систем тільки посилювались.

Тому у звичайних умовах пріоритет можна віддати крупній паливній енергетиці, але в період аварій, природних катаклізмів, потреби відновлення систем тепlopостачання після військового руйнування найкраще себе зарекомендували котли середньої потужності газотрубної конструкції.

1.1. Аналіз методів проєктування систем тепlopостачання житлових комплексів із газотрубними котлами

Газотрубні котли (ГТК) відповідають більшості умов надійної роботи систем тепlopостачання житлових та промислових комплексів. Однак, однією з головних проблем ГТК є необхідність інтенсифікації теплообміну під час передачі тепла на межі системи «газ – метал». На рис. 1.2 показано газотрубний котел Колві українського виробництва, які швидко виготовлюються у разі потреби.

Перешкодою вирішення цієї проблеми є непропорційно велике зростання опорів елементів газового тракту котлів, особливо у місцях, де виконуються технічні заходи з метою інтенсифікації коефіцієнтів тепловіддачі. Незважаючи на численні дослідження (більш 430 досліджень за останні 20 років) з метою інтенсифікації теплообміну, рекомендації для вдосконалення газотрубних котлів мають багато різночитань [9] та

невизначеностей [10, 11]. При забезпеченні балансів переносу тепла та процесів руху димових газів і рідини ГТК здатні забезпечувати високі показники основних параметрів.

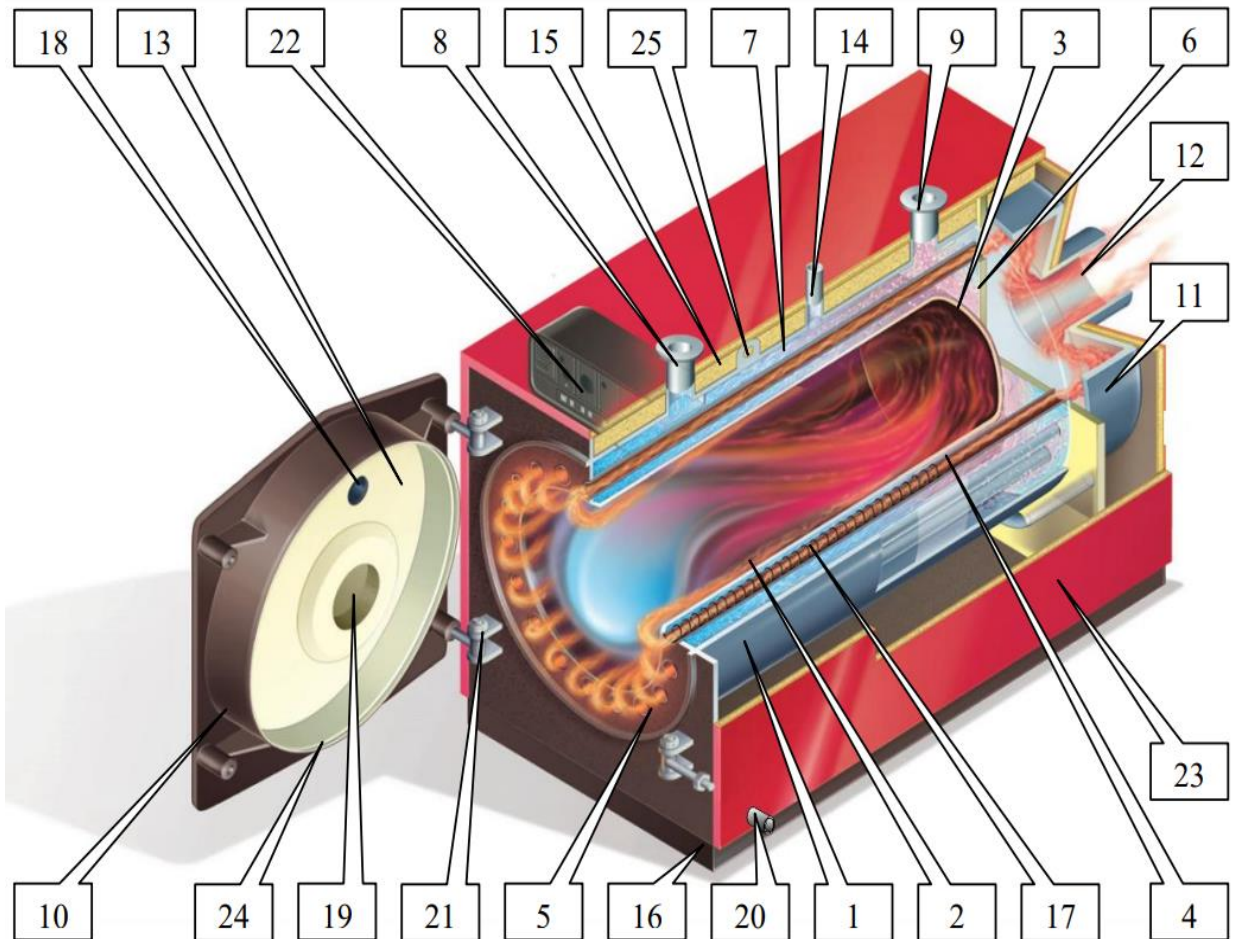


Рис. 1.2. Основні елементи газотрубного котла Колві: 1 – корпус котла; 2 – топка котла (жарова труба); 4 – димогарні труби; 5, 6 – передні та задні трубні грати; 7 – водяний тракт котла; 8, 9 – патрубки підводу та відведення теплоносія; 10 – дверці; 11, 12 – димові газів; 13 – жарозахисний бетон; 15 – теплоізоляція; 17 – турбулізатор; 19 – амбразура пальника

Головним показником роботи сьогодні вважається ефективність котлів як основного обладнання систем постачання житлових комплексів. Ефективність котлів розраховується як відношення кількості теплової енергії,

яку віддає котел, до енергії палива, яку котел споживає [12]. На рис. 1.3 наведена ефективність котлів Колві при різних значеннях навантаження.

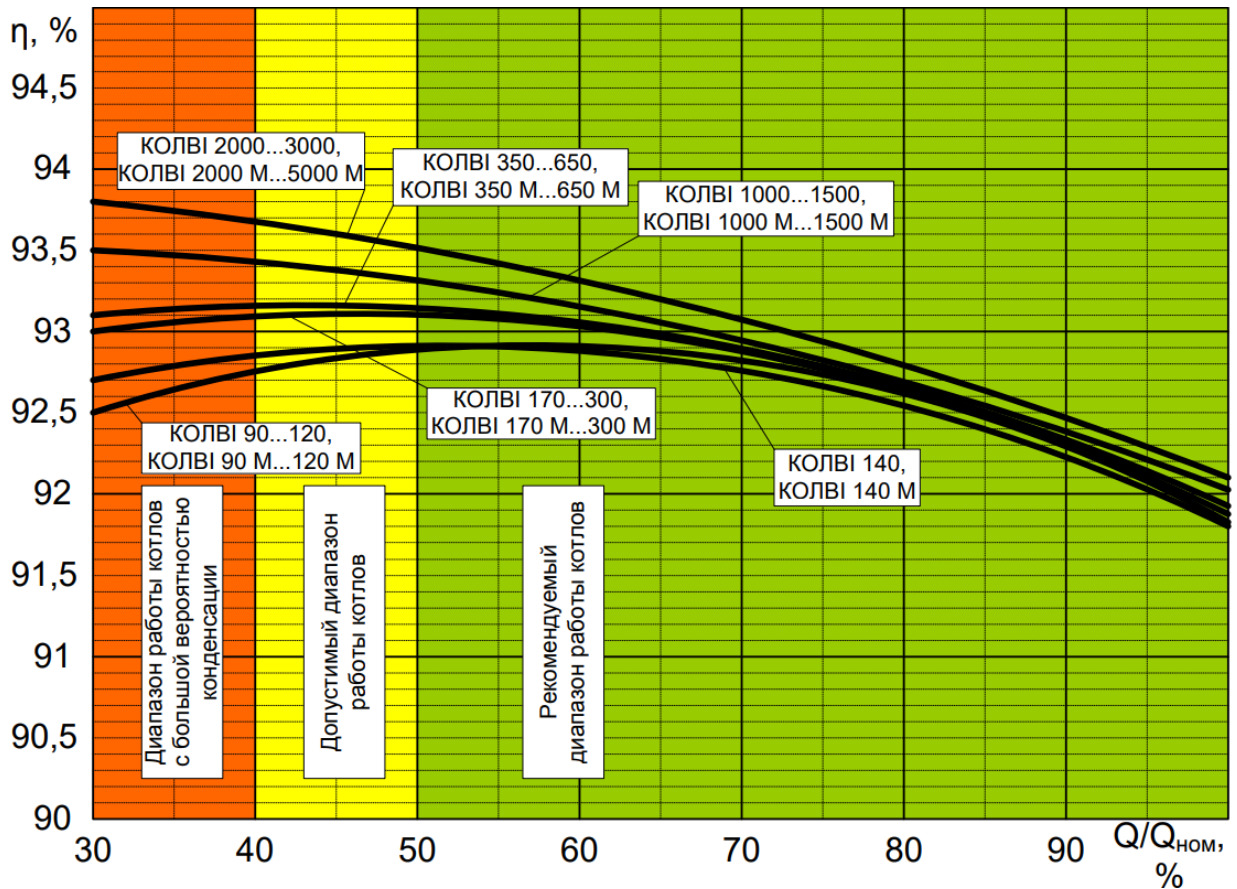


Рис 1.3. Залежність ККД котлів Колві при різному відносному навантаженні

Потрібно зазначити, що такі високі показники потребують налаштування додаткових систем котлів – турбулізаторів, які виконують завдання інтенсифікації теплообміну під час роботи. У разі відсутності часу на випробування та налагодження котлів виникають проблеми швидкого зниження ефективності, перегорання турбулізаторів, що призводить до потреби заміни турбулізаторів, тому що поки не існує рекомендацій оптимізації геометрії такого роду пристроїв або обладнання. Більшість виробників ГТК виконують дослідження з метою розробки рекомендацій підбору геометричних особливостей турбулізаторів, але такого роду рекомендації мають великий діапазон невизначеності. Тому сталих показників високої ефективності отримати сьогодні дуже складно.

1.2. Аналіз публікацій з досліджень інтенсифікації переносу теплоти

Потреба масового відновлення систем забезпечення житлових комплексів теплом робить актуальним питання розробки рекомендацій вдосконалення котельного обладнання із простими конструктивними елементами для забезпечення високими енергетичними показниками. У теплоенергетиці основним обладнанням є котельні установки, експлуатація яких істотно залежить від коефіцієнтів тепловіддачі на межі «газ – металева стінка» [13–15]. У ГТК потрібно виділити турбулізатори 17 у трубах з димовими газами (рис. 1.2), які потребують розробки моделей та методів для забезпечення сталих показників інтенсифікації переносу теплоти за рахунок прогнозованих геометричних рекомендацій. Огляд результатів досліджень на тему збільшення теплової потужності котлів за рахунок інтенсифікації теплообміну дозволив виділити чотири види заходів та використання пристроїв для підвищення коефіцієнта тепловіддачі на межі «газ – металева стінка»: 1 – у трубі облаштовуються внутрішні ребра; 2 – вставка в газотрубний простір кручених стрічок, петель та інших турбулізаторів; 3 – труби виконують гофрованої або крученої геометрії; 4 – труби всередині або зовні можуть мати виступи чи заглиблення [16, 17].

У більшості публікацій питання інтенсифікації переносу теплоти є протеріччя стосовно збільшення теплопередачі та зміни коефіцієнта тертя для простих методів використання скручених стрічок або спіралей у трубах. У більшості випадків коефіцієнти збільшення тепловіддачі для газів знаходяться в межах 2 - 6, при цьому збільшення коефіцієнта тертя зазвичай істотно вище, ніж коефіцієнт тепловіддачі [18] і може бути більше 10, а інколи більше 100. Всі чотири варіанти інтенсифікації теплообміну пов'язані зі зміною геометрії проточних частин, але поки що складно визначити чіткі рекомендації геометричних залежностей такого роду пристроїв. Найпростішим варіантом турбулізаторів вважається використання спіралей, які значно підвищують перенос теплоти, але при цьому дають найбільше збільшення коефіцієнта

тертя. Це призводить до великих витрат енергії на роботу нагнітача повітря [19]. Вже розроблено показники, які дозволяють характеризувати результати численних досліджень теплообміну. Зазвичай наочно можна аналізувати відношення отриманих коефіцієнтів тепловіддачі при використанні турбулізації α_i [Вт/м²·К] до коефіцієнтів звичайних труб α_0 [Вт/м²·К]. При цьому одночасно треба мати співставні показники коефіцієнтів аероопорів руху газів або рідини f_i [–] труб з турбулізаторами у порівнянні із опорами звичайних труб f_0 без додаткових пристроїв. У таблиці 1.1 показано збільшення динаміки тепла та, відповідно, коефіцієнтів тепловіддачі (α_i / α_0), а також коефіцієнтів тертя (f_i / f_0) у трубах.

Таблиця 1.1

Збільшення динаміки тепла та зміни опорів руху газів

	Заходи збільшення коефіцієнта тепловіддачі	Діапазон зміни α_i / α_0	Діапазон зміни f_i / f_0
1	Внутрішнє оребрення труб	1 - 6	1,5 – 14
2	Вставка в трубний простір спіралей, кручених стрічок, петель та інших турбулізаторів	1,5 - 6	2 – 200
3	Кручені або гофровані труби	1–3	1,5 – 10
4	Виступи або поглиблення у трубах	1–4	1 - 8

При поданні такої великої кількості результатів досліджень процесів перенесення теплоти фіксується поліпшення теплообміну як головний фактор, але при цьому вказується значне збільшення аероопорів і підвищення витрат енергії на втрати тиску як супутній фактор. Важливим фактором є використання коефіцієнтів пропорційності різної природи з різними одиницями вимірів. Коефіцієнти тепловіддачі вимірюється у α_i [Вт/м²·К], а коефіцієнти опорів мають безрозмірні значення [–]. Отже, важливо наочно та кількісно уявити разом зміни параметрів динаміки термо- та аеропроектів

даного методу поліпшення. Важливою умовою аналізу співвідношення результатів зміни теплових процесів та показників збільшення аероопорів є коректна сумісність моделей цих процесів різної енергетичної природи. Тому необхідно зазначити, що результати подання досліджень засновані на теорії суцільних середовищ та середовищі параметрів та коефіцієнтів пропорційності.

Потрібно відзначити відому сильну наукову школу Одеського технологічного інституту холодильної промисловості (нині входить до складу ОНТУ), яку очолював Горбіс З.Р. Його найвідоміші учні та послідовники Смирнов Г.Ф. та Календер'ян В.А. виховали плеяду вчених у галузі теоретичного та експериментального дослідження процесів теплоперенесення, таких як, наприклад, Кожелупенко Ю.Д., Бошкова І.Л. [20, 21]. Для досліджень, представлених у даній дисертації, важливим результатом є визнання діапазону неоднозначності розрахункових енергетичних параметрів процесів у різного роду теплообмінних апаратів, який може досягати 25% відхилень від середніх значень і більше [22, 23]. Дослідження впливу структуроутворення потоків на енергетичні параметри та коефіцієнти пропорційності, які виконувались в ОНТУ, проходили за безпосередньої участі Бошкової І.Л. Результати тривалий час обговорювалися у зв'язку з великим діапазоном розбіжності реальних результатів зі значеннями, розрахованими з використанням відомих формул Міхеєва та відомих критеріальних залежностей. Це було представлено як неоднозначність одержаних енергетичних параметрів та коефіцієнтів пропорційності [10, 23].

Результати досліджень процесів перенесення теплоти для вирішення проблем будівельної галузі публікувалися у професійних журналах. Можна виділити проблеми будівельної галузі, як експериментально досліджені особливості процесу теплообміну між рухомою і нерухомою гранульованою насадкою та наскрізним потоком газового (повітряного) середовища та встановлені умови підвищення ефективності роботи тепло утилізаторів контактного типу. Цей напрям дослідження пов'язаний з напрямом

представленої дисертації та показує наявність невирішеної проблеми зниження аеродинамічних витрат в газових потоках теплоенергетичних систем.

Окремо слід особливо відзначити роботи, у яких заявлено про можливість збільшення теплообміну в 2,5 рази і більше за незначного збільшення витрат в аеросистемі [24–25]. Результати успішного використання запропонованого методу збільшення динаміки теплових процесів представлений у трубах змінного перерізу [26 - 28]. Однак результати значного поліпшення енергетичних характеристик поки не знаходять широкого застосування. Найвірогідніше причину незатребуваності знань про вплив регулярних змін геометрії проточних частин, потрібно шукати в тому, що моделі та методи подання результатів досліджень засновані на уявленнях про суцільність середовищ і середовищ основних параметрів і відповідно коефіцієнтів пропорциональності (ефективності, опорів, коефіцієнтів перенесення теплоти тощо).

1.3. Методи інтенсифікації теплообміну

Можна виділити два основні висновки з аналітичних оглядів різних варіантів інтенсифікації теплообміну [29]:

1 – кількість досліджень кручених стрічок і простих спіралей у кілька разів перевищує сумарну кількість інших варіантів посилення теплообміну;

2 – широкий діапазон невизначеності при спробах визначити кореляцію співвідношення коефіцієнта теплопередачі та коефіцієнта тертя для різних режимів як для вставлених стрічок, так і для вихрових генераторів.

При представленні всіх варіантів досліджень фіксується поліпшення теплообміну як головний фактор, а значне збільшення аероопорів і підвищення витрат енергії на втрати тиску – як супутня проблема. Отже, важливо кількісно та наочно уявити спільні зміни параметрів динаміки термо- та аеропроектів даного методу поліпшення.

Окремо слід зазначити роботи про можливість збільшення інтенсивності теплообміну в 2 рази і більше за незначного збільшення втрат в аеросистемі [29 - 32]. Результати успішного використання запропонованого методу збільшення динаміки теплових процесів представлені у трубах змінного перерізу [12, 13, 33].

Зміна питомої потужності котлів у межах певних конструктивних розмірів може виконуватися за рахунок удосконалення геометрії проточних частин, що впливає на термо- та аеропараметри. Тому головним завданням досліджень є забезпечення сумісності змін термо та аероопорів (при зміні геометрії проточних частин) для формування позитивних змін балансу енергетичних процесів у котлах.

Для аналізу процесів котлів доцільно вирішити завдання розробки порівняних термо та аеромоделей, які зможуть уявляти динаміку цих процесів. Пріоритетом виконання другого завдання має бути пошук наочної та логічної подібності математичного та графічного зображень динаміки різних видів енергії.

1.3.1. Аналіз варіантів інтенсифікації теплообміну на межі «газ-стінка» для покращення параметрів роботи котлів

Головна проблема забезпечення теплових та масових балансів при роботі котлів є наявність суттєвих відмінностей величин, що характеризують два принципово різні теплові процеси перенесення тепла: 1 – на межі «вода – стінка» та 2 - «газове середовище – стінка». Показники перенесення тепла можуть суттєво відрізнятись. Це призводить до збільшення розмірів теплообмінних поверхонь та відповідно габаритів котлів та системи в цілому.

Як повідомляється в літературі [34–36], труби із внутрішнім ребруванням виготовляють прокаткою, механічною обробкою, литтям або зварюванням. Певна кількість ребер, що виступають, витягнута по спіралі або вертикально з внутрішньої стінки трубки, що створює подовжену поверхню внутрішньої трубки, збільшуючи площу і збільшуючи здатність до

теплопередачі. Поперечний переріз плавця може бути прямокутником, трикутником або трапецією. Прикріплені ребра, такі як жалюзі, перфоровані або гофровані ребра також використовувалися для поліпшення теплопередачі газів. Падіння тиску може бути досить високим для ребер із вузьким простором. Фотографії та принципові схеми представлені на рис. 1.4.

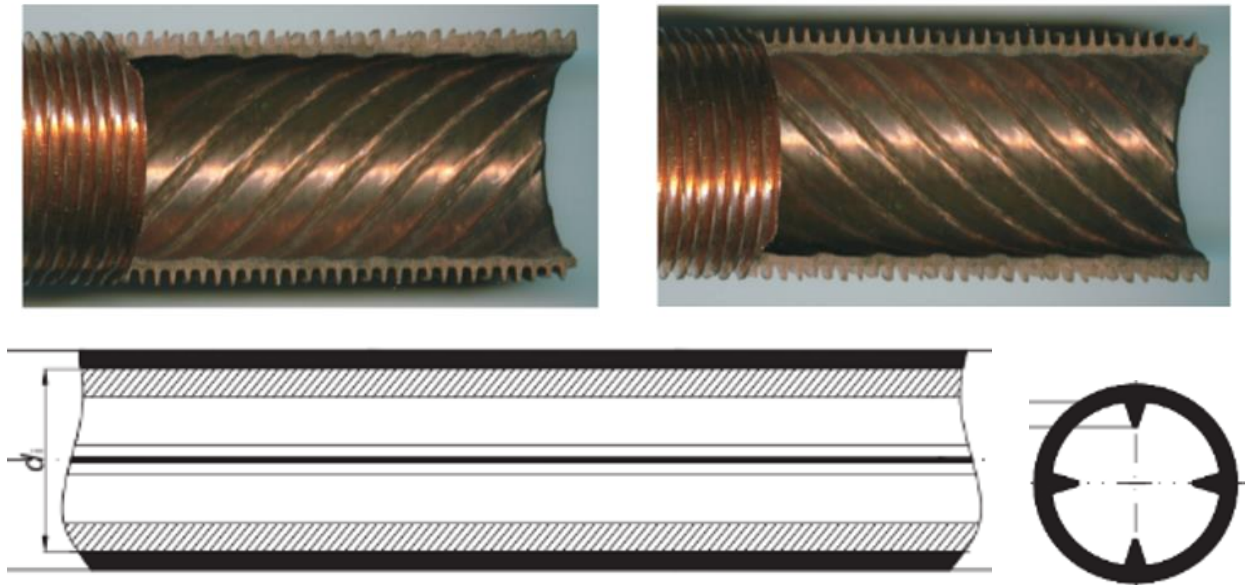


Рис. 1.4. Зображення ребер усередині газових труб

Як показано на рис. 1.4, геометричні параметри ребер труби включають внутрішній діаметр труби (d_i), внутрішню висоту ребра, кількість заходів, кут спіралі, товщину основи ребра.

1.2.2. Турбулізатори – вставки у вигляді кручених стрічок

Методами поліпшення перенесення теплоти може бути використання різних пристроїв, вставлених в гладку круглу трубу. Різні типи вставок показано на рис. 1.5.

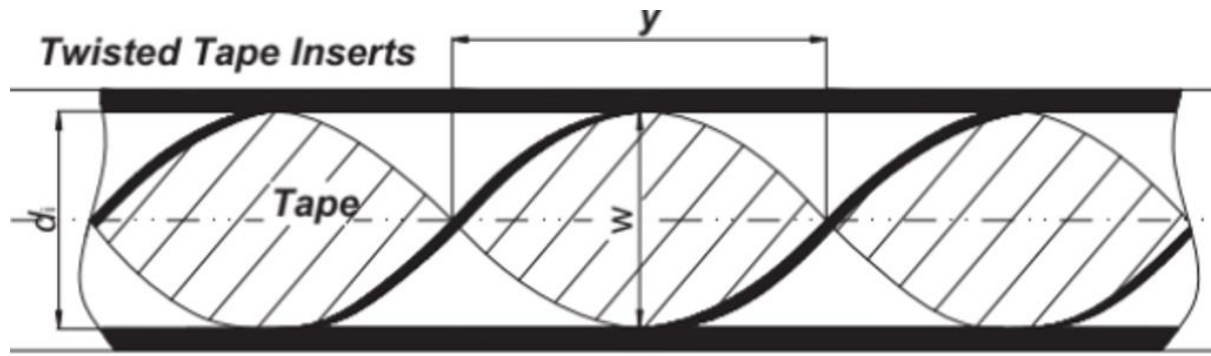


Рис.1.5. Схема вставки спіралі – турбулізатора у жаровій трубці

Вставки можуть стимулювати турбулентність, сприяти поперечному перемішуванню і посилювати теплообмін із примусовою конвекцією. Часто використовувані вставки включають стрічки [37], котушки дроту, кільця, смуги, статичні елементи змішувача [38], генератори вихрових потоків або пористі середовища [39]. Завдяки різним типам вставок інтенсивність турбулентності може бути значно збільшена при різних режимах потоку. Число Рейнольдса (Re), число Прандтля (Pr) є двома основними контролюючими факторами, що впливають на тертя та теплопередачу. До геометричних параметрів скручених стрічок, що вставляються, (рис. 1.5) також належать: крок скрутки 180, w – ширина стрічки; y – довжина стрічки; d – внутрішній діаметр трубки. Коефіцієнт крутки становить $y = y/w$. Коефіцієнт крутки може бути $y/w = 1$, що являє собою пряму стрічкову вставку, яка розділяє потік на два напівкруглі сегменти. Через більшу площу контакту коефіцієнт тертя зазвичай збільшується в міру зменшення коефіцієнта скручування.

Існує відносно мало кореляцій (для коефіцієнта теплопередачі та коефіцієнта тертя) для ламінарного та турбулентного перебігу газу як для вставлених стрічок, так і для вихрових генераторів [29, 40]. Загальні кореляції поки що недоступні, і точність не може бути гарантована. Експериментальні дані з теплопередачі та коефіцієнта тертя трубок, оснащених крученою стрічкою, змійовиком і вихровим генератором, дають велику кількість результатів з широким діапазоном рекомендацій. Числа Рейнольдса в

дослідженнях починаються від 1200 до турбулентного режиму. Коефіцієнт крутки зазвичай змінюється у широких межах 0,4 – 4,72. Встановлено, що коефіцієнти посилення тепловіддачі вищі у ламінарній та перехідній області. Аналогічним чином аналізуються результати експериментів щодо зміни коефіцієнта теплопередачі (Nu / Nu_p) та коефіцієнт тертя (f / f_p) труби, яка забезпечує найкращі поєднання зміни енергетичних характеристик теплопередачі та руху потоків.

У роботах [41–43] вставка спіралі – турбулізатора розглядається як вихровий генератор, який забезпечує збільшення коефіцієнта тепловіддачі від 4 до 5 разів. У таблиці 1.1 показано, що перепади тиску зростали майже 200 разів. Використання вихрових генераторів, таких як конічні кільця, V-подібні сопла, вставки, а також комбіновані клинові ребра дає збільшення коефіцієнта тепловіддачі в межах 10. Такі складні турбулізатори дають значне збільшення перенесення тепла. Однак такий вид інтенсифікації втрачає сенс, оскільки втрати тиску можуть величатися до 100 разів і більше. При цьому слід розуміти, що витрати енергії на роботу вентиляторів котлів відповідно будуть збільшені на стільки, що такий вид інтенсифікації не може бути використаний.

1.4. Термомодернізація громадських будівель з метою поліпшення мікроклімату приміщень

Все більше уваги привертається до термомодернізації громадських будівель з метою погіршення показників мікроклімату приміщень та стійкості будівель та споруд у будь-які періоди експлуатації. В Україні група вчених Фаренюк Г.Г., Семко О.В. Філоненко О.І., Тимофєєв М.В. [44 - 46] досліджує раціональні варіанти термомодернізації громадських будівель з метою погіршення показників мікроклімату приміщень та стійкості будівель та споруд у будь-які періоди експлуатації. Таке завдання можна розглядати як зворотне до інтенсифікації перенесення теплоти. При цьому моделі обох завдань - як прямої, так і зворотної, повинні бути подібними. Основою досліджень є аспекти сертифікації теплового середовища приміщень, що

базується на індексах – показниках теплового комфорту. Особливого значення при формуванні моделей та методів уявлень про широкий спектр природних явищ досягнення уніфікації як термінології, одиниць вимірів як основних параметрів, так і коефіцієнтів пропорційності у вигляді опорів (зворотна пропорційність), динамізму (коефіцієнтів переносу теплоти) [47, 48]. Перенесення теплоти та рух повітря повинні представлятися порівнянними моделями з подібними показниками. Тільки в цьому випадку можна отримати коректні зіставлення різного роду показників у дослідженнях і сертифікатах якості обладнання та систем житлових комплексів.

Проектування теплотехнічних показників елементів теплоізоляційної оболонки будинку відбувається за ДСТУ 9191:2022 [49]. Розроблено нові методики покращення показників утеплення будинків [50-55]. Можна звернути увагу на використання коефіцієнтів для уточнення розрахунків, що свідчить також про неоднозначність вирішення питань з геометричними параметрами шарів теплоізоляції. Для утеплення будівель потрібно використовувати методи для прогнозування загального теплового відчуття і ступеня дискомфорту (теплова незадоволеність) людей, що піддаються дії помірних термальних середовищ.

1.5. Моделі та методи удосконалення параметрів аеро- і гідросистем

Найчастіше у наукових дослідженнях використовують числені данні каталогів або гідравлічних довідників, що суттєво спростило проектування різного енергетичного обладнання. Для проектування розроблено велику кількість програм, що спрощують та прискорюють прийняття рішень. Для зниження гідро та аероопорів часто використовують вставки, що знижують вплив вихорів. При перенесенні тепла найпоширенішим методом є вставки, що генерують вихори, незважаючи на те, що поява вихорів суттєво збільшує опір. Моделювання – найпоширеніший прийом пошуку нових рішень з метою покращення параметрів роботи різного обладнання та технологій.

Моделі законів тертя мають набір формул для різних режимів течії, які можна умовно поділити на дві основні категорії, які будуть представлені в описі експериментів. Деякі включають графік Нікурадзе [56, 57], де видно 3 області з окремими формулами (рис. 1.6).

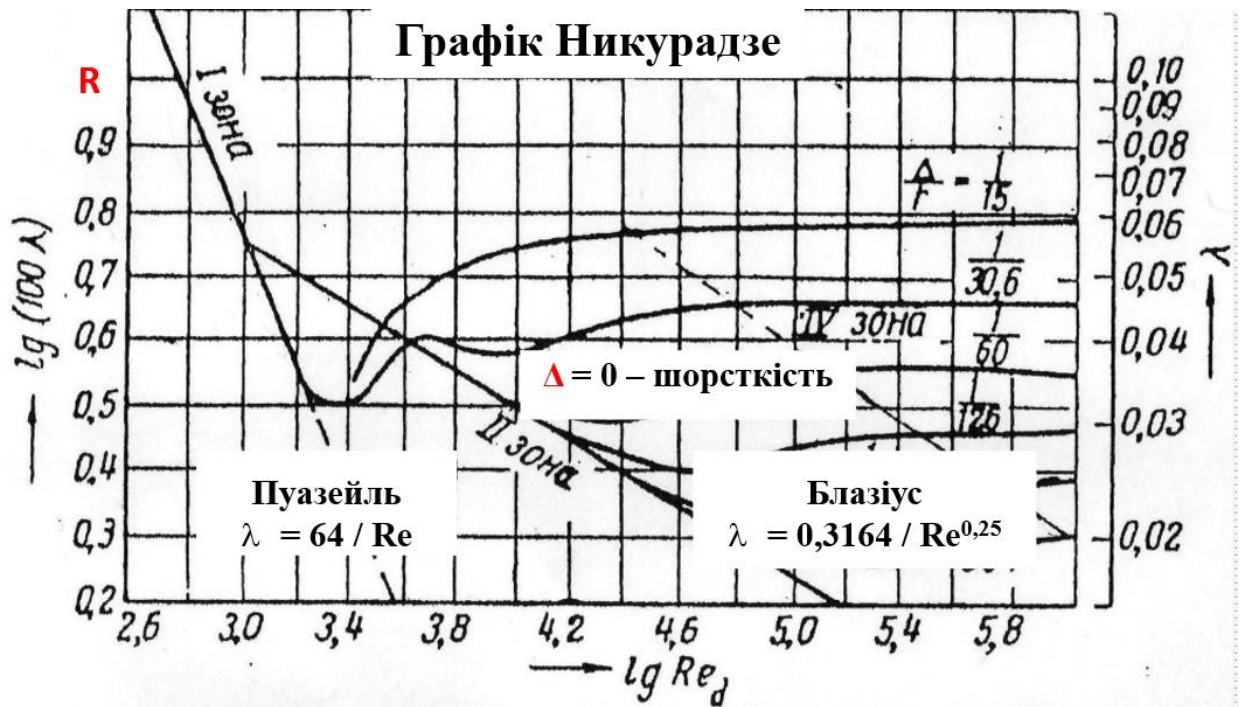


Рис. 1.6. Графік Нікурадзе – модель законів тертя за різних режимів перебігу: зона 1 – ламінарний режим формула Пуазейля; 2 зона – турбулентний режим для гладких труб; формула Блазіуса; 3 зона – турбулентний режим з урахуванням шорсткості, для якого розроблений цілий ряд формул: Альтшуля; Кольбрука тощо

Для аналізу систем з перенесенням тепла часто використовують аналітично обґрунтовані моделі [56], де розроблено загальну кореляцію подібності перенесення для гладких та шорстких труб. Але все ж таки головною моделлю тертя є графік Нікурадзе [57]. Сьогодні цей графік є емпірично обґрунтованою кореляцією теплових процесів та руху газових потоків. Проте з ранніх прогнозів коефіцієнтів тертя для трубок з внутрішньою шорсткістю вперше було встановлено Нікурадзе.

1.5.1. Моделі та методи досліджень з метою поліпшення параметрів енергетичних систем

Моделювання – це дослідження шляхом створення моделі об'єкту (фізичного або математичного прототипу) і оперування нею з метою отримання корисної інформації про реально функціонуючий об'єкт. Іноді термін «моделювання» використовують називають аналізом або верифікацією [59, 60]. Вирішення задач поліпшення енергетичних параметрів частіше здійснюють за рахунок зниження опорів. Для цього з використанням засобів фізичного та чисельного моделювання, при цьому найдієвишим засобом визнають методи наукової візуалізації [61- 63].

Наукова візуалізація (*scientific visualization*) – візуальне уявлення про чисельні данні, які є результатами наукових досліджень або прикладних, інженерних і технологічних розрахунків, на сьогоднішній день є найважливішою галуззю знання і технологічного розвитку. Спочатку роль методів і алгоритмів візуального представлення чисельних даних розглядалася в наукових і інженерних дисциплінах як допоміжна. При цьому виділялися дві функції візуалізації:

- забезпечення контролю та об'єктивної трактування результатів;
- ілюстративна функція.

З плином часу ситуація докорінно змінилася. З ілюстративного і за своїми функціями допоміжного інструменту наукова візуалізація стала повноправним і часто єдиним інструментом, здатним прояснити суть фізичного процесу. Роль наукової візуалізації стала основною. При реалізації основної наукової ролі засобів візуалізації можна виділити фізичний і чисельне моделювання.

Фізичне моделювання у багатьох випадках є основним первинним результатом досліджень. В області гідраеродинаміки фотографія картини «невидимих» потоків рідин або газів є основним або єдиним первинним результатом досліджень на деяких експериментальних установках. Отримані за допомогою методів візуалізації зображення часто є єдиним первинним

результатом експерименту, а науковий результат отримують шляхом якісної і кількісної обробки фотографії. Необхідно відзначити, що задовго до появи комп'ютерів і численних експериментів, сама суть отримання результату в фізичному експерименті була заснована на аналізі поля течії, який відображається в дії експериментального приладу. Фізична візуалізація в експериментах була основним джерелом інформації про явища і процеси до появи математичного моделювання. Озборн Рейнольдс ще у 1885 році розробив стенд для поєднання гідравлічних та візуальних (рис. 1.7) [58].

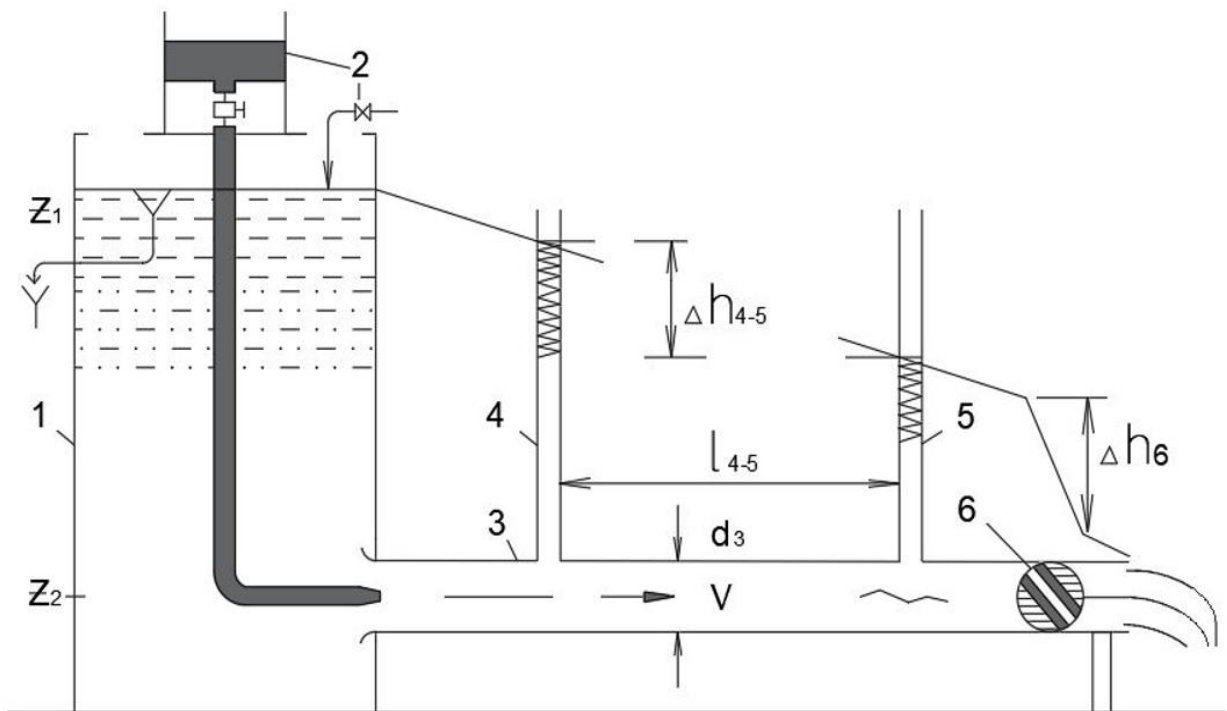


Рис. 1.7. Стенд Рейнольдса – універсальні дослідження аеро- і гідропроесів
 1 – бак рідини; 2 – подача рідини та барвника; 3 – труба; 4, 5 – трубки Прандтля;
 6 – регулятор подачі; z_1, z_2 – рівень рідини; V – швидкість руху рідини; d_3 –
 діаметр; l_{4-5} - довжина; Δh – втрати напору.

Універсальність стенду та експериментів Рейнольдса полягає у спільному використанні візуалізації потоків та виконанні гідравлічних досліджень, які дають численні критерії зміни параметрів процесів або коефіцієнтів пропорційності у вигляді опорів. Візуальні дослідження

дозволили Рейнольдсу однозначно виділити режим течії, коли видно шари, які не перемішуються. Ще більш важливою інформацією є виявлення параметрів потоку, коли організований шаруватий перебіг різко перетворюється на хаотичний рух. Цей стенд дозволили виконати вимірювання основних показників потоків: величини тисків у різних точках P і швидкість потоку V . Гідравлічні дослідження на стенді Рейнольдса дають можливість виконати гідравлічний експеримент для розрахунку значень опорів та розробки математичних моделей залежності опорів від режиму течії (див. рис. 1.7 графік Нікурадзе).

При численному моделюванні (ЧМ) використовуються аналітичні моделі для розрахунку турбулентних течій. А формування рішень можливо на основі візуалізації процесів переміщення робочого тіла. З появою комп'ютерів виникла можливість проводити обчислювальні експерименти, засновані на численному рішенні рівнянь, які використовуються в математичній моделі фізичного явища або процесу, який досліджується. Сучасний етап еволюції обчислювальної механіки рідини і газу забезпечується програмними комплекси обчислювальної гідродинаміки і тепломасообміну, міцності, електродинаміки, такими як *CFX*, *FLUENT*, *FlowVision*, *SolidWorks*, *FOAM*, *OpenFOAM* та ін. [64 - 68]. Він характеризується наступними основними факторами, що визначають подальші перспективи розвитку концепцій, методів, алгоритмів і програмних засобів наукової візуалізації:

- інтенсивне зростання обчислювальних потужностей, поява паралельно обчислювальних систем;
- поява принципово нових апаратних засобів, які дозволяють здійснювати тривимірне стереопредставлення результатів, побудова апаратно-програмних комплексів віртуальної реальності;
- ускладнення задач обчислювальної механіки рідини і газу.

Слід особливо відзначити, що розвиток програмних засобів візуалізації завжди носило наздоганяючий характер. Візуальне уявлення про численні рішення в першу чергу залежало від можливостей обчислювальних ресурсів і

лише в другу - від рівня складності вирішуваних задач математичного моделювання і численних методів, що при цьому використовуються.

Таким чином, порівняльний аналіз можливостей ФМ і ЧМ показує, що:

1. ФМ успішно застосовується при проєктуванні елементів гідромашин, котлів, реакторів, повітряних і газових трактів та іншого енергетичного обладнання. Однак ФМ притаманні ряд недоліків:

- складність досягнення фізичної подібності між моделлю (фізичним прототипом) і реальним елементом;
- практична неможливість відтворення натурних гідрофізичних умов і просторово-часових масштабів в рамках лабораторного обладнання;
- залежність якості прийнятих рішень від кваліфікації експерта-експериментатора;
- значні витрати ресурсів.

2. ЧМ успішно застосовується завдяки розширенню можливостей комп'ютерних технологій, яке спостерігається в останнє десятиліття в інформаційних технологіях при автоматизації проєктування. Однак при їх практичному використанні виникають труднощі:

- так для діагностики складних процесів масопереносу (течії з сильною закруткою, горінням, течії з вільною поверхнею) і при проєктуванні геометрії елемента складної форми тривалість комп'ютерного експерименту збільшується на кілька порядків щодо проєктування простих конструкцій;
- оцінити точність отриманого рішення, якщо немає результатів фізичних експериментів (або вони ненадійні) надзвичайно складно;
- потрібно значний досвід експерта для завдання початкових умов ЧМ і вибору множини параметрів для розрахунків.

Тому для подолання недоліків та розширення можливостей ФМ або ЧМ при розробці методу удосконалення проточної частини елементів гідро- та аеродинамічних систем (ГАС) пропонується комплексне моделювання, що використовує інструментальні засоби ФМ з можливостями інтелектуального аналізу візуальних даних [69, 70]. До методів інтелектуального аналізу

візуальних даних належать методи машинного навчання та штучні нейронні мережі, використання яких дозволяє виділити в великих візуальних даних раніше невідомі, нетривіальні, фактично корисні і доступні для інтерпретації знання, необхідні для прийняття рішень зокрема у такій важливій сфері людської діяльності як енергозбереження [71 - 73].

1.5.2. Візуальні дослідження потоків

Проектування енергетичних систем житлових комплексів сьогодні в більшості випадків виконується з використанням простих моделей: формул, які дозволяють розраховувати середні значення параметрів або розмірів. У більшості проєктів опори беруть з каталогів, або довідників. Але сучасне проектування дає високі витрати енергії, шум, вібрацію та інші недоліки. Таки проблеми пов'язані з причин недосконалості (нерідко навіть примітивності) проточних частин, які виконуються тільки виходячи з простоти технології виготовлення. Головна причина перерахованих проблем пов'язана з тим, що рідини і гази оптично прозорі, тому структура при їх русі недоступна для вивчення. Візуальні дослідження, які спроможні давати інформацію структурної організації потоків можна викорисовувати для виконання різних задач.

У Фейнманівських лекціях з фізики [74, 58] ще у 1970 році сформульовано актуальне питання технічного прогресу: "Існує фізична проблема, загальна багатьом наукам, ... завдання таке: який потрібний тиск, щоб перемістити в трубі задану кількість води? І ніхто, ґрунтуючись на відомих законах, не може точно відповісти на це питання". Незважаючи на те, що минуло півстоліття, висловлена проблема все ще залишається актуальною. Проблема пов'язують із широким діапазоном невизначеності розрахунку основних параметрів стану об'єктів через застарілу систему поглядів, де моделі твердих, рідких і газоподібних матеріалів видаються як однорідні середовища, а розрахунки являють собою середні значення.

Видиму проблему часто пов'язують із високими значеннями опорів та широким діапазоном неоднозначності реальних величин, які приписують явищу пульсацій у потоках. Широкий діапазон невизначеності у розрахунках основних енергетичних показників стану або роботи складних об'єктів чи систем необхідно пов'язувати із застарілою системою поглядів, де тверді, рідкі та газоподібні середовища представляються як однорідні середовища, невизначеність у розрахунках параметрів приховують за процедурою опосередкування.

В дисертаційній роботі для оптимізації параметрів роботи аеросистем використовувався метод візуалізації закономірностей структури потоків МВДСП [62, 63, 75 - 77]. Виявлення структури потоків при проектуванні, або реконструкції проточних частин дозволяє розробляти обладнання з поліпшеними енергетичними та іншими характеристиками.

1.5.3. Використання візуалізації для зменшення опорів

Методику застосування МВДСП [62] можна навести на прикладі розробки оптимальної проточної частини повороту потоку на 90°. Приклад модернізації ілюструються результатами візуалізації структури потоків в характерному перетині повороту. На рисунку 1.8 представлено зображення гідродинамічної структури в повороті потоку «коліно» та «відвід».

Візуальна картина характеризує поле миттєвих значень гідродинамічних параметрів (швидкості або тиску) виходячи з величин оптичної щільності (інтенсивності білого або сірого) в кожній точці потоку. Тобто при розшифровці поля миттєвих значень швидкостей "світлі області" характеризують позитивні градієнти швидкості в даній точці, "темні області" - негативні градієнти швидкості, а отримані зображення дозволяють судити про характер зміни швидкості в кожній точці потоку.

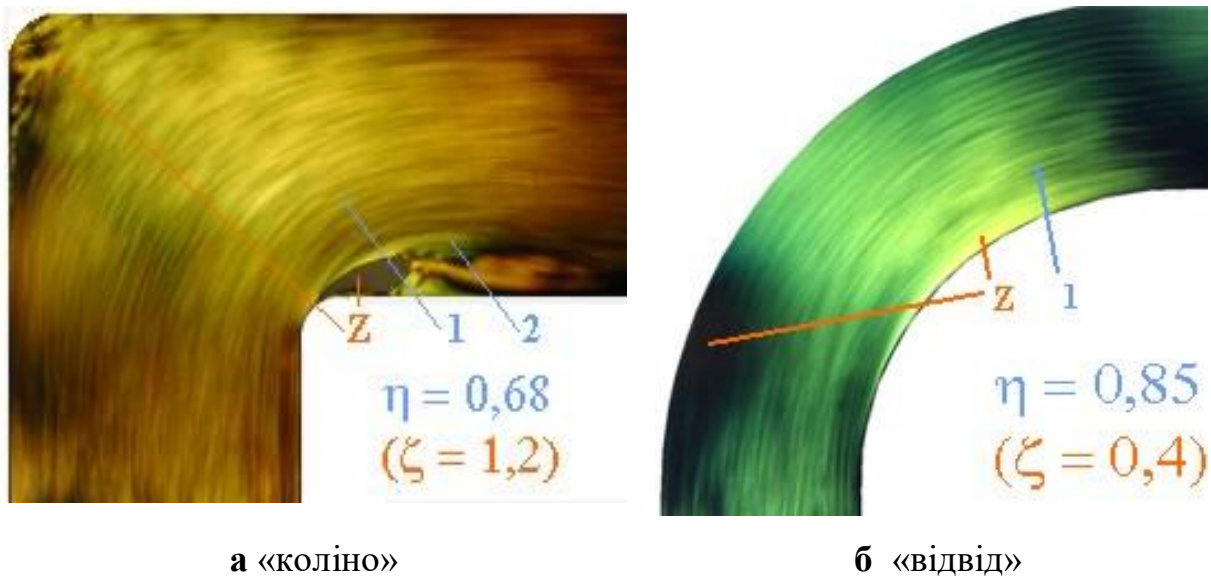


Рис. 1.8. Структура потоків у повороті на 90°

Модернізація вентиля з використанням МВДСП, завдяки врахуванню закономірностей організації структури потоку в його проточній частині, дає можливість знизити його гідравлічний опір до $\zeta = 0,11$. Однак величини опорів можна розглядати як показник ефективності вентиля. Відсутність показника ефективності динамічних процесів у нормалізованому вигляді негативно відбивається на розробці заходів, спрямованих на збільшення продуктивності технологій і поліпшення показників роботи енергетичних систем житлових комплексів.

1.5.4. Використання візуалізації для виявлення структури потоків

Розроблені та часто використовувані моделі теплових процесів; руху рідин та газів; прогнозування властивостей будівельних та ізоляційних матеріалів, металів та інших складних систем у вигляді суцільного середовища дозволили розробити прості методи вивчення різних властивостей на рівні середнього. Головним поясненням таких уявлень є припущення, що ціле можна зрозуміти і у вигляді системної моделі, якщо досліджено властивості та створено моделі частин аналізованої системи. Такі моделі та методи ґрунтовно

вкоренилися як панівна система поглядів. Такі уявлення домінують у більшості технічних систем.

Істотним проривом у вирішенні багатьох проблем проектування зі зменшенням похибки розрахунків та суттєвого покращення показників якості багатьох систем слід вважати нові знання про структуроутворення більшості процесів. Ця ідея не нова. Аристотель (384 – 322 р. е.) стверджував, що ціле чи система включає у собі більше, ніж міститься при простому підсумовуванні властивостей його частин [78]. Навіть якщо намагатися представляти процеси, матеріали, систему як «поле миттєвих значень досліджуваних параметрів», завжди є спокуса повернутися до звичних і добре розроблених моделей і методів осереднення параметрів і тоді неминуче «лікування у госпіталі виконуватиметься за середньою температурою».

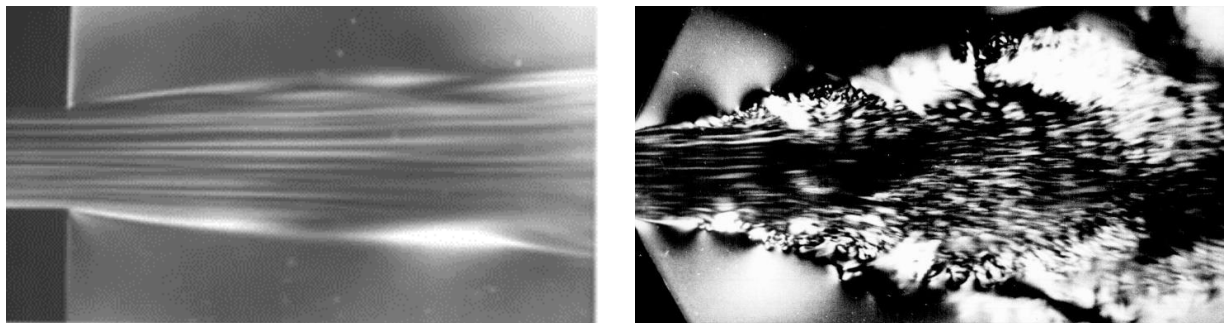
У дисертаційній роботі системний (структурно-функціональний) підхід у вирішенні проблеми неоднозначності та отримання більш достовірних значень енергетичних параметрів є ключовим під час вирішення проблеми суттєвого покращення показників роботи опалювального обладнання житлових комплексів. У поданій методиці обґрунтування цього підходу можна звернутися до відомих робіт Пригожина І.Р., Колмогорова А.М., Вернадського В.І. [79, 58, 80]. Такий же погляд на системність і подібність процесів в різних об'єктах та їхніх станах є притаманним роботам Вирового В.Н та його школи [81 - 83]. Відповідний підхід до єдності процесів самоорганізації та структуроутворення відповідає запропонованим моделям і методам, які представляють частковий тип структуроутворення, що відбувається у потоках рідини і газів і впливає на теплові та аеропроекти. Його головні пропозиції можна сформулювати як цілеспрямований вплив на структурні явища у різних середовищах через керування процесами самоорганізації. Для впровадження цих методів необхідна розробка методологічних, інструментальних, матеріальних і іноді навіть ідеологічних (у межах наукових дискусій) позицій, які можна сформулювати як нову парадигму самоорганізації структур.

Механізми структуроутворення на різних просторових і часових рівнях впливають на формування властивостей об'єктів та систем, що можна дослідити створенням та дослідженням структурно-функціональних моделей конкретного об'єкта. Головна думка Вирового В.Н. – усереднена модель параметрів систем (в тому числі деякі міри хаотичного руху турбулентності потоків) не можуть бути основою точних розрахунків [81, 84]. Найкраща аналогія - це спроба вибору ліків за середньою температурою пацієнтів госпіталю. У природі безліч прикладів самоорганізації. Основні закономірності організації систем, зокрема, конденсованого стану речовин, можуть бути прикладені до вдосконалення процесів, що використовуються в організації енергозабезпечення житлових будівель та споруд.

1.5.5. Візуалізація – спосіб виявлення самоорганізації структур

Досвід візуального виявлення чи діагностики структури потоків показав можливість розв'язання складних завдань, що стосуються інженерно-технічного боку механіки рідин та газів – зниження шуму, вібрації, зменшення витрат енергії на транспорт і цілеспрямованим контролюванням турбулентним рухом. На рис 1.9 показані візуальні картини структурі рідини у затопленому просторі.

Використання закономірностей розподілу структури потоків дозволило виявити вплив самоорганізації рідини на величини опорів.



а

б

Рис. 1.9. Структура потоків рідини у затопленому просторі:

а) ламінарний режим течії; б) турбулентний режим течії

На рис. 1.10 і 1.11 для порівняння показані приклади подібності самоорганізації структур у рідині та твердому середовищі. Чи можна знайти природну універсальність структур у каменів та рідинах?

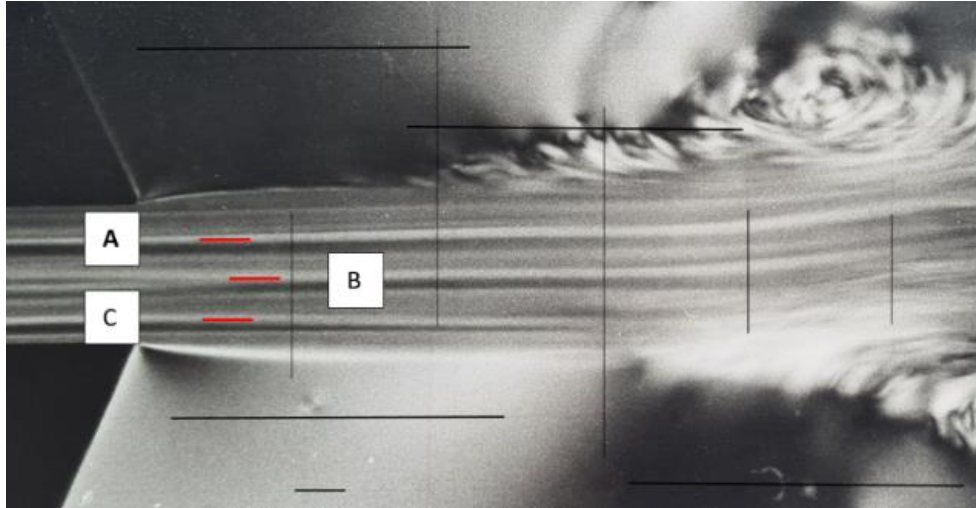


Рис. 1.10. Результати дослідження структури потоків рідини

Процеси руйнування гірських порід в природному середовищі частіше за все відбуваються за рахунок руйнування шарів через структурну організацію процесів на межі розділу газової та твердої фази. Це споріднює явища, що спостерігаються в гідродинамічних дослідженнях, зі структуроутворенням в природних системах, при цьому відповідні структурні особливості мають подібні геометричні характеристики в поперечному перерізі.

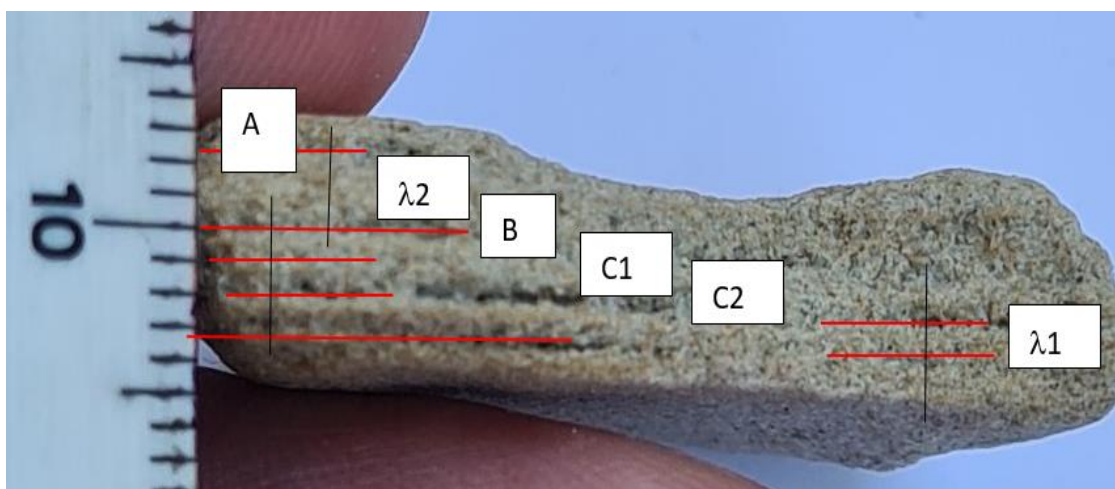


Рис. 1.11. Результати дослідження структури шарів каменю

Виготовлення кам'яних тротуарних плит або черепиці з використанням шарів кам'яних структур говорить про стабільні розміри шарової структури та особливі властивості міцності, такі покриття називають «вічна черепиця». На рис 1.12 показана черепиця на даху дома (США. Нью Йорк). Така черепиця або вічне тротуарне покриття раніше виготовлялись відділенням шарів каменю.



Рис.1.12. «Вічна» черепиця

Вивчення процесів структуроутворення в різних системах вимагає застосування нових методів дослідження і моделювання, що базуються на однаковому теоретико-системному підґрунті цих явищ. Це зокрема стосується процесів структуроутворення при русі рідини або газів. Одним із перспективних підходів є застосування автоматизованих програм розпізнавання закономірностей організації структури різних середовищ (твердих, рідких, газоподібних) для оптимізації динамічних процесів у них.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Відомі методи представлення та розрахунків параметрів роботи енергетичного обладнання вже досить добре сформовані. Але у різних

напрямах досліджень мають суттєві розбіжності, які призводять до неоднозначних результатів розрахунків на основі чисельного осереднення параметрів

1. Теплові коефіцієнти перенесення теплоти є коефіцієнтами прямої залежності основних параметрів теплообміну. Для аналізу процесів руху газів найчастіше використовують величини опорів, які є коефіцієнтами зворотної залежності динамічних складових енергії від вихідних потенціалів (тиску).

2. Моделі вимагають узгодження показників пропорційності (бажано опорів) як коефіцієнтів зворотної залежності динамічних параметрів (кількості тепла або швидкості потоку) від перепаду температур або величин тисків.

3. Діапазон оптимальних параметрів аеросистем проєктують виходячи з максимального значення ККД нагнітачів. Використання вставок – турбулізаторів для інтенсифікації переносу тепла на межі «газ – металева стінка» дає збільшення переносу теплоти до 6 разів, але збільшує опори у аеросистемі більш ніж у 10 разів, а іноді вказуються значення збільшення до 100 разів і більше, що потребує заміни нагнітачів на більш потужні. Такі неоднозначні результати аналізу відомих досліджень є перешкодою до підвищення потужності та ефективності котлів. Тому розв'язання цього протиріччя є актуальною науково-технічною задачею поліпшення енергетичних показників теплопостачання житлових комплексів.

4. Для підвищення продуктивності та ефективності котлів розроблена нова концепція зменшення опорів як в аеросистемі, так і зменшення опорів при переносі тепла за рахунок оптимізації або коригування геометрії проточних частин окремих елементів котла відповідно до результатів візуальної діагностики структури потоків. Нова концепція розрахунку динамічних процесів переміщення газів або тепла у котлі потребує аналізу і перегляду показників якості як основного, так і допоміжного обладнання.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛІ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Різне обладнання потребує коретного співставлення показників переносу теплоти а також руху рідини або газів, тому проаналізуємо відомі методи розрахунку параметрів різного роду енергетичних систем Головною метою роботи є вирішення проблеми обмежень потужності котельних установок. Масовий характер обмежень потужності динамічних систем як в Україні [95], США [96] та інших державах свідчать про неточності в моделях представлення параметрів і відповідно помилки в методах розрахунку енергетичних показників.

Зміна питомої потужності котлів у межах певних конструктивних розмірів може виконуватися за допомогою вдосконалення геометрії проточних частин, що впливає на термо- і аеропараметри. Тому головним завданням досліджень є забезпечення сумісності змін термо- та аероопорів (при зміні геометрії проточних частин) для формування позитивних змін балансу енергетичних процесів у котлах.

Для аналізу процесів котлів доцільно вирішити задачу розробки порівняних термо- та аеромоделей, які зможуть описувати динаміку процесів різного енергетичного призначення. Пріоритетом виконання поставлених завдань має бути пошук наочної та логічної подібності математичного та графічного зображень динаміки різних видів енергії.

Для підвищення потужності газотрубних котлів сформульована ідея удосконалення динамічних процесів теплових процесів простих котлів, а також збереження мінімальних значень руху рідини та газів. У роботі виконано дослідження, спрямовані на збільшення динамічних процесів в аеросистемі, а також динаміки або переносу тепла від димових газів до металевій стінки. Тому динамічні процеси – D необхідно відокремити від поняття потенціал – P , які є у двох видах: 1- динамічна складова енергії гідро- чи аеросистеми (ГАС); а також 2 – кількість перенесення тепла у теплових процесах (ТП).

2.1. Модель розрахунку потужності та ефективності котлів

Для можливості наочного аналізу результатів розв'язання задач покращення теплообміну з одночасною помірною зміною аероопорів у газотрубному просторі котлів розроблено дві моделі енергетичних процесів: 1 – модель перенесення тепла через металеву стінку; 2 – модель руху газів. На рис. 2.1 представлена схема котла *Колві*, де позначені етапи динамічних процесів різної природи (термо- та аеропроееси).

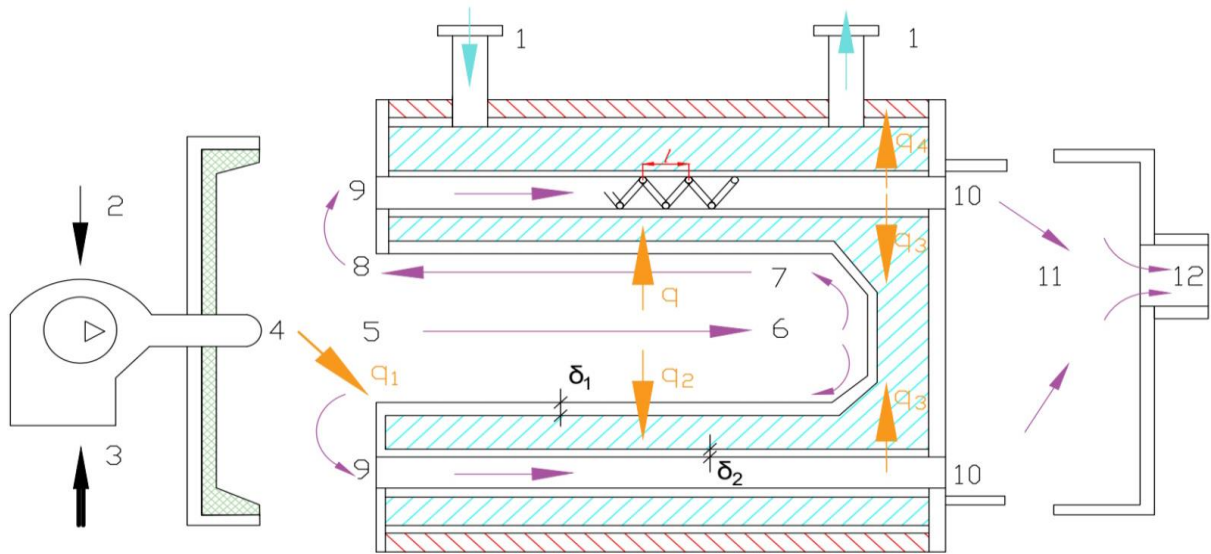


Рис. 2.1. Схема газотрубного котла та динаміки аеро- та термопроцесів.

Вхід і вихід води в котлі позначені цифрою 1, оскільки необхідно обґрунтування напряму руху води в корпусі. Подача газу 2 і повітря 3 формують зону горіння 4. Об'єктом досліджень є тракт 5 – 11 руху продуктів горіння в котлі від жарової труби до виходу 12 до димової труби.

Для підвищення теплової потужності планується виконати дві зміни:

1 – змінити геометрію проточної частини повороту потоку на 180° , що дозволить зменшити опір повороту та, крім того, забезпечить зміну геометрії водяного простору котла в теплонпруженій зоні 4 (горіння – газ) та 9 (зона малих швидкостей руху води);

2 – інтенсифікувати теплообмін – збільшити коефіцієнт тепловіддачі у трубі, де виконується рух димових газів.

В якості приклада розглянуті два процеси:

1 – теплообмін області точки 10 від димових газів із температурою 200°C через стінку труби до води температурою 50°C ;

2 – рух димових газів від ділянки 7 – 8 (тертя газів об стінку жарової труби), поворот потоку на 180°C точки 8 – 9 та ділянка 9 – 10 у трубі, де необхідно вирішити проблему покращення теплообміну на межі «газ – метал».

Аналіз численних досліджень на тему інтенсифікації теплообміну в газотрубних котлах показав, що у трубах з димовими газами часто встановлюють вставки зміни динаміки потоків, що збільшує коефіцієнт тепловіддачі межі «газ – стінка». Однак це призводить до непропорційного збільшення коефіцієнта тертя. На рис.2.2 показаний розріз котла *Колві*, де основним проблемним елементом можна вважати труби зі спіральними вставками для покращення теплообміну на межі «газ – металева стінка». Вже є достатній досвід зниження опорів в елементах аеросистем із використанням візуальної діагностики структури потоків [7, 8]. Зниження аероопорів допоможе вирішити поставлене завдання вдосконалення турбулізаторів котлів, які представлені на рис. 2.2.



а

б

Рис. 2.2. Спіральні вставки для покращення теплообміну в котлах:

а – розріз термочастини котла *Колві*;

б – вставка-спіраль для інтенсифікації теплообміну.

Важливим чинником, який може прискорити впровадження пропозицій, можна вважати розробку наочних графічних моделей та методів представлення енергетичних процесів та технологій, які наочно представляють позитивний вплив зниження термо і аероопорів на енергетичні показники котлів. Графічні моделі повинні відображати суть енергетичних явищ різної природи та показувати логіку та сумісність математичних та графічних уявлень процесів.

2.1.1. Представлення енергетичних процесів на основі основних параметрів та коефіцієнтів пропорційності між ними

В сучасних уявленнях про енергії різної природи завжди можна виділити дві компоненти: потенціал Π та динаміку D . Потенціалами Π у гідро- та аеросистемах є тиск P ; для змін теплоти – температура T ; для електрики напруга – U [87 - 88]. В рамках закону збереження енергії показник потужності N розраховується як добуток потенціалу та динаміки $N = P \cdot D$. Графічне представлення наведено на рис. 2.3.

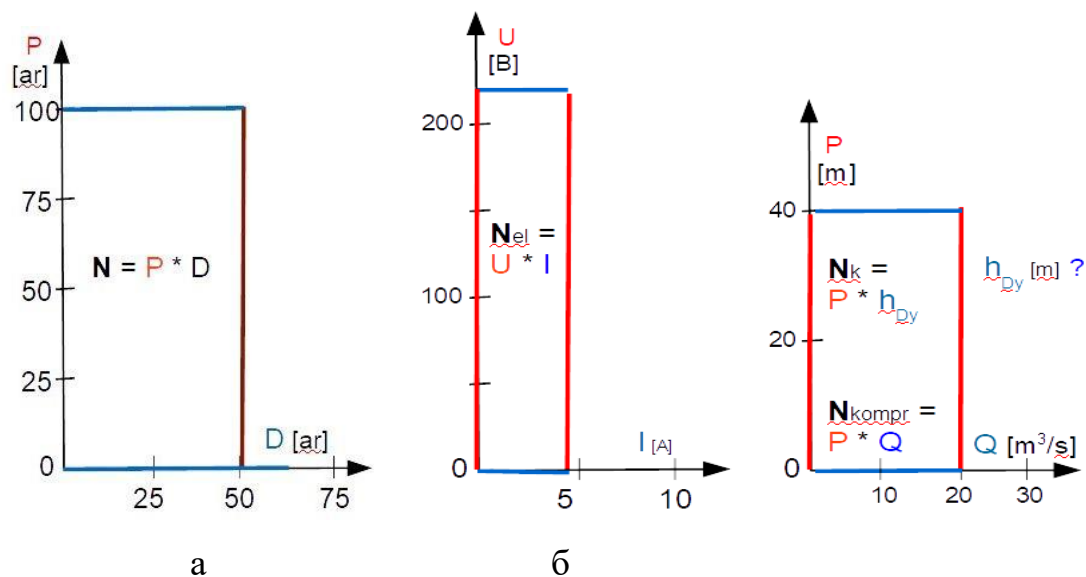


Рис. 2.3. Модель розрахунку та зіставлення потужності – енергії різної природи:

а – модель розрахунку потужності як добуток потенціалу та динаміки;

б – аналіз трансформація енергії у насосі з використанням показників потужності електрики N_{el} і аеропотужності N_{komp}

Саме потенціали є першопричиною формування руху тепла, потоків, електрики. Динамікою D (грецька робота, рух) або динамічною складовою енергії сьогодні є: кількість руху у вигляді подачі Q [м³/с] або маси, що переміщується, M [кг/с]; для термічних змін повинна представлятися на основі кількості речовини з урахуванням теплоємності c ; для електрики – сила струму – I [Ампер] [А]. В рамках закону збереження енергії показник потужності N розраховується як добуток потенціалу та динаміки $N = P \cdot D$ (рис. 2.3,а).

Уніфікація одиниць вимірювання потужності (Ватт або W) дає можливість розробити коефіцієнт ефективності як відношення початкової N_1 і кінцевої N_2 величин потужності різних видів енергії (рис. 2.2 б). Коефіцієнт ефективності $\eta = N_2 / N_1$ забезпечує наочність розв'язання задачі підвищення якості роботи енергетичних технологій, тому ефективності котлів, турбін, насосів мають значення $\eta > 0,85$.

На перший погляд таке високе знячення ефективності знижує мотивацію проведення досліджень з метою покращення роботи енергетичних систем та обладнання. Але досвід робіт по зниженню опорів показує достатньо хороші перспективи поліпшення показників. Тому доцільно розробити моделі, які дають можливість моделювати зміну параметрів роботи енергетичних систем при коректировці геометрії каналів з метою зменшення опорів руху, а також пошуку варіантів зменшення теплових опорів переносу теплоти.

Для аналізу особливостей руху рідини або газів можна використовувати рівняння Бернуллі для ідеальної рідини, який представляє суму з трьох складових питомої енергії потоку у вигляді показника «повний напір» – H за формулою (2.1):

$$H = e = z_1 + P_1/\rho g + V_1^2/2g = z_2 + P_2/\rho g + V_2^2/2g = const. \quad (2.1)$$

Формула (2.1) є базовою для дослідження процесів руху рідини або газів як у потоці в цілому, так і при представленні окремих систем. Рівняння Бернуллі показує, що зменшення тиску компенсується пропорційним

збільшенням динамічної складової енергії потоку. Такі висновки роблять доцільним розробку моделей енергетичних параметрів та коефіцієнтів пропорційності з метою аналізу зміни витрат енергії в межах одного виду енергії. На рис. 2.4 наведено основні складові питомої енергії потоку, а також процеси переформуванні цих складових при зміні поперечного перетину потоку.

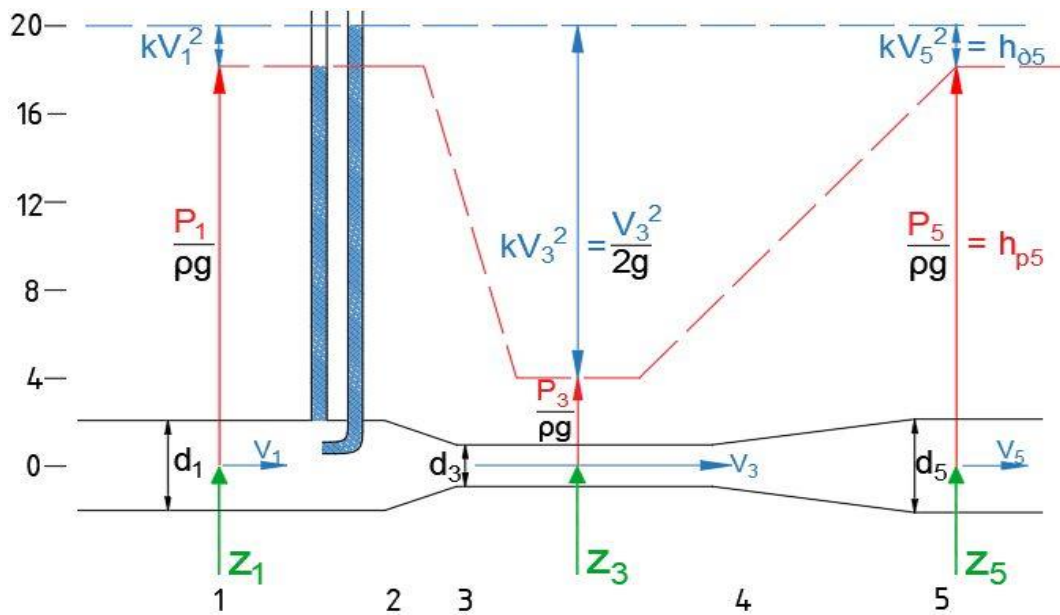


Рис 2.4. Модель представлення параметрів руху рідини згідно рівняння Бернуллі

Аналіз складових рівняння Бернуллі для ідеальної рідини [91] та розподілу ступеня освітленості у вигляді смуг та іншого роду структур візуальної картини струменя на рис 1.9 і рис. 1.10 показує, що на візуальних картинах світлі полоси або області потрібно асоціювати зі збільшенням динамічної складової. Темні полоси або області відповідають енергії, де превалюють складові тиску. До теперішнього часу вважається що всі компоненти рівняння Бернуллі мають рівноцінну вагу. Але виконані дослідження довели, що можна розробити засоби зміни параметрів руху та перенесення теплоти за рахунок використання розташування світлих або темних смуг потоку для зміни величин як гідравлічно, так і термічних опорів. При цьому згідно рівняння 2.1 зменшувалась компонента тиску, яка впливає

на кількість витрат енергії на процес руху. Таким чином, доцільно розробити моделі представлення основних параметрів процесів з можливістю моделювання змін коефіцієнтів пропорційності (опорів) для аналізу зміни витрат енергій у зазначених процесах. Для виконання такого аналізу на рис. 2.4 показані зміни основних параметрів руху ідеальної рідини при зміні геометрії каналів.

Багато проблем енергетичних технологій можна пов'язати з впливом на якість енергетичних процесів коефіцієнтів опору, що залишаються не виправдано великими. У ряді випадків виконання робіт з метою зниження опорів призводить до парадоксального зниження ефективності головного елемента системи (вентилятори, компресори...) за межі допустимих значень, призначених у правилах проектування [85, 86]. Ефективність котлів, як основного обладнання систем тепlopостачання має значення $\eta > 0,85$ і більше. У розрахунках системного показника потужність і ККД або ефективності коефіцієнти опорів відсутні. Для відображення впливу опорів на енергетичні процеси доцільно виконати аналіз поняття динаміки D , яка прямо пропорційна сумі сил чи потенціалів Π та обернено пропорційна величинам опорів R (2.2):

$$D = \Pi / (R + 1). \quad (2.2)$$

2.1.2. Розрахунково - графічна модель представлення параметрів аеросистем

Для наявності вивчення процесів руху рідини або газів запропонована нова методика оптимізації АС, яка передбачає вдосконалення проточних частин в першу чергу технологічного обладнання та його окремих елементів або зниження втрат тиску в мережі $\Sigma \Delta P_{\text{сеть}}$. Нова методика передбачає спочатку розрахунок і оптимізацію енергетичних характеристик всіх елементів динамічної системи з можливістю оптимізації всієї системи в цілому, а не тільки головного елемента - нагнітача. Розрахунок і різні варіанти оптимізації параметрів необхідно оформляти адекватним графічним

представленням параметрів АС, які повинні однозначно відповідати показаннями вимірювальних приладів.

У існуючих моделях, гіпотезах, законах (на відміну від закону збереження енергії, де потенціал Π і динаміка \mathcal{D} перемножуються) опір R показує обернено пропорційну залежність двох основних компонент. Для електрики це закон Ома: $I = U / R_{el}$; для теплових процесів – гіпотеза Фур'є та закон Ньютона $q = \Delta T / R_t$. Для представлення динаміки в гідро- та аеросистемах використовують формулу Торрічеллі (2.3):

$$V = \frac{\sqrt{2k\Delta P}}{\sqrt{R+1}}. \quad (2.3)$$

На відміну від законів Ньютона та Ома у формулі Торрічеллі є нелінійна залежність між величиною швидкості та компонентом потенціалу. Однак, якщо формулу Торрічеллі виразити через складові рівняння Бернуллі, можна буде виділити динамічний компонент питомої енергії $h_{dy} = kV^2/2$. Динамічна складова енергії h_{dy} лінійно співвідноситься з потенціалом. Ще одна особливість формули розрахунку динамічної складової гідро- та аеросистем – опір використовується з різними коефіцієнтами, близькими до одиниці (2.4):

$$h_{dy} = \Delta P / (R + 1). \quad (2.4)$$

Використання коефіцієнта гідроопорів разом з одиницею $(R + 1)$ можна пояснити тим, що при зниженні опору до нуля показник динаміки не буде прагнути нескінченності, як це відбувається в електриці, де при малих опорах можливе явище короткого замикання. Але потрібне пояснення, чому немає одиниці у законі Ньютона.

Коефіцієнти опорів як термічні, так і в аеросистемі, відіграють важливу роль при розрахунках та виконанні аналізу динаміки процесів в обладнанні [87 - 89]. Для поліпшення наочності моделювання як теплових, так і аеропроектів доцільно розділити поняття коефіцієнт опорів і коефіцієнт динамічності. Коефіцієнти тепловіддачі α [W/m²K] наочно показують кількість тепла на одиницю простору та на одиницю вимірювання потенціалу (температури). Їх можна назвати провідністю чи динамізмом перенесення теплоти. Однак для

розрахунку питомого потоку теплоти q [W/m²] використовують коефіцієнти опорів усіх елементів $R_i = l / \alpha_i$. Тільки після розрахунку теплового потоку можна розрахувати значення температур у проміжних точках процесу з використанням коефіцієнтів тепловіддачі α або коефіцієнтів теплопровідності λ . Тобто коефіцієнти тепловіддачі не можна співставляти з коефіцієнтами опору руху газів, як це зроблено у таблиці 1.1 в якості сумісного аналізу теплових процесів та процесів руху [90]. На рис. 2.5 показано два варіанти моделі теплових процесів на основі закону Ньютона: 1 модель – з використанням коефіцієнтів тепловіддачі α ; 2 модель – з використанням коефіцієнтів опорів $R = l / \alpha$.

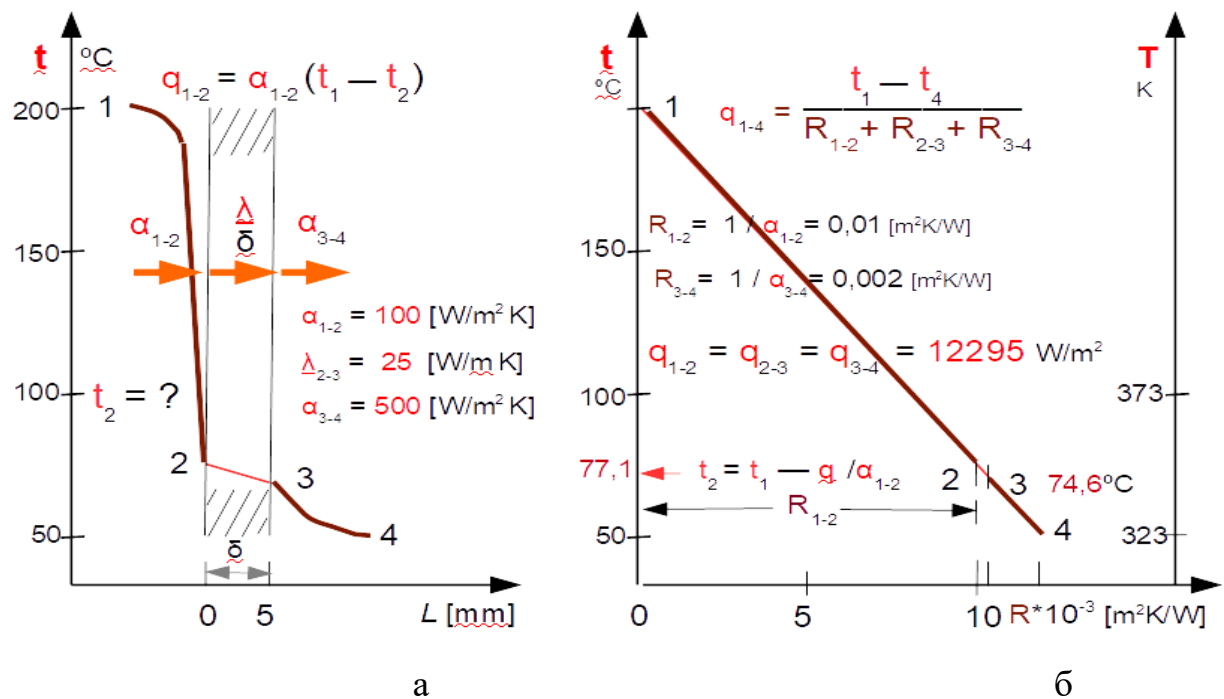


Рис.2.5 – Модель перенесення руху тепла через стінку при $\alpha_{1-2} = 100$ Вт/м²К:

а – модель динаміки з коефіцієнтами провідності тепла;

б – модель динаміки з коефіцієнтами опорів під час руху тепла

Тобто, використовуючи коефіцієнти тепловіддачі α_{1-2} та α_{3-4} теплопровідності λ_{2-3} під час руху тепла через стінку, немає можливості розрахувати кількість тепла та розподіл температур у різних точках переміщення теплової енергії (рис. 2.4 а). Модель Ньютона до розрахунку потоку теплоти передбачає використання суми теплових опорів при переносі

теплоти $R_{\Sigma} = R_{1-2} + R_{2-3} + R_{3-4}$. Представлена графічна модель теплових процесів, що складається з двох графіків, може використовуватися як комплекс графічного методу визначення значень потоку теплоти та розподілу температур у різних точках процесу. Модель теплових процесів може використовуватись для моделювання зміни параметрів (ув'язування параметрів теплової системи). У разі використання турбулізатора – спіралі для інтенсифікації теплообміну – коефіцієнт тепловіддачі з боку димових газів може бути збільшений до $\alpha_{1-2} = 200 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ і більше. Модель динаміки тепла дозволяє виявити перерозподіл температур у різних точках теплового процесу без додаткових розрахунків. При зниженні термоопору від $R_{1-2} = 10^{-2} \text{ м}^2\text{К/Вт}$ до величини $R_{1-2} = 5 \cdot 10^{-3}$ динаміка тепла збільшиться від $q = 12295 \text{ Вт/м}^2$ до $q = 20833 \text{ Вт/м}^2$ (рис. 2.6).

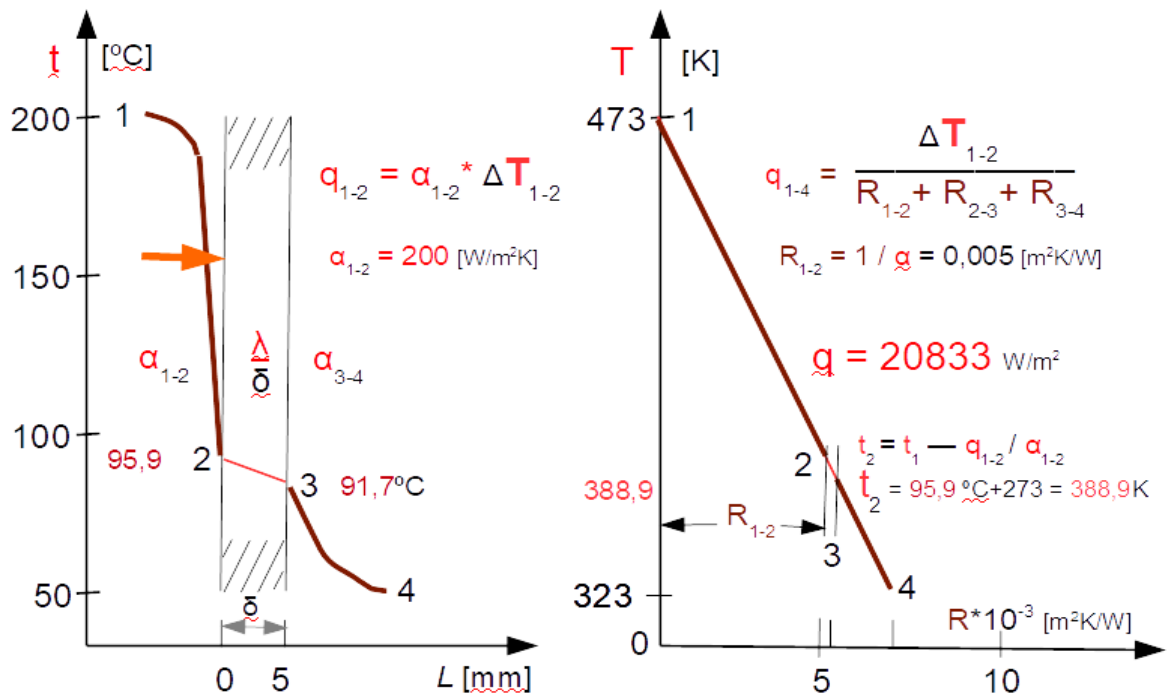


Рис. 2.6. Модель динаміки перенесення тепла через стінку

Для можливості спільного аналізу змін динаміки теплих та аеропроектів розроблена модель динаміки аеропроектів, подібна до моделі динаміки теплових процесів (подібна до двох різних видів прояву енергії). Як модель гідро- та аеропроектів використаний метод професора Ботука Б.О. [91], де на

основі законів руху води (рівняння Бернуллі та формули Торрічеллі) сформульовано метод розрахунку динаміки потоків з урахуванням опорів та розрахунку втрат тиску (графічна ув'язка параметрів гідросистеми). У моделі аеросистеми досліджено процес руху димових газів у котлі: тертя газів об стінку жарової труби між струмами 7 – 8, поворот потоку на 180° між струмами 8 – 9 та рух газів у трубі на ділянці 9 – 10, де сумарний термоопір $R = 9$ (рис. 2.7).

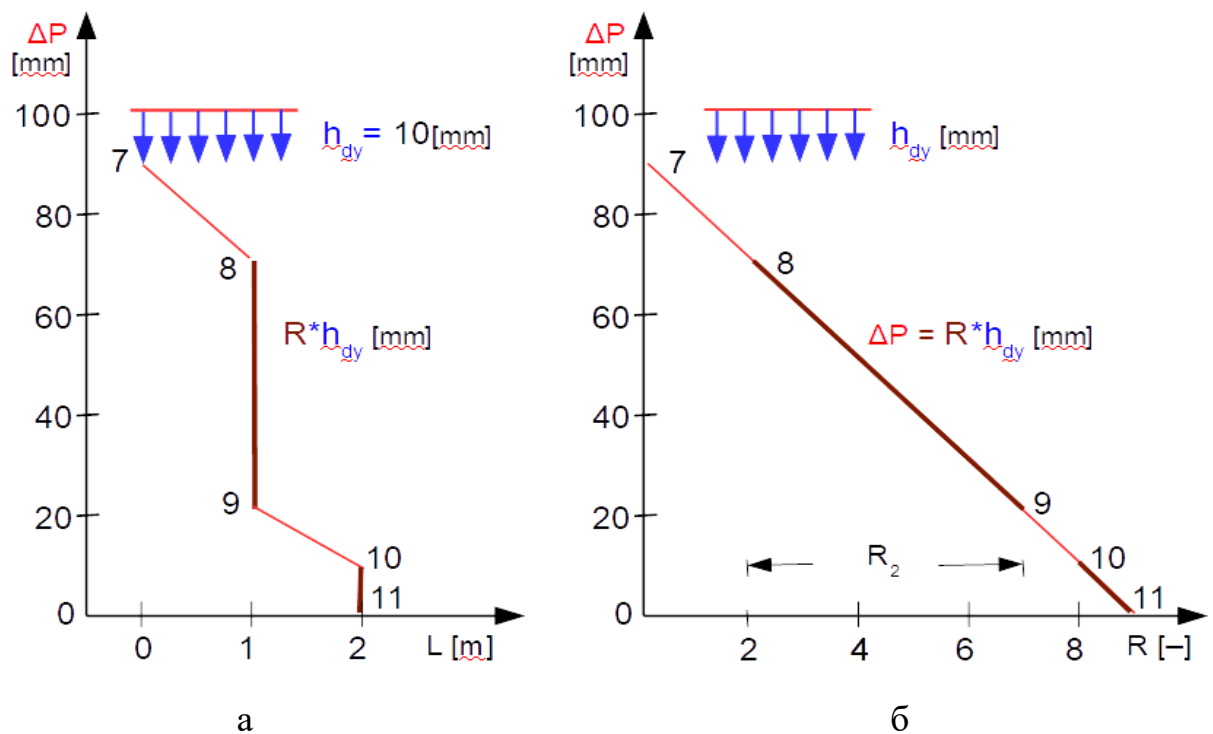


Рис. 2.7. Модель динамічних процесів в аеросистеми при $\Sigma R = 9$:

а – модель втрат тиску (місцевих та за довжиною);

б – модель динаміки з коефіцієнтами опорів

Аналіз представленої моделі дає змогу визначити те, що кожна одиниця коефіцієнта опору показує кратність втрати динамічної складової енергії. При сумарному опорі $\Sigma R = 9$ динамічна складова енергії становить лише 10% від вихідного потенціалу $P = 100$ [мм]. Використання вставки-турбулізатора для інтенсифікації тепловіддачі може призвести до збільшення аероопорів. Для збереження балансу в аеросистемі можна використовувати метод

удосконалення геометрії повороту потоку, який може зменшити опір у повороті потоку на 180° (т. 8 – 9) від $R_{2.1} = 5$ до $R_{2.2} = 2$ і менше. Таке зниження опору компенсує збільшення сумарного опору аеросистеми через вставку. Модель динамічних процесів дає можливість виконати моделювання та наочний аналіз зміни термо- та аеропараметрів системи (рис. 2.8).

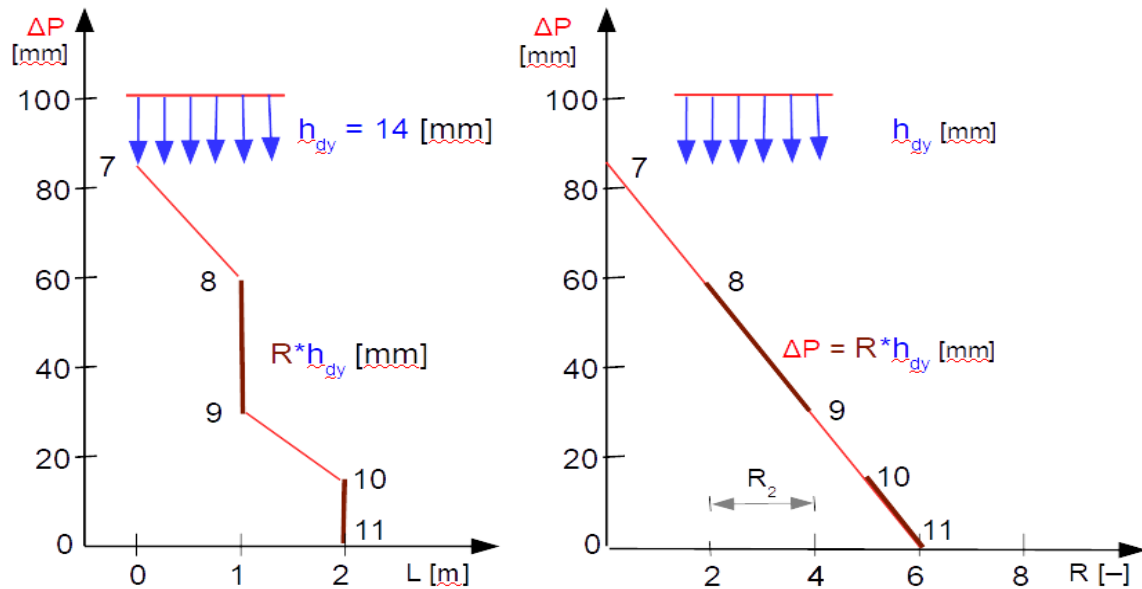


Рис. 2.8. Модель динамічних процесів в аеросистемі при $\Sigma R = 6$

При зниженні опору повороту 180° від $R_{2.1} = 5$ до величини $R_{2.2} = 2$ динамічна складова збільшиться на 40% і становитиме 14% від величини повного тиску $P = 100\text{мм}$. Така зміна динаміки системи дозволить використовувати вставки в газовій трубі для інтенсифікації теплообміну без змін балансів теплової, аеро- та електричної енергії під час роботи котла. Використання запропонованих моделей динаміки може дозволити моделювати та аналізувати заходи з метою збільшення потужності котла із забезпеченням покращення комплексу енергетичних параметрів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Пошук варіантів підвищення теплової потужності котлів може бути забезпечено зміною геометрії проточних частин, що має позитивно впливати на динаміку як термо-, так і аеропроцесів. Збільшення потужності

котлів виражають формули розрахунку у межах закону збереження енергії. При цьому досягти результату збільшення потужності легше зменшенням опорів.

2. Опір є коефіцієнтами пропорційності між двома компонентами енергії: потенціал P та динаміка D . Потенціалом можна вважати суму сил, а динаміка може представляти результуючу кількість руху. Тому, основою подальшої розробки моделей динаміки термо- та аеропроектів можуть бути базові положення закону імпульсів.

3. Для представлення та аналізу процесів в окремих елементах котлів розроблено дві графічні моделі термо- та аеропроектів, які спільно становлять енергетичні та динамічні зміни параметрів. Подібність графічних термо- та аеропроектів дозволить прогнозувати та наочно аналізувати варіанти технічних рішень збільшення теплової потужності котлів за рахунок інтенсифікації теплообміну при збереженні прийняттого рівня витрат енергії на роботу вентиляторів.

РОЗДІЛ 3

МЕТОД УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТА СІНТЕЗУ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ РУХУ У ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЯХ

В третьому розділі виконаємо декілька змін у методі візуальної діагностики структури потокоів (Метод ВДСП) з метою автоматизації процесу прийняття рішення щодо удосконалення проточних частин окремих елементів обладнання. Тому фізичне моделювання (1 етап) доповнимо комп'ютерною обробкою отриманих зображень моделювання (2 етап). При цьому автоматично здійснюється виділення окремих ділянок візуального зображення потоку зі спеціальними властивостями, які можна назвати «окремі вікна примітиви». На 3 етапі у просторі окремих примітивів виконується виділення «границі руху», а також виділення ознак структурної самоорганізації тіла потоку з виділенням та аналізом властивостей і розмірів структури потоку. Це дозволяє здійснювати процес синтезу виділених примітивів у системне представлення усього візуального зображення як синтезу оптимально структурованих ділянок – примітивів у геометрію проточної частини з границею та розмірами внутрішньої структури.

Таким чином, авторській метод візуальної діагностики потоків доповнюється машинною обробкою та автоматичною розробкою геометрії проточних частин АР ГПЧ. Це дозволяє забезпечувати рух рідини або газів без отривів від стінок проточних частин, з позитивним розподіленням внутрішньої структури потоку. Подальші гідравлічні експерименти показують суттєве зниження опорів елементів проточних частин енергетичного обладнання.

3.1. Загальна схема створення проєктного рішення за методом удосконалення фізичної моделі проточної частини

Загальна схема створення проєктного рішення за методом удосконалення фізичної моделі (МУФМ) енергоефективної проточної частини i -го допоміжного елемента $GFPEminor_i$ на основі існуючої проточної частини i -го допоміжного елемента $FPEminor_i$ показано на рисунку 3.1 [92 - 94].

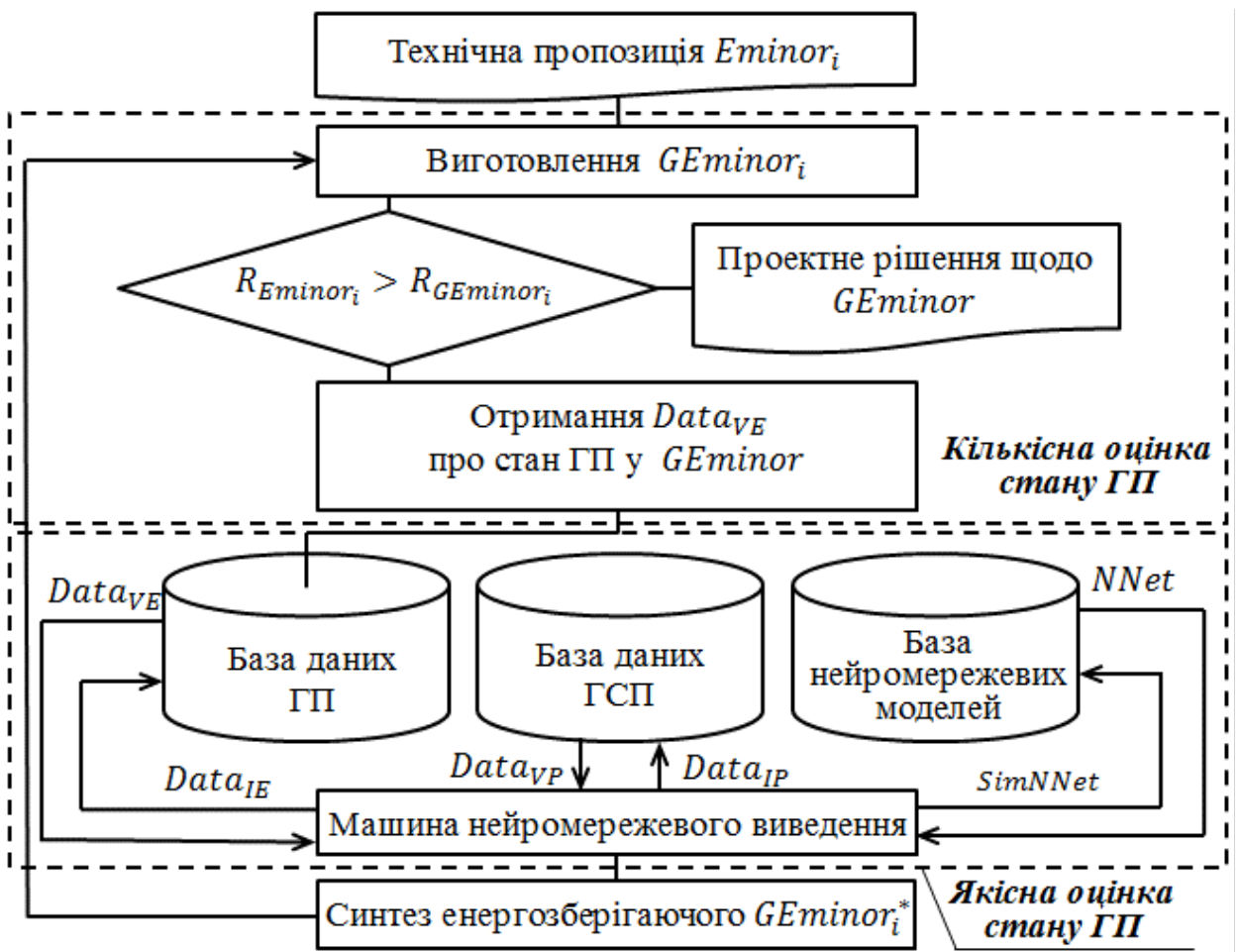


Рис. 3.1. Загальна схема створення проєктного рішення за МУФМ енергоефективної проточної частини i -го допоміжного елемента

Загальну схему за МУФМ енергоефективної проточної частини представлено у вигляді трьох етапів – отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП та створення обґрунтованого енергоефективного проєктного рішення з їх врахуванням.

Етап 1. Кількісна оцінка стану ГП в проточній частині допоміжного елемента аеросистеми, який удосконалюється.

Для отримання кількісної оцінки стану ГП в $FPEminor_i$ та на основі його фізичної моделі з бази моделей з урахуванням коефіцієнта масштабування $scale$ виготовляється фізично подібний прототип $FPEminor_i \cong GFPEminor_i$. На експериментальному стенді в умовах подібності за числом Рейнольдса $10^4 \leq Re \leq 10^6$ турбулентних ГП проводиться симуляція функціонування прототипу $GFPEminor_i$ як допоміжного елемента аеросистеми (aerosystem). Для заданих витрат робочого тіла Q_{GAS}^* вимірюються втрати тиску P_{GAS} і обчислюється значення гідраеродинамічного опору $R_{GFPEminor_i} = P_{GAS} / Q_{GAS}^2$, яке потім порівнюється з нормативним опором $R_{FPEminor_i}$ аналізованого допоміжного елемента $FPEminor_i$. Для визначення причин високих нормативних значень опорів $R_{FPEminor_i}$ за допомогою методу візуалізації дискретних структур потоку, що належить до класу поляризаційно-оптичних методів візуалізації прозорих робочих тіл, отримують штучні поверхні розподілу інтенсивності (кольоровості) світла, які однозначно характеризують поле градієнтів швидкостей (тисків) ГП у прототипі $GFPEminor_i$ аналізованого допоміжного елемента $FPEminor_i$. Штучні поверхні фотореєструються, утворюючи множину значень інтенсивностей точок зображення – візуальні дані ГП ($Data_{VE}$) Отримані таким чином візуальні дані ГП разом з їх параметрами фотореєстрації записуються в базу даних ГП в аналізованих допоміжних елементах $FPEminor_i$.

Етап 2. Якісна оцінка стану ГП в проточній системі допоміжного елемента аеросистеми, який удосконалюється.

Для отримання якісної оцінки стану ГП у вигляді інтелектуальних даних $Data_{IE}$ у фізичному прототипі $GFPEminor_i$ аналізованого допоміжного елемента $FPEminor_i$ використовують неймережеве виведення.

За допомогою машини неймережевого виведення на основі об'єктів $NNet$ бази неймережевих моделей створюються проекти нейронних мереж

SimNNet, для навчання та/або самонавчання яких, використані візуальні дані ГП ($Data_{VE}$) з бази даних ГП і їх елементарні непохідні фрагменти – візуальні дані гідродинамічних структурних примітивів (ГСП) з бази даних ГСП.

База нейромережових моделей містить процедури для створення основних архітектур нейронних мереж таких як: прямого поширення сигналу (найпростіші і багат шарові перцептрони, лінійні мережі), мереж зустрічного і зворотного поширення сигналу, радіально-базисних мереж, шарів і карт Кохонена, що самоорганізуються та мереж векторного квантування.

Результатом виконання проектів *SimNNet* в машині нейромережового виведення є визначення номера K класу ГСП, який відображається псевдокольором Bk при формуванні інтелектуальних даних ГСП ($Data_{IP}$) і запису їх до бази даних ГСП або отримання правил, які задають представлення інтелектуальних даних у вигляді об'єднання ГСП. Інтелектуальні дані ГП ($Data_{IE}$) є формалізованим описом стану ГП щодо візуалізації причин підвищених значень гідроаеродинамічних опорів в фізичному прототипі $GEminor_i$ та зберігаються у базі даних ГП.

Етап 3. Створення енергоефективної проточної частини допоміжного елемента. З врахуванням отриманих інтелектуальних даних ГП ($Data_{IE}$) у вигляді сегментованих зв'язаних областей, які утворюються оптично активними ГСП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів з використанням МНВ розробляється технічна пропозиція $GEminor_i^*$, що до заміщення цих областей оптично неактивними ГСП $Data_{IP}^S$ класу стінка. На основі розробленої технічної пропозиції штампується новий фізичний прототип, стан ГП в якому перевіряється на стенді. Тобто для обґрунтування енергозбереження розраховується значення гідродинамічного опору в синтезованому фізичному прототипі за допомогою технічних засобів першого етапу.

3.2. Засоби отримання кількісної оцінки стану газового потоку

Як було зазначено для отримання кількісної оцінки стану ГП в допоміжному елементі $FPEminor_i$ на основі його геометричної моделі з бази шаблонів з урахуванням коефіцієнта масштабування $scale$ виготовляється фізично подібний прототип $FPEminor_i \cong GFPEminor_i$. На експериментальному стенді в умовах подібності за числом Рейнольдса $10^4 \leq Re \leq 10^6$ турбулентних ГП проводиться симуляція функціонування прототипу $GFPEminor_i$ як допоміжного елемента АС. Таким чином засобами фізичного моделювання стану ГП в допоміжному елементі, який проектується, є спеціально створені фізично подібні:

- за масштабом прототип допоміжного елемента $GFPEminor_i$;
- за умовами функціонування фізичний прототип АС $GSys_{H-A}$.

Фізичний прототип АС $GSys_{H-A}$, реалізований у вигляді лабораторного стенду моделювання стану ГП. Лабораторний стенд (рис. 3.2) складається з:

- пневматичної напірно-розподільної частини, яка є фізичним прототипом нагнітача АС і забезпечує ГП із заданими по числу Рейнольдса параметрами;
- моделюючого пристрою який представляє собою фізичний прототип $GFPEminor_i$ допоміжного елемента, виконаний відповідно до масштабу моделювання;
- системи управління, яка складається із підсистем моніторингу технологічних параметрів, освітлення та фото-відео реєстрації.

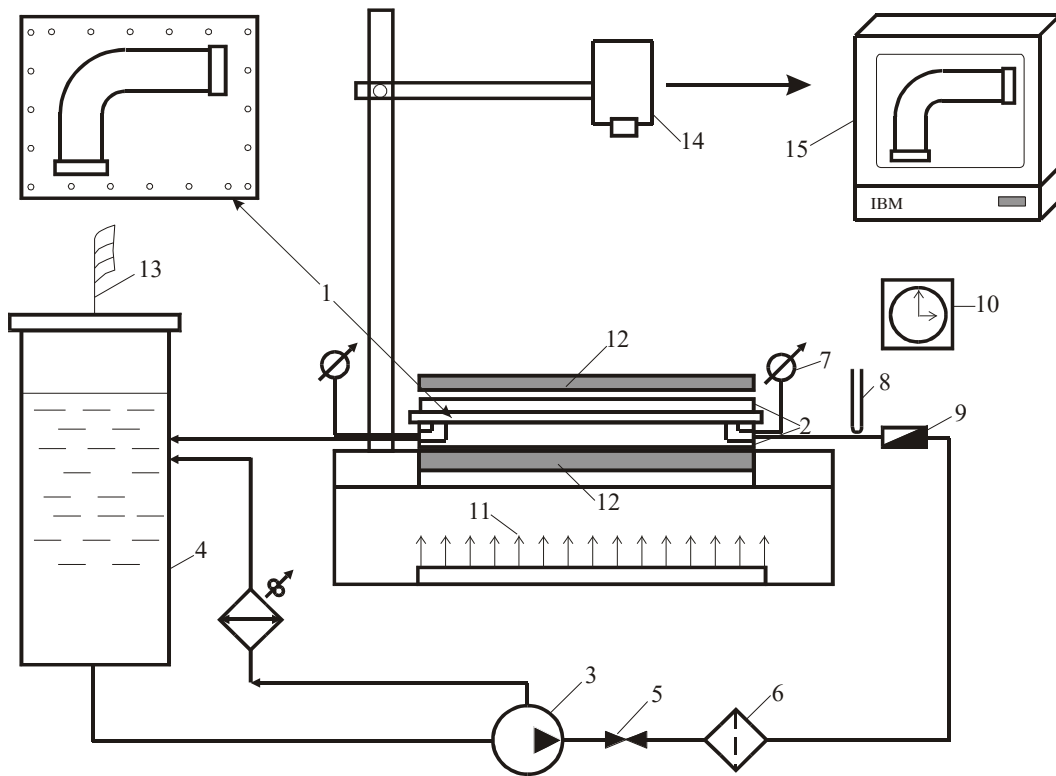


Рис. 3.2. Функціональна схема лабораторного стану

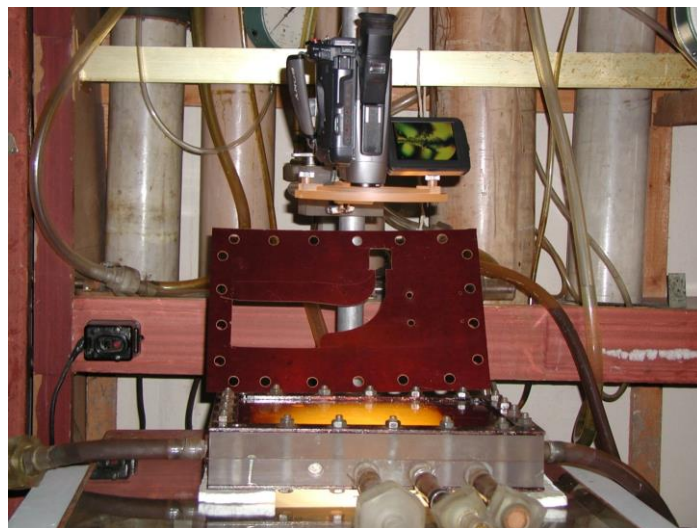
Розглянемо обладнання лабораторного стану детальніше. Пневматична напірно-розподільна частина містить (рис. 3.2, а):

- насос ЦГ 6.3/3.2К 3, який є фізичним прототипом основного елемента;
- додаткове обладнання, що забезпечує фізичну подібність ГП за числом Рейнольдса (бак компенсатор-повітрявіддільювач – 4, вентиль РУ-16 – 5, фільтр механічний 205-02-11 для гасіння пульсацій – 6);
- вимірювальне обладнання (манометри – 7, термопара ХК – термометр – 8, витратомір – 9, секундомір – 10, теплообмінник з вентилятором – 13);
- моделюючій пристрій (рис.3.2, рис.3.3) виготовляється з тонкого листа каліброваного матеріалу – 1 (гетинаксу з вирізаним (штампованим) каналом, що моделює конструкцію і геометрію елемента обладнання $GFPE_{minor_i}$;

– двох плит з оптично неактивного скла – 2, між якими жорстко закріплюється лист гетинаксу; товщина плит обирається за умови забезпечення герметичності і сталості витрат робочого тіла (оптично-активної рідини) в фізичному прототипі $GFPE_{minor_i}$ при заданих значеннях тиску.

– Підсистема моніторингу технологічних параметрів стану ГП в АС, що моделюється за допомогою лабораторного стенду, реалізована у вигляді окремих модулів, які дозволяють отримати, передати та зберегти у цифровому вигляді значення часу, тиску $P_{Net} = P_{major}$ та витрат робочого тіла $Q_{Emajor} = Q_{AS} = Q_{SysH-A}^*$, що надходять від вимірювального обладнання 7 - 10 (див. рис. 3.2, а) напірно-розподільчої частині. Це, в свою чергу з використанням (2.3) із другого розділу дозволяє розрахувати кількісну характеристику стану ГП в фізичному прототипі $GFPE_{minor_i}$ у вигляді реального значення гідроаеродинамічного опору $R_{FPE_{minor_i}}$.

На рисунку 3.3 показані зображення моделюючого пристрою в складі лабораторного стенду (рис. 3.3, а) і в розібраному вигляді (рис. 3.3, б).



а



б

Рис. 3.3. Зображення моделюючого пристрою у складі лабораторного стенду (а) і в розібраному вигляді (б)

Порівняння отриманої реальної оцінки $R_{FP\text{E}minor_i}$ з нормативною $R_{FP\text{E}minor_{norm}}$ із бази допоміжних елементів дозволяє зробити висновок про необхідність отримання візуальних даних про стан ГП в допоміжному елементі задля створення модифікованого фізичного прототипу $GFPEminor_i^*$.

Підсистема освітлення лабораторного стенду (рис. 3.3, а) включає регульоване джерело освітлення – 11 та набір поляроїдів – 12 (поляризатор і аналізатор у вигляді прозорої плівки, яка перетворює неполяризоване світло на лінійно поляризоване) для забезпечення просвічування оптично-активної рідини поляризованим світлом і набір керованих фільтрів для забезпечення рівномірного освітлення.

Підсистема фото-відео реєстрації лабораторного стенду (рис. 3.3, а) включає професійну фотокамеру – 14 з високою роздільною здатністю та швидкістю реєстрації (кадр/сек) та набором знімних об'єктивів, а також засоби управління її позиціонуванням і наведенням.

Програмне забезпечення підсистем моніторингу, освітлення і фото-відео реєстрації реалізовано у вигляді окремих модулів спеціалізованого АРМ проєктувальника та встановлено на сервер управління (комп'ютер) – 15 (рис.3.2, а), апаратне забезпечення підключено за допомогою зовнішніх інтерфейсів і працює під управлінням відповідних драйверів.

Візуальні дані про стан ГП є зображеннями штучних поверхонь розподілу інтенсивності освітленості (кольоровості), які однозначно характеризують поле градієнтів швидкостей (тисків) ГП в фізичному прототипі $GFPEminor_i$ допоміжного елемента. Динамічні штучні поверхні розподілу градієнтів швидкостей (тисків) ГП отримані шляхом використання методу візуалізації дискретних структур потоку (МВДСП) [62], який належить до класу поляризаційно-оптичних методів візуалізації прозорих робочих тіл на основі використання оптично активної рідини. Візуалізація за допомогою МВДСП виконується на основі просвічування поляризованим світлом оптично активної рідини у моделюючому пристрої. Для отримання оптично активної рідини в рідину додається 0,06% п'ятиокиси ванадію при цьому її

в'язкість залишається незмінною. По різниці інтенсивності освітленості в кожній точці потоку можна судити про розподіл швидкостей/тисків, та, як наслідок, про фізичний стан ГП.

Отримані таким чином штучні поверхні фотореєструються, утворюючи множину значень інтенсивностей точок зображення (3.1) :

$$Data_{VE} = \{B_{ij}\}, (i = \overline{1, Dw}, j = \overline{1, Dh}), \quad (3.1)$$

де $Data_{VE}$ - візуальні дані ГП (рис.3.4).

Візуальні дані $Data_{VE}$



$$Re = 1.2 \cdot 10^4$$

$$E = 1/125c$$

$$L = 150 \text{ Вт}$$

$$Dw = 2048 \text{ pixel}$$

$$Dh = 1408 \text{ pixel}$$

$$R_s = 300 \text{ ppi}$$

$$R_c = 1 \text{ байт}$$

Рис. 3.4. Приклад візуальних даних про стан ГП в фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180°»

При отриманні візуальних даних формується мета-заголовок $Data_{VE}$, який має наступний вигляд (3.2):

$$Meta_E = \langle Re, E, L, Dw, Dh, R_s, R_c \rangle, \quad (3.2)$$

де Re – число Рейнольдса ($10^4 \leq Re \leq 10^6$) задає параметри ГП, що моделюється з урахуванням подібності його реального процесу;

E – витримка в діапазоні (1/30 ÷ 1/2000 сек);

L – потужність освітлення в діапазоні (25 ÷ 1000 Вт);

D_w – горизонтальний розмір зображення в точках (pixel);

D_h – вертикальний розмір зображення в точках (pixel);

R_s – просторова роздільна здатність в точках (pixel) на дюйм (ppi);

R_c – кольорова роздільна здатність 1 або 3 байти.

$Data_{VE}$ разом з мета-заголовком записуються в базу даних ГП в аналізованих допоміжних елементах E_{minor_i} (див. рис. 3.1)

Візуальні дані ГП $Data_{VE}$ отримані за допомогою засобів підсистем управління освітленням і фотореєстрації на лабораторному стенді, використовуються в якості вхідних даних про стан ГП в $GFPE_{minor_i}$ для подальшої автоматизованої обробки методами інтелектуального аналізу. Результатом такої обробки є інтелектуальні дані про стан ГП, за допомогою яких синтезуються поліпшені фізичні прототипи допоміжних елементів АС.

3.2.2. Засоби отримання якісної оцінки структури потоків

Згідно із загальною схемою створення проектного рішення за МУФМ енергоефективної проточної частини i -го допоміжного елемента $GFPE_{minor_i}$ на основі технічної пропозиції FPE_{minor_i} , яка показана на рис. 3.1 основні процедури отримання якісної оцінки стану ГП у вигляді інтелектуальних даних ГП реалізовані за допомогою проектів нейронних мереж $SimNNet$ машини нейромережевого виведення для навчання та/або самонавчання яких, використані візуальні дані ГП.

Роботу машини нейромережевого виведення забезпечують данні із трьох баз: газових потоків (ГП), газо-гідро структурних примітивів (ГСП), нейромережевих моделей.

База даних ГП містить зв'язані між собою за допомогою ідентифікатора фізичного прототипу $GFPE_{minor_i}$ мета-заголовки (рис. 3.4) візуальні (3.2) та інтелектуальні данні ГП. Інтелектуальні данні ГП $Data_{IE}$ містять знання, які

добуваються з візуальних даних ГП $Data_{VE}$ за допомогою машини нейромережевого виведення. $Data_{IE}$ визначені як об'єднання інтелектуальних даних ГСП $Data_{IP}$ (3.3):

$$Data_{IE} = [R_{IE}] \cup_{i=1}^X \cup_{j=1}^Y Data_{IP_{i,j}}, \quad (3.3)$$

де X, Y – кількість ГСП по горизонталі та вертикалі відповідно;

R_{IE} – правило об'єднання ГСП;

$Data_{IP}$ – інтелектуальні дані ГСП містять знання, які добуваються з візуальних даних ГСП.

Кількість ГСП по горизонталі та вертикалі визначимо як, відповідно (3.4), (3.5):

$$Data_{IP_X} = (Dw \cdot R_S) / d_w, \quad (3.4)$$

$$Data_{IP_Y} = (Dh \cdot R_S) / d_h, \quad (3.5)$$

де d_w, d_h – горизонтальний та вертикальний розмір ГСП у пікселях, які визначаються експериментально та залежать від режиму отримання візуальних даних ГП $Data_{VE}$.

Інтелектуальні данні ГП разом з візуальними даними ГП, мета-заголовком та ідентифікатором становлять запис таблиці бази даних ГП, структура якої задається наступним кортежем (3.6):

$$I_{GEminor} = \langle Id_E, Meta_{VE}, Data_{VE}, Data_{IE} \rangle, \quad (3.6)$$

де $Id_E = i$ – ідентифікатор фізичного прототипу $GEminor_i$.

База даних ГСП містить зв'язані між собою за допомогою ідентифікатора мета-заголовков, візуальні та інтелектуальні данні ГСП.

Візуальні дані ГСП $Data_{VP}$ це елементарний, непохідний фрагмент даних ГП $Data_{VE}$, в якому забезпечується псевдостационарність ГП, що узгоджена з режимом отримання візуальних даних, який задається в мета-заголовку $Meta_{VE}$.

Визначимо візуальні дані ГСП як множину значень в залежності від R_c (3.2) інтенсивності або кольоровості точок зображення (3.7):

$$Data_{VP} = \{B_{ij}\}, i = \overline{1, d_w}, j = \overline{1, d_h}, \quad (3.7)$$

де B_{ij} – значення інтенсивності точки (піксела) зображення із координатами i та j ;

d_w та d_h – горизонтальний та вертикальний розмір ГСП у пікселах, які визначаються експериментально та залежать від режиму отримання візуальних даних, який задано в (3.2).

Інтелектуальні дані ГСП визначимо як (3.8):

$$Data_{IP} = \{Bk_{ij}\}, i = \overline{1, d_w}, j = \overline{1, d_h}, \quad (3.8)$$

де Bk_{ij} – значення псевдокольору точки (піксела) зображення з координатами, яке залежить від K с координатами i та j .

Для зберігання значень d_w , d_h та K створено мета-заголовок ГСП, який визначимо як (3.9):

$$Meta_{IP} = \langle d_w, d_h, F, K \rangle, \quad (3.9)$$

де F – множина ознак ГСП;

K – номер класу ГСП.

Візуальні (3.7) та інтелектуальні данні ГСП (3.8) разом з мета-заголовком (3.10) та ідентифікатором становлять запис таблиці бази даних ГСП, структура якої задається наступним кортежем (3.10):

$$I_{Prim} = \langle Id_p, Meta_{IP}, Data_{VP}, Data_{IP} \rangle, \quad (3.10)$$

де Id_p – ідентифікатор ГСП.

База нейромережових моделей містить об'єкти *NNet* для створення основних архітектур нейронних мереж таких як: прямого поширення сигналу (найпростіші і багат шарові персептрони, лінійні мережі), мереж зустрічного і зворотного поширення сигналу, радіально-базисних мереж, шарів і карт Кохонена, що самоорганізуються та мереж векторного квантування.

3.2.3. Створення бази даних структурних примітивів (вікон)

Для побудови бази даних структурних примітивів УПЧ запропоновано режим навчання МНВ, який включає наступні окремі процедури:

- визначення класів-прототипів K в $Meta_{IP}$;
- визначення ознак ГСП F в $Meta_{IP}$;
- створення проекту нейронної мережі $SimNNet$ на основі об'єктів $NNet$ бази нейромережових моделей для отримання $Data_{IP}$.

Визначення класів в прототипі K в $Meta_{IP}$ здійснювалось за допомогою процедури кластеризації візуальних даних $Data_{VP}$ заснований на застосуванні самоорганізованих карт Кохонена (self-organizing map – SOM) [74,89,90].

SOM відноситься до нейронних мереж з прямою передачею даних і має вхідний і вихідний шари. Вхідний шар, розмірність якого відповідає розмірності вихідних даних, називається рецепторним. Вихідний обчислювальний шар (шар Кохонена) містить нейрони, кожен з яких пов'язаний з нейроном рецепторного (вхідного) шару прямими зв'язками, а з усіма іншими латеральними зв'язками [6]. Найбільш часто SOM мають одновимірну (1D) або двовимірну (2D) топологію в залежності від розташування нейронів в рецепторному або обчислювальному шарах. При цьому нейрони обчислювального шару можуть становити гексагональну або прямокутну решітку. Якщо нейрони розташовані в кутах прямокутної решітки, тоді між ними можливі тільки вертикальні і горизонтальні латеральні зв'язки, а якщо в кутах гексагональної решітки тоді – вертикальні і діагональні зв'язки.

Відображення вхідних візуальних даних ГСП $Data_{VP}$ в вихідний простір класів прототипів K реалізовано наступним чином. На вхід рецепторного шару SOM послідовно подаються підобласті $Data_{VP_i}$ вхідного простору візуальних даних ГП $Data_{VE}$. Внаслідок конкурентної самоорганізації вагові коефіцієнти нейронів обчислювального шару адаптуються так, щоб максимальним чином реагувати на схожі послідовності даних підобласті $Data_{VP_i}$ вхідного простору візуальних даних ГП $Data_{VE}$ і

мінімальним на послідовності, що відрізняються. Результатом самоорганізації є матриця W адаптованих вагових коефіцієнтів прямих зв'язків нейронів обчислювального шару, яка складає простір ознак. Кожен вектор-рядок w_j простору ознак налаштований на відповідне відображення підобласті $Data_{VP_i}$ у вихідний простір класів-прототипів. ГСП «стінка» (solid) (клас 4 – **S**) – тільні ГСП $Data_{VP}^S$, що відображають на зображенні ГП зону оптично неактивного каліброваного матеріалу (гетинаксу) шаблону моделювання, яка є «нерухомою» та статистично однорідною;

Відображення $Data_{VP_i}$ у двовимірний простір ознак SOM показано на рис 3.5.

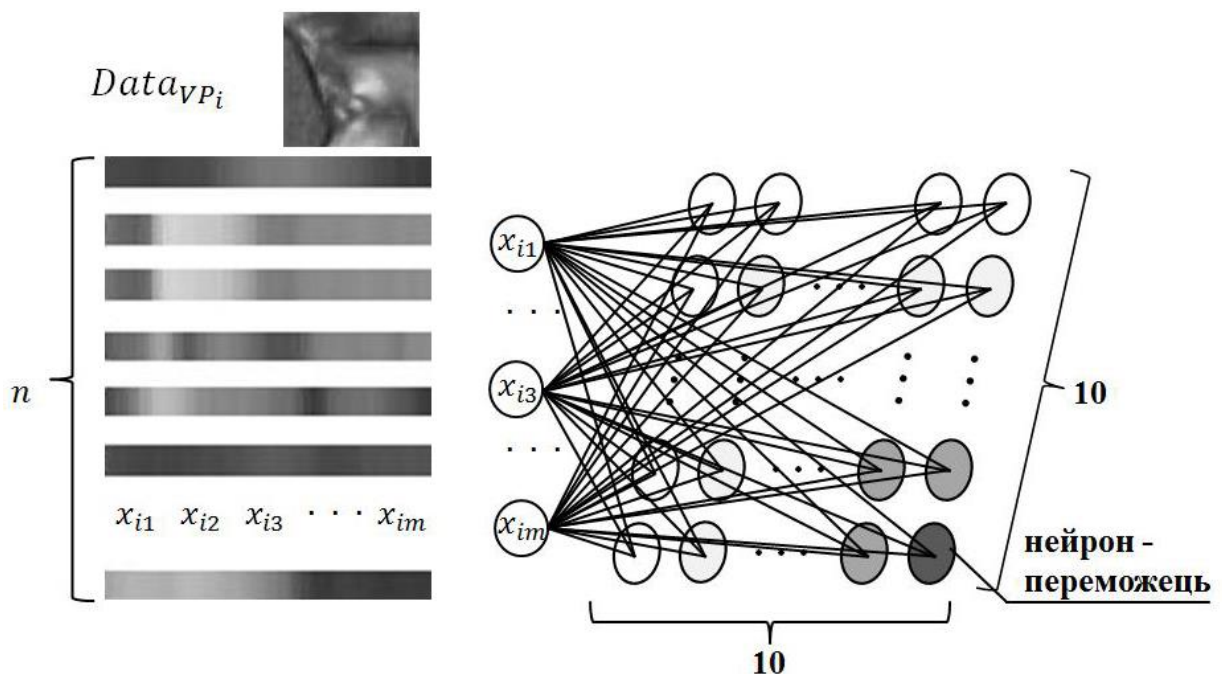


Рис. 3.5. Відображення візуальних даних ГСП у двовимірну топологію SOM

ГСП «потік» (flow) - потокові ГСП, що відображають зону оптично активної рідини в шаблоні моделювання, яка характеризує зміну величини пульсаційної складової швидкості в поле потоку. Таким чином формується простір класів, який дозволяє визначити схожі морфологічні типи ГСП, які формують наступні класи (рис 3.6):

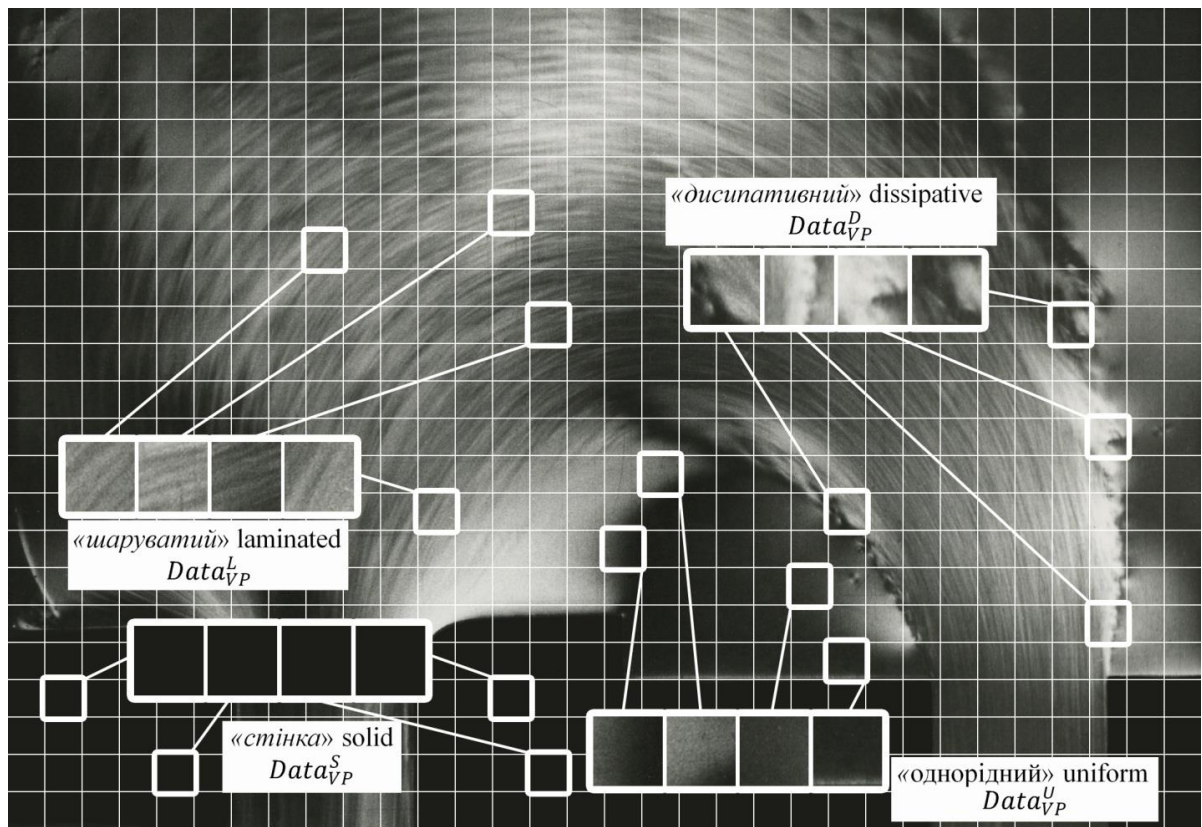


Рис. 3.6. Візуалізація основних класів ГСП у вікнах

В свою чергу, потокові ГСП розподілено на однорідні, дисипативні, шаруваті типи.

ГСП «однорідний» (uniform) (клас 3-U) – псевдоорганізовані ГСП $Data_{VP}^U$, що представляють собою «нерухоме» оптично неоднорідне поле на зображенні, так званий стоячий потік в якому відсутня періодична зміна величини пульсаційної складової швидкості.

ГСП «дисипативний» (dissipative) (клас 2-D) – дезорганізовані ГСП $Data_{VP}^D$, що представляють собою «рухоме» оптично неоднорідне поле на зображенні, в якому повністю відсутня організована (періодична) зміна величини пульсаційної складової швидкості в поле потоку.

ГСП «шаруватий» (laminated) (клас 1-L) – впорядковані ГСП $Data_{VP}^L$, що представляють собою «рухоме» оптично неоднорідне поле на зображенні, яке характеризує зміну величини пульсаційної складової швидкості в поле потоку у вигляді сімейства смуг (шарів), які чергуються.

Таким чином за допомогою процедури кластеризації візуальних даних $Data_{VP}$ заснований на застосуванні SOM були визначені, тільні ГСП $Data_{VP}^S$ та потокові ГСП, які в свою чергу розподілено на однорідні $Data_{VP}^U$, дисипативні $Data_{VP}^D$, шаруваті $Data_{VP}^L$ типи ГСП.

Визначення ознак ГСП F в $Meta_{IP}$. Враховуючи квазістаціонарний характер візуальних даних ГСП при визначенні ознак використовувались наступні 4 групи ознак:

- статистичних ознак (F_{sta});
- структурних ознак (F_{str});
- спектральних ознак (F_{spe});
- структурно-спектральних ознак ($F_{str-spe}$).

Наведемо приклад визначення статистичних ознак. Для отримання статистичних ознак F_{sta} візуальні дані ГСП $Data_{VP}$ визначених класів будемо розглядати, як реалізації випадкового поля, що відображають зміну яскравості в площині зображення. Серед множини оцінок числових характеристик виділимо кілька найбільш уживаних. Це:

- математичне сподівання (середнє);
- середньоквадратичне відхилення;
- коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

Визначення статистичних ознак починають з обчислення початкових (щодо початку координат) і центральних (щодо математичного сподівання) моментів. Математична статистика оперує з оцінками зазначених моментів.

Для візуальних даних ГСП $Data_{VP}$ згідно (3.9) оцінка початкових моментів m_n n -го порядку має вигляд (3.11):

$$m_n = \frac{1}{d_W * d_H} \sum_{i=1}^{d_W} \sum_{j=1}^{d_H} (B_{ij})^n. \quad (3.11)$$

Початковий момент першого порядку m_1 називається математичним сподіванням або середнім; початковий момент другого порядку m_2 – середнім

квадрантом; моменти третього і четвертого порядків використовуються для обчислення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу [95, 96].

Центральні моменти u_n n -го порядку при обробці візуальних даних ГСП $Data_{VP}$ визначаються виразом (3.12):

$$u_n = \frac{1}{d_W * d_H} \left(\sum_{i=1}^{d_W} \sum_{j=1}^{d_H} B_{ij} - m_1 \right)^n. \quad (3.12)$$

При практичному застосуванні виразу (3.13) необхідно попередньо оцінити середнє значення m_1 , тому для обчислення центральних моментів необхідні два проходи по зображенню візуальних даних. Для підвищення швидкодії обчислюють початкові моменти, використовуючи вираз (3.12), які потім використовують в відомих виразах для перерахунку початкових моментів у центральні. На основі центральних моментів обчислюються дисперсія, середньоквадратичне відхилення (СКВ), коефіцієнти асиметрії та ексцесу. Формули перерахунку зведені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Формули розрахунку статистичних ознак

Центральний момент 2-го порядку	Дисперсія, СКО
$u_2 = m_2 - m_1^2$	$D = u_2, \sigma = \sqrt{u_2}$
Центральний момент 3-го порядку	Коефіцієнт асиметрії (skewness)
$u_3 = m_3 - 3m_1m_2 - 2m_1^3$	$Ske = u_3/\sigma^3$
Центральний момент 4-го порядку	Коефіцієнт асиметрії (kurtosis)
$u_4 = m_4 - 4m_1m_3 - 6m_1^2m_2 - 3m_1^4$	$Kur = u_4/\sigma^4$

Коефіцієнт асиметрії Ske , обчислюється на основі центрального моменту третього порядку u_3 і характеризує «скісність» (міру зміщення

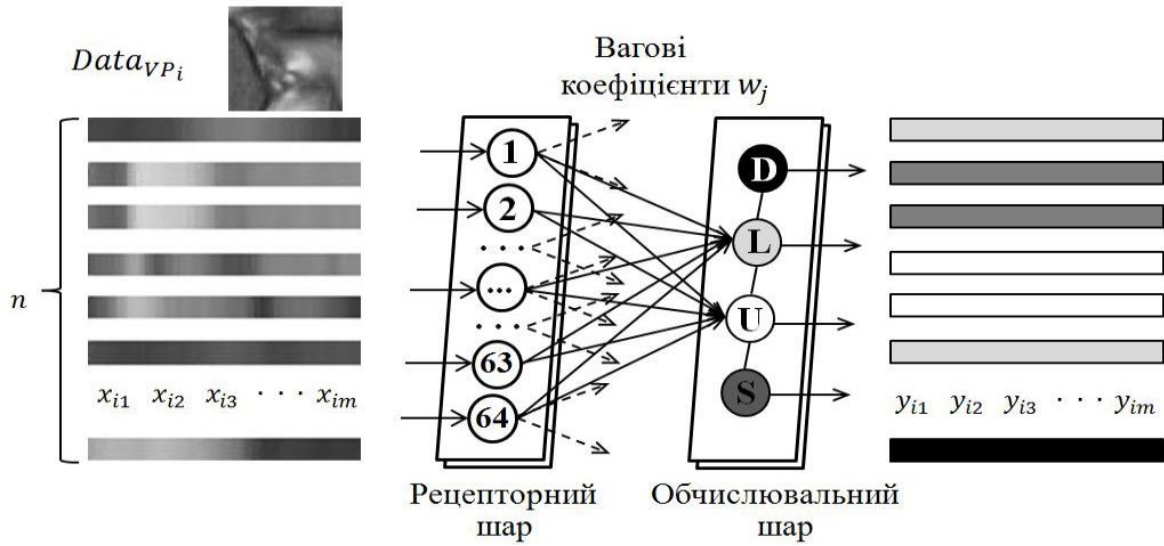
відносно математичного сподівання) розподілу ймовірностей. Негативне значення Ske – зміщення вліво, позитивне – вправо і дорівнює нулю для симетричного (щодо математичного сподівання) значення Ske .

Коефіцієнт ексцесу Kur , показує наскільки вибірка по нахилу кривої функції щільності ймовірності відповідає нормальному закону («крутість» розподілу) і обчислюється на основі центрального моменту четвертого порядку u_4 . Коефіцієнт ексцесу нормального розподілу дорівнює нулю. Якщо крива щільності ймовірностей має більш високу і гостру вершину у порівнянні з нормальним розподілом, то ексцес позитивний, якщо нижчу і пологіу – негативний.

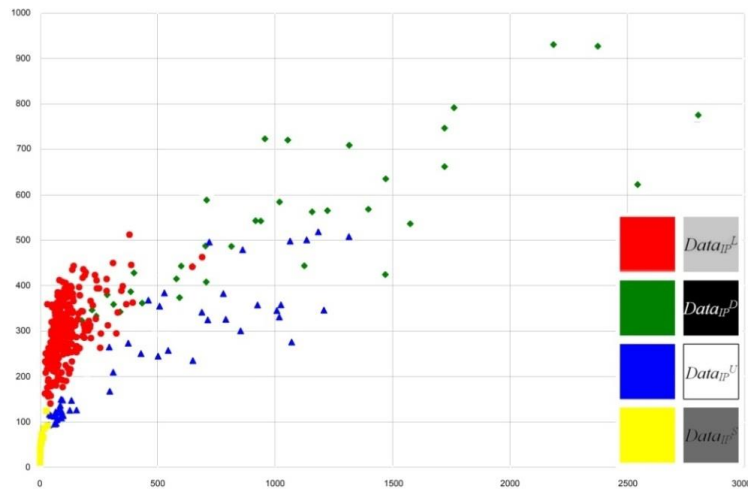
Створення проекту нейронної мережі для отримання $Data_{IP}$. Побудова бази даних ГСП у відповідності із запропонованим кортежем завершується створенням проекту нейронної мережі $SimNNet$ на основі $NNet$ бази нейромережевих моделей автоматизації $Data_{IP}$.

Задля навчання в МНВ в якості об'єкта $NNet$ задано одновимірну топологію SOM, де рецепторний шар складається із 64 нейронів, а обчислювальний із 4 нейронів. Всі нейрони обчислювального шару мають конкуруючу функцію активації, утворюють зі всіма нейронами рецепторного шару прямі зв'язки, а між собою – вертикальні латеральні зв'язки.

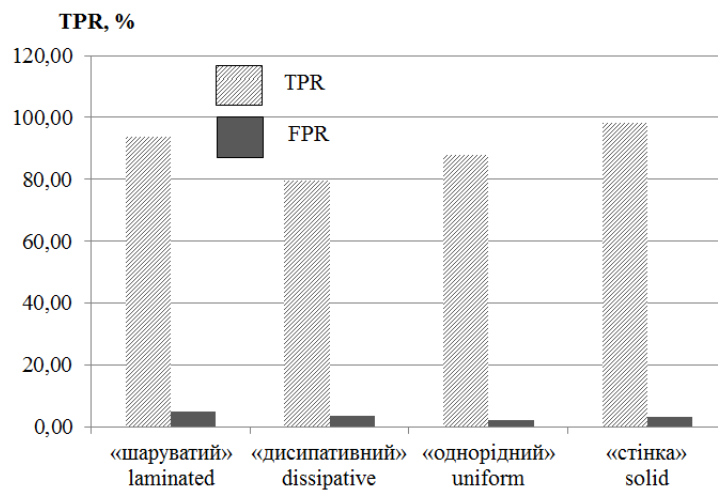
Метою процедури створення проекту $SimNNet_{SOM}$ є отримання векторів статистичних ознак, завдяки яким можливо відображення найбільш характерних входних півтонових ГСП в вихідний простір, який відповідає чотирьом класам ГСП. Вихідний простір відображається за допомогою чотирьох псевдокольорів. Процедура відображення входних характерних ГСП в вихідний простір реалізована наступним чином. На вхід рецепторного шару SOM послідовно подаються підобласті $Data_{VP_i}$ входного простору X . При цьому вхідний простір X штучно сформовано із зображень еталонних представників півтонових ГСП кожного із морфологічних типів (рис. 3.7) ($Data_{VP_i}^S, Data_{VP_i}^U, Data_{VP_i}^D, Data_{VP_i}^L$), а підобласть $Data_{VP_i}$ формується у.



а



б



в

Рис. 3.7. Результат створення проекту нейронної мережі: а – схема навчання; б – результат класифікації; в – помилки першого та другого роду

Це має вигляд вектору-рядку з вхідного простору. Внаслідок конкурентної самоорганізації вагові коефіцієнти нейронів обчислювального шару адаптуються так, щоб максимальним чином реагувати на схожі послідовності даних з під областей $Data_{VP_i}$ вхідного простору X і мінімальним на послідовності, що відрізняються. Результатом самоорганізації є матриця W адаптованих вагових коефіцієнтів прямих зв'язків нейронів обчислювального шару, яка складає простір ознак (рис. 3.7). Кожен вектор-рядок w_j простору ознак налаштований на відповідне відображення даних з вхідного простору X у вихідний простір класів-прототипів K (клас 4 – S, клас 3 – U, клас 2 – D, клас 1 – L). Таким чином за рахунок самонавчання нейронної мережі формується простір ознак, який дозволяє визначити схожі морфологічні типи ГСП. Створений проект *SimNet_SOM* зберігається в базі нейромережових моделей, а інтелектуальні ГСП відповідних класів в базі даних ГСП. Таким чином, реалізацією процедури автоматизації отримання $Data_{IP}$ завершується створення бази даних ГСП.

3.3. Створення каталогу даних базових проточних частин

Для побудови бази даних ГП у відповідності зі запропонованим кортежем (рис. 3.7) на основі $Meta_E$ та $Data_{VE}$ необхідно отримати інтелектуальні дані ГП $Data_{IE}$ які згідно (3.4) є об'єднанням за певним правилом R_{IE} інтелектуальних даних ГСП $Data_{IP}$, отриманих за навчальним режимом МНВ. Для побудови правила R_{IE} об'єднання інтелектуальних даних ГСП $Data_{IP}$ запропоновано режим сегментації МНВ (рис. 3.8), якій включає наступні процедури:

- дискретизація візуальних даних ГП $Data_{VE}$;
- отримання інтелектуальних даних $Data_{VE}$ на основі сформованого в режимі навчання простору ознак.

Дискретизація візуальних даних ГП $Data_{VE}$ (рис. 3.8, а) на візуальні дані ГСП $Data_{VP}$ передбачає формування в дискретних просторових координатах зображення у вигляді (3.13):

$$Data_{VE} = \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y Data_{VP_{ij}} \quad (3.13)$$

де X, Y – кількість ГСП по горизонталі і вертикалі відповідно.

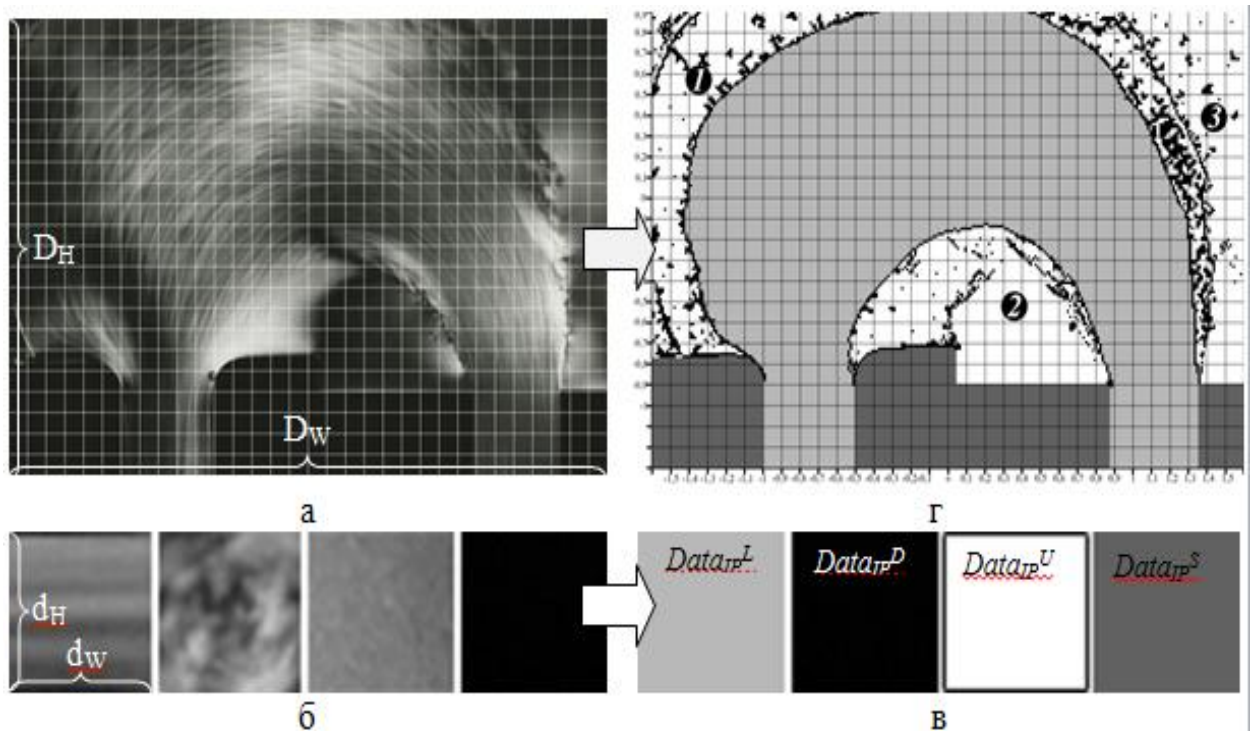


Рис. 3.8. Результати роботи МНВ в режимі сегментації візуальних даних в фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180° »: а – візуальні дані ГП; б, в – візуальні та інтелектуальні дані ГСП, г – інтелектуальні дані ГП

При дискретизації завдання визначення розмірів d_H та d_W в просторовій області (площині XU -координат) була вирішена на основі самоорганізованих карт, що дозволило автоматизувати процес визначення розмірів візуальних даних ГСП $Data_{VP}$ в (3.10) та (3.11) і зменшити суб'єктивність експерт-аналітика при визначенні кількості їх класів.

Процедура отримання інтелектуальних даних $Data_{IE}$ реалізована на основі сегментації візуальних даних ГП $Data_{VE}$ в фізичному прототипі

G_{Eminor_i} допоміжного елемента за допомогою сформованої в режимі навчання SOM.

На сформовану SOM подається вектор $v = f(Data_{VP})$ – одновимірний масив (вектор) візуальних даних $v_j, j = \overline{1, M}$ ($M_{VP} = d_W * d_H$), який отримано із двовимірного ГСП $Data_{VP}$ за допомогою перетворення f (3.14):

$$f: \langle d_W, d_H, \{B_{ij}\} \rangle \rightarrow \langle 1, M_{VP}, \{B_{ij}\} \rangle. \quad (3.14)$$

У якості функції f використовувались стандартні операції построчно-постовпщевої обробки або зигзаг-сканування. У відповідності до алгоритму функціонування SOM виконується пошук найбільш схожого на вхідний вектор $v_j, j = \overline{1, M}$ вектора вагових коефіцієнтів нейронів $w_{ij}, i = \overline{1, L}$, та $j = \overline{1, M}$ у матриці вагових коефіцієнтів W . Нейроном-переможцем у відповідності до функції подібності буде нейрон $i(w_j)$, такий що (3.15):

$$i(w_j) = \arg \min_i \|v_j - w_j\|, \quad i = \overline{1, L_{SOM}}, \quad j = \overline{1, M_{VP}}. \quad (3.15)$$

При цьому номер нейрона-переможця відповідає номеру класу K інтелектуального ГСП у відповідності до якого виконується псевдокольорова розмітка сегментованого зображення. Отримане таким чином, псевдокольорове сегментоване зображення, яке представляє собою інтелектуальні дані ГСП $Data_{IE}$ разом з візуальними даними $Data_{VE}$ та заголовком $Meta_E$ у відповідності до кортежу (3.7) записуються до бази даних ГП.

Практичне використання МНВ в режимі сегментації візуальних даних в фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180°» (рис. 3.8, а, б) дозволяє виділити три зв'язаних області які утворено об'єднанням ГСП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів (рис. 3.7, в) в інтелектуальних даних ГП $Data_{VE}$ (рис. 3.7, г). На рисунку 3.7, г ці області позначено номерами 1,2 та 3.

3.4. Створення енергоефективної проточної частини елемента

Потрібно у відповідності до МСПС енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента $GEminor_i$ враховуючи схему наведену на рисунку 3.4 розглянути на прикладі допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » більш детально склад процедур третього етапу – синтез обґрунтованого енергозберігаючого проектного рішення.

Вхідними даними для синтезу нового енергозберігаючого фізичного прототипу $GEminor_i^*$ є зображення інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$, на якому засобами попередніх етапів виділені зв'язані області 1, 2 та 3 (рис.3.8, г), що утворюються оптично активними ГСП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів. Нова технічна пропозиція $GEminor_i^*$ розробляється як результат заміщення трьох областей вставками складної форми, які утворені оптично неактивними ГСП $Data_{IP}^S$ класу стінка. Для отримання форми оптично неактивної вставки за допомогою МНВ використовуються об'єкти $NNet$ із бази нейромережевих моделей. В якості об'єкта запропоновано використати радіальну базисну нейронну мережу (Radial Basis Function Network – RBF) тому, що вони демонструють хороші властивості, щодо апроксимації складних нелінійних функцій [97 - 99].

Мережа RBF містить: шар прихованих нейронів з радіально симетричною активаційною функцією, кожен з яких призначений для зберігання окремого еталонного вектора у вигляді вектора ваг і вихідний лінійний шар (рис. 3.9, б).

Еталонні вектора радіально-базисного шару використовуються для відображення вхідної множини у вихідну та полягає в перетворенні заснованому на декількох одиночних апроксимуючих функціях, кожна з яких реалізує очікувані значення тільки обмеженої області багатовимірного простору (рис. 3.9, а).

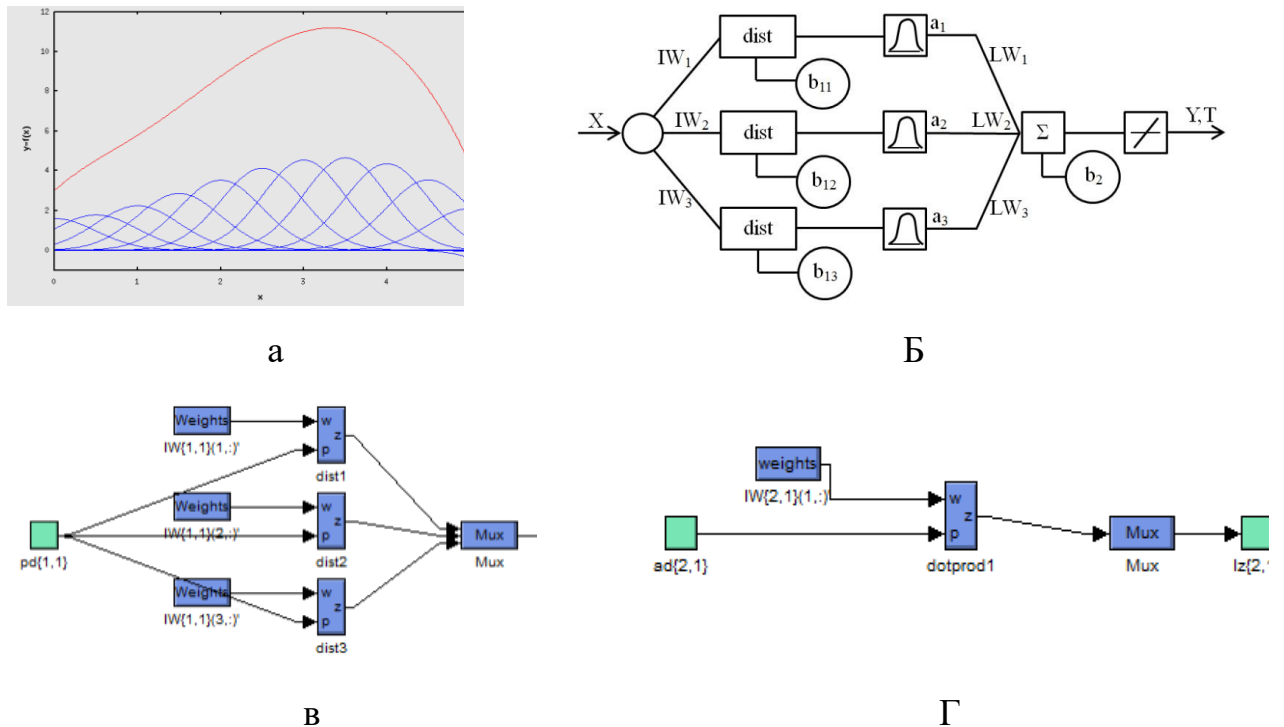


Рис. 3.9. Нейрона мережа RBF: а – ілюстрації локальної апроксимації; б – структура мережі; структура шарів проекту SimNrb₁; в – радіально-базисний шар; г – лінійний шар

Так, наприклад, червона крива представлена сумою синіх гауссоїд. Для деякої точки X основний внесок дають лише кілька гауссоїд, центри яких близькі до цієї точки. Тому така апроксимація називається локальною. Усе перетворення в цілому це сума локальних перетворень на основі базисних функцій (гауссоїд).

При створенні проекту мережі RBF *SimNrb₁* для локальної апроксимації функцій огинаючих інтелектуальних даних, що утворено оптично активними зв'язаними областями ГСП $Data_P^D$ і $Data_P^U$ класів у фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180°» необхідно враховувати наступне для того, щоб прихований шар був радіально симетричним:

- наявність центру, представленого у вигляді вектора у вхідному просторі; зазвичай цей вектор зберігається в просторі ваг від вхідного шару до шару шаблонів;

– наявність способу вимірювання відстані вхідного вектора до центру; зазвичай це стандартна Евклідова відстань;

– наявність спеціальної функції активації нейронів прихованого шару, яка задає обраний спосіб вимірювання відстані; зазвичай використовується функція Гауса, істотно підсилює малу різницю між вхідним і еталонними векторами.

Навчання прихованого шару передбачає попереднє проведення кластеризації для знаходження еталонних векторів і рівня перекриття

Вхідними аргументами $SimNrb_1$ є масиви вхідних X і цільових T векторів (рис. 3.10, а), що отримані відповідно до координат лінії яка розділює зв'язані області ГСП $Data_{IP}^D$ і $Data_{IP}^U$ класів та класу $Data_{VP}^L$.

Масиви вхідних та цільових даних формуються з врахуванням координатної сітки яку спеціально нанесено на зображення. У відповідності із режимом навчання МВН вхідними даними є також значення середньоквадратичної помилки мережі і рівня перекриття радіальних базисних функцій, які визначаються експериментально.

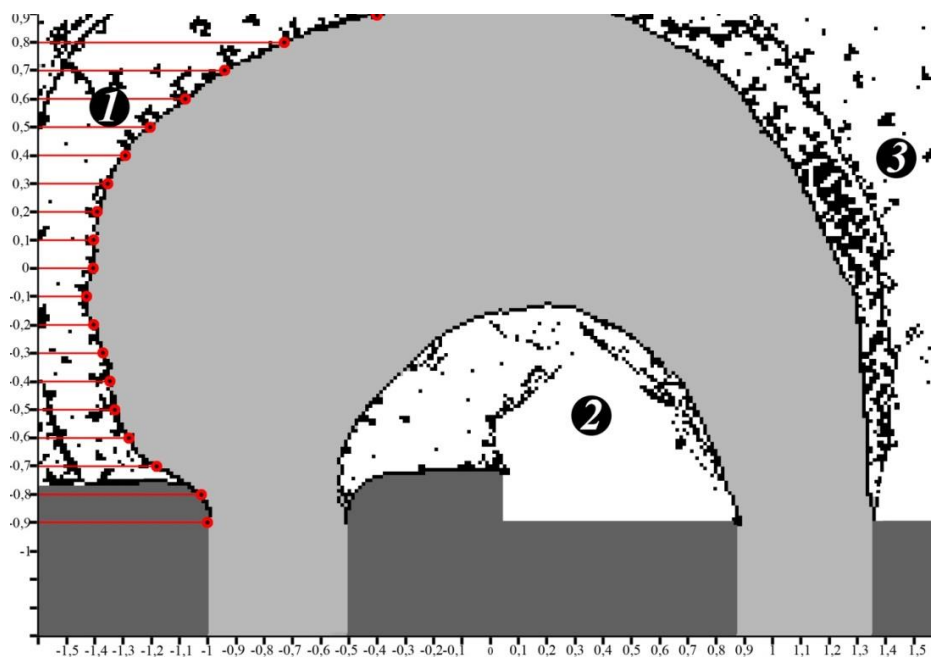
Вихідними аргументами $SimNrb_1$ є масиви вагових коефіцієнтів IW і зсувів b^1 прихованого радіально-базисного шару і вихідного лінійного шару LW і b^2 відповідно (рис. 3.9, в, г).

Значення середньоквадратичної помилки мережі визначається як:

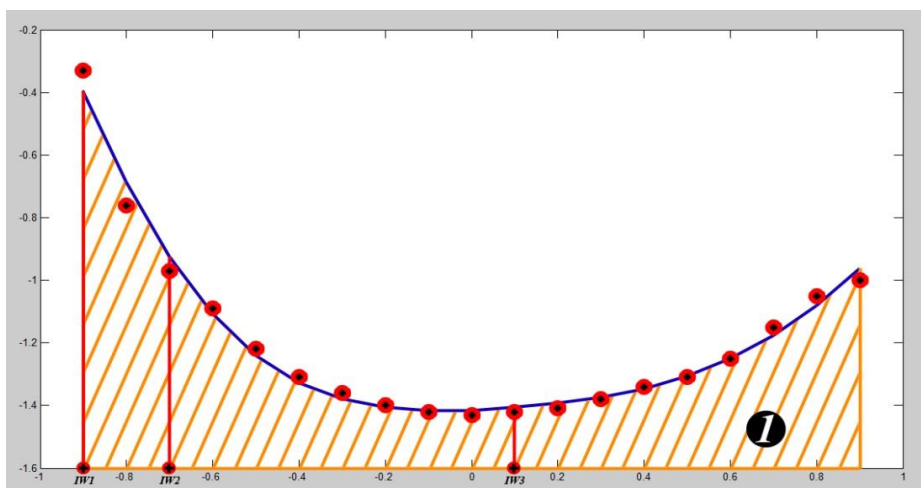
$$MSE = \left(\sum_{j=1}^N (T_j - Y_j)^2 \right) / N, \text{ де } N - \text{кількість прикладів навчальної вибірки.}$$

Вектор вихідних значень Y визначається як: $Y_j = purelin \left(\sum_{l=1}^M (LW_l A_l + b_l^2) \right)$,

$purelin(n) = n$, M – кількість радіально-базисних нейронів, а вектор вихідних значень A прихованого радіально-базисного шару визначається як: $A_l = radbas(\|IW_l - X_j\|) b_l^1$, $radbas(n) = e^{-n^2}$.



а



б

Рис. 3.10. Формування вхідних та даних проекту $SimNrb_1$: а – масиви вхідних X і цільових T векторів; б – відображення цільових та вихідних даних та аргументів

За аналогією з першим проектом $SimNrb_1$ для отримання форми оптично неактивної вставок для областей 2 та 3 за допомогою МНВ в режимі навчання створено ще 2 проекти $SimNrb_2$ та $SimNrb_3$ радіально-базисних нейронних мереж з бази нейромережевих моделей. Результати виконання цих проектів показані на рис. 3.11, а.

На рис. 3.11, б показано результати роботи МНВ з синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » шляхом заміщення зв'язаних оптично активних неупорядкованих областей ГСП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів в інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$ зв'язаними областями, створеними оптично неактивними ГСП $Data_{IP}^S$ класу стінка. При цьому області заміщення позначено номерами 1, 2 та 3. Таким чином, на основі якісної оцінки стану ГП у вигляді інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$ в фізичному прототипі $GEminor_i$ аналізованого допоміжного елемента $Eminor_i$ за допомогою моделей радіально-базисних нейронних мереж $SimNrb_i$ синтезовано модифікований фізичний прототип $GEminor_i^*$ (рис. 3.11, в).

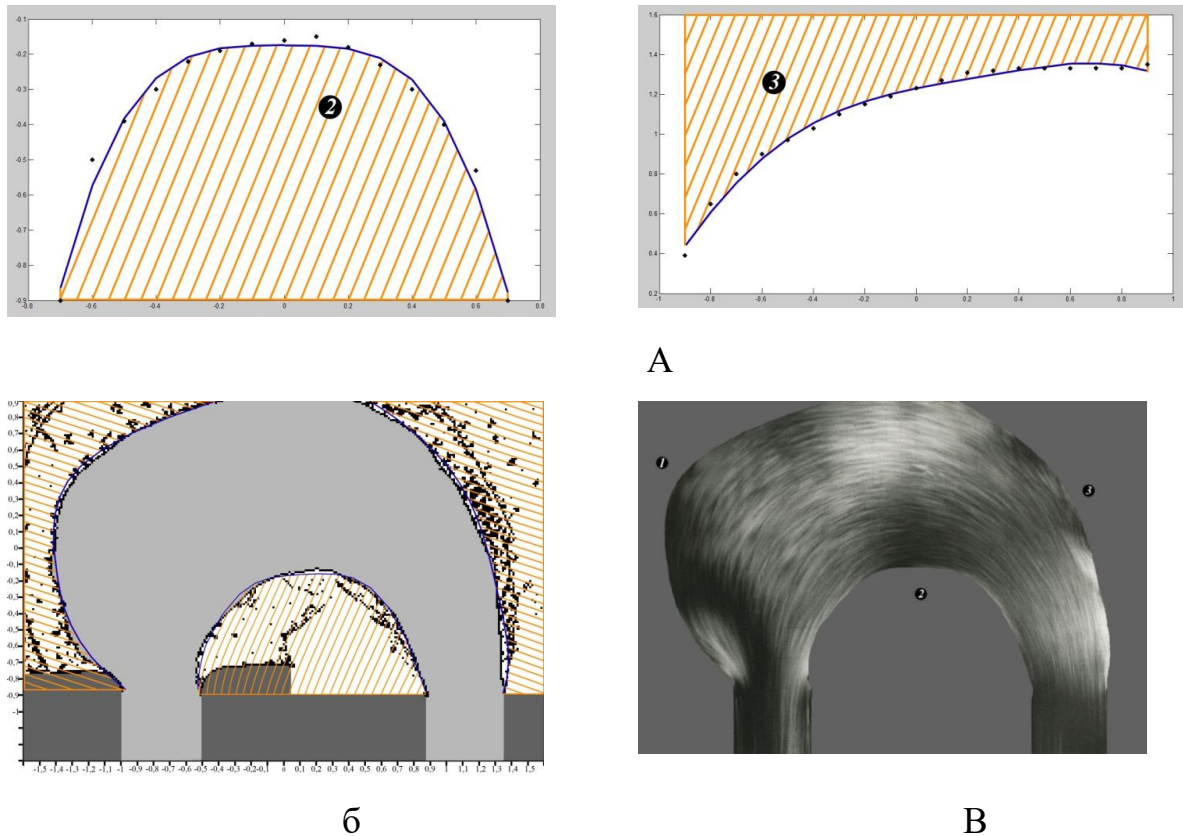


Рис. 3.11. Результати роботи МНВ з синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » а – результати роботи проєктів $SimNrb_{i2}$ та $SimNrb_{i3}$, б – синтезована геометрія вставок; в – зображення модифікованого прототипу $GEminor_i^*$

Отримання кількісної оцінки стану ГП в синтезованому $GEminor_i^*$ на експериментальному стенді у вигляді значення параметра гідраеродинамічного опору $R_{GEminor_i^*}$ і порівняння його з нормативним значенням R_{Eminor_i} показало, що практичне використання запропонованого МСПС дозволяє автоматизувати розробку проєктного рішення для елемента «поворот потоку на 180°» зі зниженим в 2,6 рази (з 0,040 до 0,015) значенням гідраеродинамічного опору.

В висновку до викладено матеріалу з використання нейронних мереж для апроксимації функцій огинаючих зв'язних областей, які утворено інтелектуальними даними ГП, наведено порівняння з можливостями багат шарових перцептронів (multilayer perceptron MLP) щодо вирішення задач апроксимації функцій (рис. 3.12).

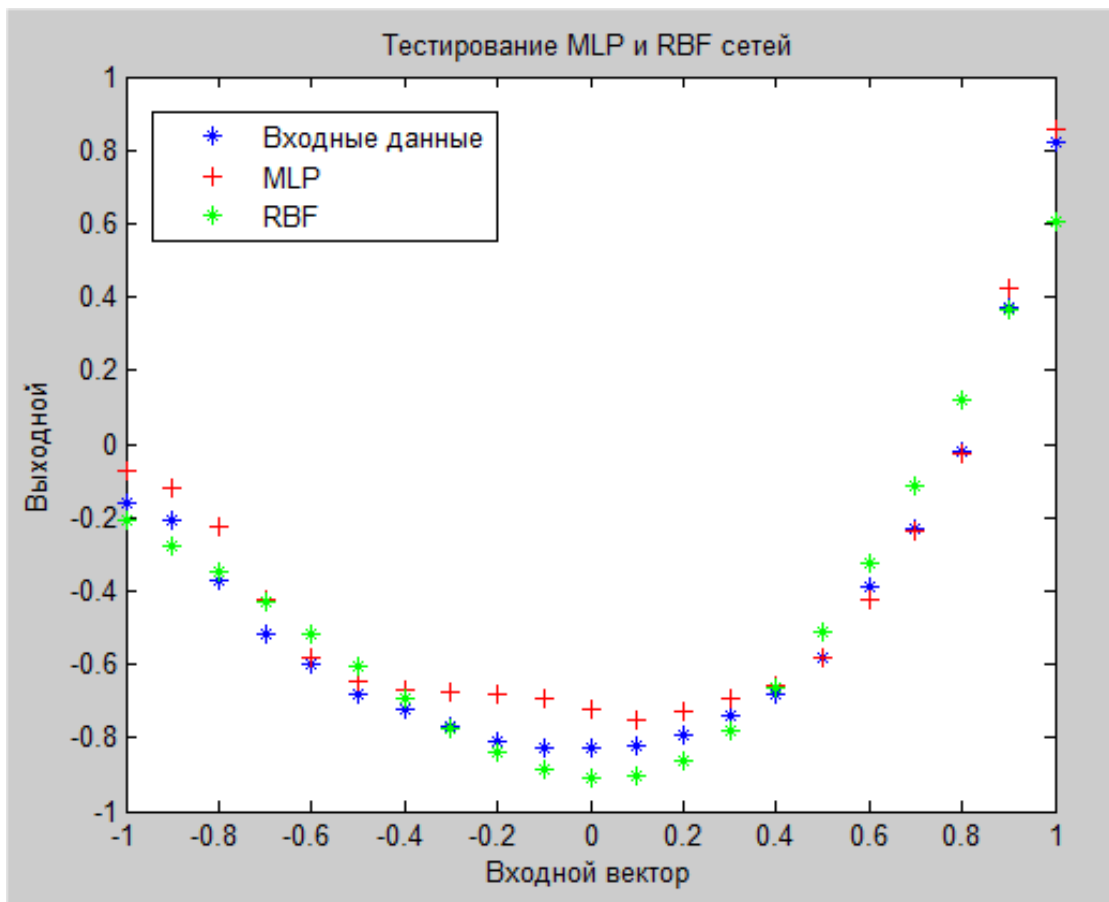


Рис. 3.12. Порівняльні характеристики мереж MLP та RBF щодо апроксимації функцій

Критерії порівняння

Критерій порівняння	MLP	RBF
Спосіб кодування інформації у шарі	Гіперплощини	Гіперсфери
Участь в апроксимації	Всі нейрони	Тільки найближчі
Чутливість до розмірності вхідних даних	Виражається в зростанні складності навчання	Виражається в зростанні розмірів мережі
Число прихованих рівнів	Декілька	Один
Вид функції активації	Різні: сигмоїда, гіперболічний тангенс, біполярна сигмоїда	Гаусова функція
Вміння екстраполювати	Так	Ні
Навчання шарів	Одночасне, більш повільне	Роздільне, більш швидке Потрібно дуже багато навчальних даних для прийняттого результату
Техніка апроксимації	$F(x) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \varphi(w_i^T x + b_i)$	$F(x) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \exp\left(-\frac{\ x - t_i\ ^2}{2\sigma^2}\right)$

Багатошарові персептрони виконують апроксимацію функції декількох змінних шляхом перетворення множини вхідних X (розмірності n) змінних до множини вихідних змінних Y (розмірності m). У такій мережі здійснюється апроксимація глобального типу, це означає, що при формуванні вихідного сигналу беруть участь вихідні сигнали багатьох або навіть усіх нейронів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Існуючі методи представлення та оптимізації параметрів роботи аеродинамічних систем мають протиріччя. Інтенсифікація або заміна нагнітачів на більш потужні забезпечує збільшення подачі зі збереженням високих значень ККД нагнітачів, проте витрати потужності на роботу нагнітачів ростуть непропорційно, що є перешкодою вирішення проблеми обмежень потужності котлів. Тобто, при оптимізації тягодуттьових трактів викорисовується тільки показник ККД нагнітачів. Тому, при розробці проєктів для збільшення продуктивності аеросистем потрібні коефіцієнти, які характеризують ефективність системи в цілому.

2. Для вирішення проблеми підвищення продуктивності ГС і АС і вирішення проблеми обмежень потужності котлів по дугтю і тязі розроблена нова концепція підвищення продуктивності і системної ефективності тягодуттьових трактів і механізмів за рахунок оптимізації або коригування геометрії проточних частин відповідно до результатів візуальної діагностики структури потоків. Нова концепція розрахунку ефективності динамічних процесів в аеродинамічних і гідравлічних системах потребує аналізу і перегляду показників ефективності як основного обладнання - нагнітачів, так і допоміжних елементів аеродинамічних систем або мережі.

3. Показник ККД нагнітачів можна розглядати як ефективність трансформації різних видів енергії в основному елементі гідроаеросистем, яка показує відношення кінцевої або отриманої потужності (інтенсивності роботи) до витраченої або вихідної потужності. ККД розраховується на основі закону збереження енергії, проте не надає причини низької або високої ефективності

процесу трансформації. При розрахунку ККД нагнітачів до корисних параметрів зараховані втрати напору в гідроаеросистемі, які повинні бути виключені при розрахунку ККД системи в цілому.

4. Показник ефективності динамічних процесів $\eta_{сист}$ при умовах уніфікації параметрів потенціалу і динамічної складової може розраховуватися як відношення динамічної складової до ісходного потенціалу в гідро- і аеросистемах.

5. Показники ефективності трансформації різних видів енергії і ефективності динамічних процесів можуть використовуватися для розрахунку системної або агрегатної ефективності. Таким чином, використання об'єктів *NNet* бази нейромережевих моделей у вигляді SOM в режимах навчання та сегментації МНВ дозволяє: на основі морфологічно виділених основних типів ГСП завдяки конкурентній самоорганізації сформувати простір ознак, який відображає вхідні дані у вихідний простір зі значно меншою кількістю градацій інтенсивності (4 псевдокольори); на основі сформованого простору ознак отримати візуальні сегментовані псевдокольорові зображення (інтелектуальні дані $Data_{IE}$) ГП, що одержані в фізичному прототипі GE_{minor_i} допоміжного елемента, використання яких при подальшому синтезі проектних рішень значно скорочує обсяги аналізованих даних.

6. Розроблені моделі структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем для формалізації технічних пропозицій при автоматизованому проектуванні у спеціалізованому АРМ.

7. Отримав подальший розвиток метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем, який полягає у використанні запропонованого показника енергоемності гідроаеродинамічного процесу в якості характеристики енергозбереження, що на основі розроблених моделей дозволило автоматизувати раціональний вибір енергозберігаючого проектного рішення у спеціалізованому АРМ.

8. Для формалізації процесу автоматизованого проектування у спеціалізованому АРМ розроблено метод структурно-параметричного синтезу

енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем, який дозволяє на основі запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу автоматизувати раціональний вибір енергозберігаючого проектного рішення із низки технічних пропозицій, які генеруються з використанням розробленої логіко-чисельної моделі.

9. Для формалізації процесу створення бази енергозберігаючих допоміжних елементів при автоматизованому проектуванні у спеціалізованому АРМ розроблено метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів гідроаеродинамічних систем з урахуванням кількісної і якісних оцінок стану гідродинамічних потоків у них. Симуляція створеного фізично-подібного прототипу допоміжного елемента на подібному за числом Рейнольдса експериментальному стенді показала, що врахування стану гідродинамічних потоків у вигляді інтелектуальних даних обробки візуальних поверхонь, які однозначно характеризують поле градієнтів швидкостей (тисків) потоку у прототипі, дозволяє синтезувати проектні рішення по зниженню опорів в 5 – 7 разів і більше.

РОЗДІЛ 4

ПРОЄКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ПОПЕРЕЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОТОКІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ

Для забезпечення прогнозованих значень основних енергетичних показників роботи АС необхідно розробити методи уточнення розрахунку поперечних розмірів каналів. Такі уточнення розмірів каналів дозволять впливати на процеси інтенсифікації переносу тепла з забезпеченням мінімальних опорів руху рідини або газів. Сучасне енергетичне обладнання житлових комплексів повинно відповідати умовам швидкого відновлення під час аварій, катаклізмів тощо [98 - 99]. Досвід існування житлових комплексів під час військової агресії довів, що після аварій чи руйнувань у зимовий період потрібно забезпечувати відновлення систем тепlopостачання у подовж 24 годин. Для швидкого встановлення нового генеруючого обладнання зручно використовувати газотрубні котли (ГТК).

Простота котлів, де в трубах потрібно організувати рух димових газів, забезпечує економічне та швидке виготовлення, встановлення та приєднання до мережи тепlopостачання. Ці якості дають пріоритет ГТК за необхідності швидкого встановлення котлів у період руйнувань інфраструктури. Однак, у першому розділі наведено аналіз відомих заходів для вирішення проблеми низьких значень коефіцієнтів тепловіддачі від димових газів до металевих стін трубного простору. Також потрібно вирішувати проблему невизначеності результатів розрахунків переносу теплоти і руху газів, яка іноді може перевищувати 20%. Ці проблеми обмежує теплову потужність даного типу котлів.

4.1. Вплив поперечної структури потоків на основні енергетичні параметри та коефіцієнти пропорційності

Сьогодні при проектуванні проточних частин обладнання використовують розміри пропорційні метричній системі СІ або кратної значенням дюймової системи [55]. Науковою гіпотезою представлених у даному розділі досліджень вважаємо можливість виявлення природних процесів самоорганізації структури потоків, які отримано методом візуальної діагностики потоків оптично активної рідини з поляризованим освітленням. Такого роду дослідження можна вважати подовження експериментів Рейнольдса. Однак, на відміну від експериментів Рейнольдса візуальна діагностика дозволила виявити не тільки шари ламінарного потоку, но також сталі поперечні розміри деяких шарів. На рис. 4.1 показані результати візуальних досліджень витікання струменя води у затоплений простір, де наочно можна побачити регулярний розподіл світлих і сірих ділянок, які свідчать про наявність структурної самоорганізації при русі деформованих середовищ.

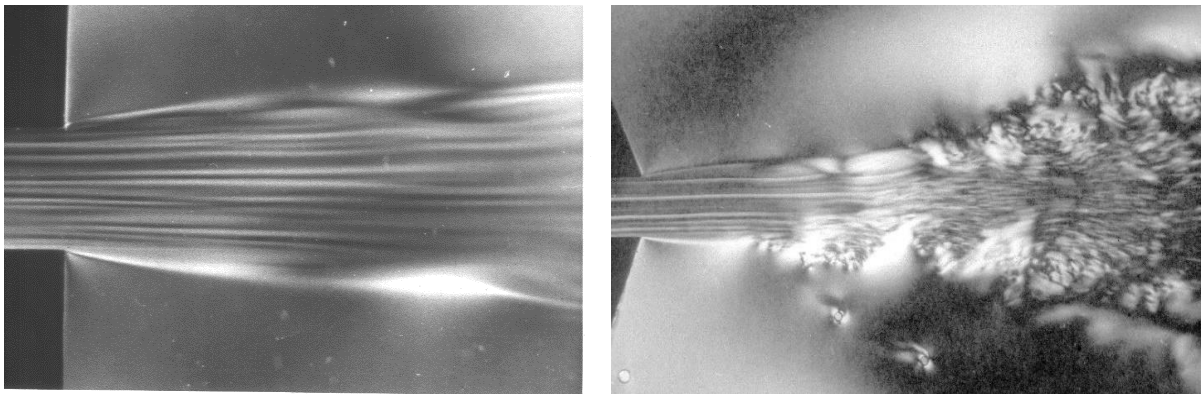


Рис. 4.1. Візуальні картини руху рідини з малою швидкістю

На основі виконаних досліджень запропоновано вважати, що світлі смуги характеризують пульсаційні компоненти позитивної складової динамічної енергії $+\Delta kV^2$; сірі смуги – як негативні компоненти динамічної складової енергії ΔkV^2 . Інтенсивність світлого і сірого може змінюватись, але чітко

можно виділити сталі поперечні розміри смуг. Для подальших експериментів виділені найменші розміри виявлених шарів: дві смуги які мають сумарний сталий розмір $\Delta h = 0,52$ мм. На рис 4.2 виділено основні елементи візуальних картин струменя, а також розміри смуг, які вирішено використовувати для аналізу впливу структури потоків на енергетичні параметри рідини, яка рухається.

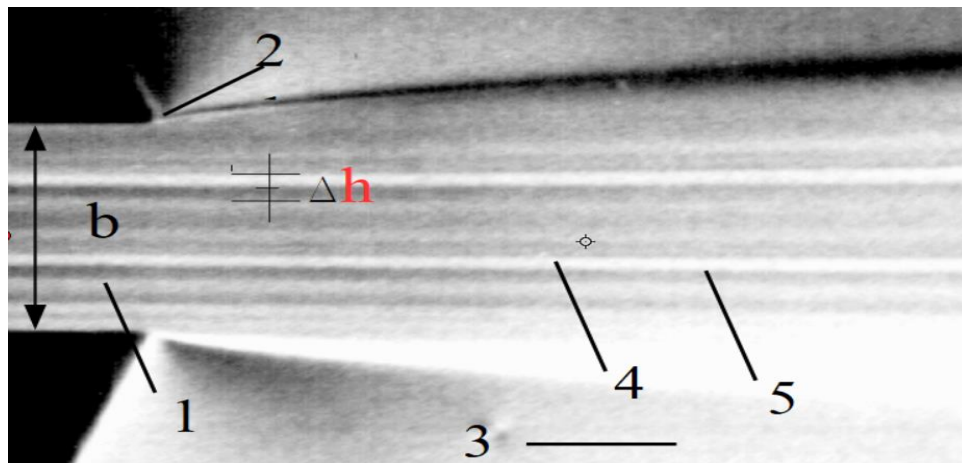


Рис. 4.2. Візуальна картина досліджень структури ламінарного струменя у затопленому прості: 1 – струмінь; 2 – сопло; 3 – затоплене місце; 4 – світла смуга (позитивний градієнт динамічної складової потоку); темна смуга (негативний градієнт складової); b – ширина сопла; Δh – розмір світлої та темної смуги структури потоку

Виходячи з такого припущення розроблено ряд експериментів для дослідження енергетичних параметрів потоків у проточних частинах, де змінюються розміри у діапазоні співставному розмірам смуг по результатам візуальної діагностики руху струменя рідини у затопленому просторі згідно інформації рис. 4.1 і рис 4.2. Візуальна картина дає нову інформацію про структуру потоків, порівняно з відомими візуальними дослідженнями струменя в затопленому просторі [98]. Для перевірки відповідності візуальної картини структури потоків зміні енергетичних параметрів потоків розроблено та проведено декілька гідравлічних та теплових експериментів. Для проведення

такого роду експериментів розроблено ряд моделюючих пристроїв, в яких усі розміри каналів подібні окрім висоти каналу h [99] рис. 4.3.

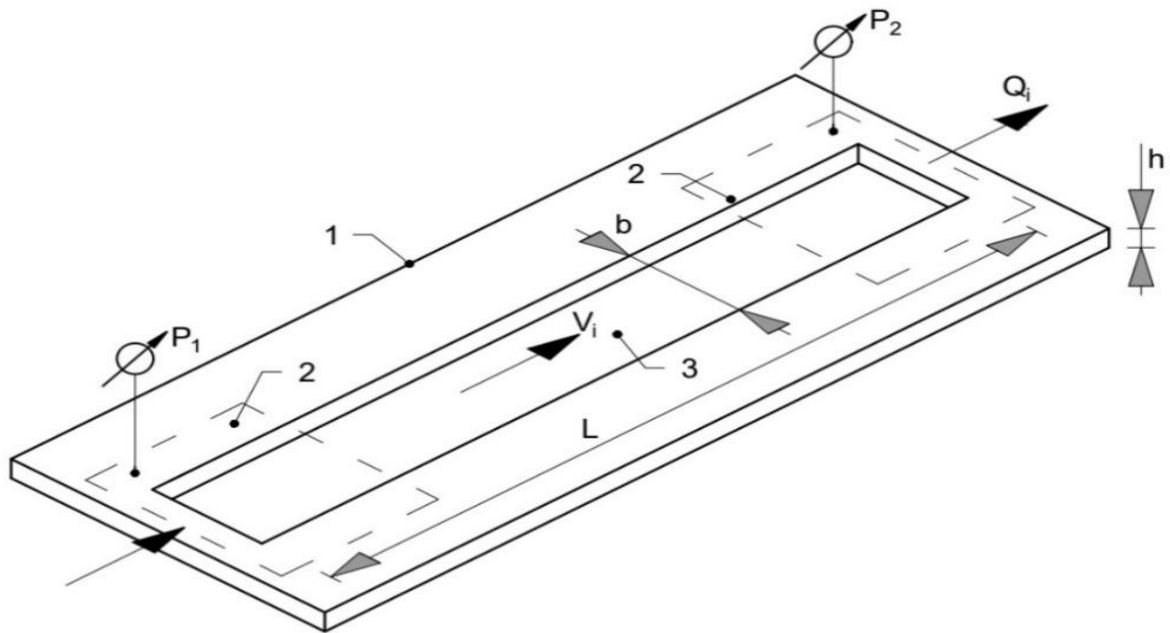


Рис. 4.3. Моделі для проведення гідравлічних або теплових досліджень впливу поперечної структури потоків на енергетичні параметри рідини або газів: 1 – струмінь; 2 – колектор підводу та відводу рідини; 3 – канал (проточна частина досліджень руху; P_1 , P_2 – вимір тиску у колекторах; Q_i , V_i – витрати та швидкість рідини у каналі; L – довжина каналу; h – висота каналу (товщина моделі)

Ідея паралельного проведення експериментів була у незалежному виявленні впливу структури потоків на енергетичні параметри руху рідини чи газів. У лабораторії Одеської державної Академії холоду (ОДАХ) у 2002 році було виконано суміщений гідравлічний та тепловий експеримент без акцентів на візуальні дослідження структури потоків [100].

У обох експериментах завдання досліджень були однакові – визначити залежності зміни витрати Q або швидкості потоку V в заданому діапазоні тисків ($P = 5 - 40$ кПа) при дискретній зміні тільки висоти каналу h [мм]. Наглядним показником зміни динамічної складової енергії потоку $D = kV^2 = f(P)$ є коефіцієнт гідравлічного тертя λ . Класичні значення коефіцієнт гідравлічного тертя зручно визначати із наочного графіка Никурадзе, показаному на рис. 1.6.

Шорсткість поверхні каналів під час проведення експериментів не змінювалася. Тому для ламінарного режиму перебігу експериментальні результати залежності коефіцієнта тертя від числа Рейнольдса потрібно порівнювати з лінією, яка розраховується за формулою Пуазейля $\lambda = 64/Re$; для турбулентного режиму при числах $Re > 5000$ результати потрібно порівнювати з лінією, яка розраховується за формулою Блазіуса $\lambda = 0,3164/ Re^{0.25}$. На рис. 4.4 і рис. 4.5 показані результати двох гідравлічних експериментів у двох різних лабораторіях з метою дослідження залежності коефіцієнта гідравлічного тертя λ від числа Рейнольдса при різних дійсних значеннях висоти каналу h , яка змінювалась дискретно в діапазоні $h = 0,4 \div 2,9$ мм. В експерименті ОДАХ не було прив'язки до закономірностей до структури потоків рис. 4.4.

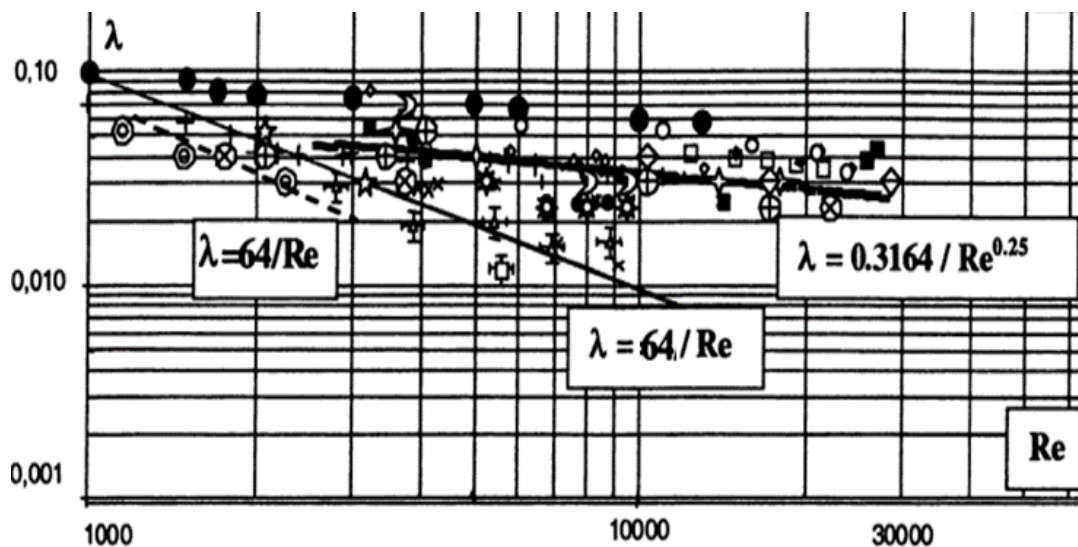


Рис. 4.4. Результати експерименту ОДАХ – залежність коефіцієнта гідравлічного тертя $\lambda = f(Re)$ при співставленні з відомими даними

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що з розміру каналу $d = 0,9$ (точка) значення стійке перебувають вище лінії Пуазейля і лінії Блазіуса на 15 – 20 % у діапазоні чисел Рейнольдса = 1500 – 14000. Для розмірів $d = 1,3$ (точки) значення нижче за теоретичні лінії на 5 – 15%. Необхідно відзначити широкий

діапазон експериментальних відхилень у зоні переходу від ламінарного режиму до турбулентного ($Re = 2000 - 4000$). Тобто, діапазон розподілу точок відносно отриманої реальної залежності експериментів у ОДАХ не перевищувала 5%, але реальні данні λ_p і теоретичні значення λ_m , розраховані за допомогою відомих формул Пуазейля і Блазіуса мають відхилення більш $\pm 15\%$. Це робить область невизначеності – (діапазону відхилень значень реальних параметрів від відомих теоретично розрахованих) більш 30% [14]. Такі результати цілком відповідають парадигмі хаосу турбулентних потоків та методиці чисельного опосередкування параметрів руху рідини або газів. Представлений експеримент ОДАХ був основою комплексного сумісного дослідження руху рідини (гідравлічний), а також процесів переносу теплоти (див. п. 4.3).

В Одеській державній академії будівництва та архітектури (ОДАБА) виконувався тільки гідравлічний експеримент, але з чіткою прив'язкою до результатів виявленої організації структури потоків рідини (рис. 1,2) [101]. На рис.4.5 наведено лінії залежності коефіцієнту гідравлічного тертя у діапазоні чисел Рейнольдсу = 1200 – 4800 при різних значеннях висоти каналів h при різних значеннях висоти $h = (0,4 - 2,55)$ мм, які позначені на рисунку 4.5.

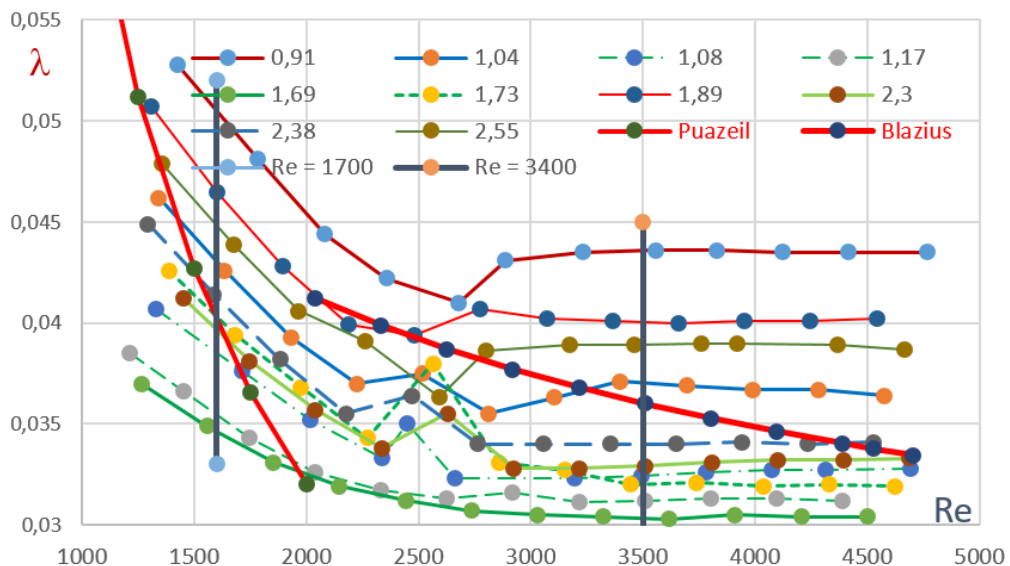


Рис. 4.5. Залежність коефіцієнту гідравлічного тертя λ від числа Рейнольдса при русі води в щілинних каналах

Так як на рис. 4.4 реальні значення мають стале відхилення від теоретичних ліній Пуазейля і Блазіуса. Але отримано залежності свідчать, що у зоні невизначеності виявлена структурна організація потоків, яку можна враховувати при виборі поперечних розмірів каналів, або товщини металу турбулізаторів, товщини слоїв термоізоляції тощо. В експерименті ОДАБА вибиралися значення висоти каналів h_i , які дозволили виявити відповідність розмірів шарів на візуальних картинах хвильового характеру зміни динамічної складової енергії потоку $\mathcal{D} = k\Delta V^2 = f(h)$ при лінійній зміні висоти каналу h (рис. 4.7) при заданих числах Рейнольдса $Re_1 = 1700$ (ламінальний режим течії) і $Re_2 = 3500$ (турбулентний режим течії).

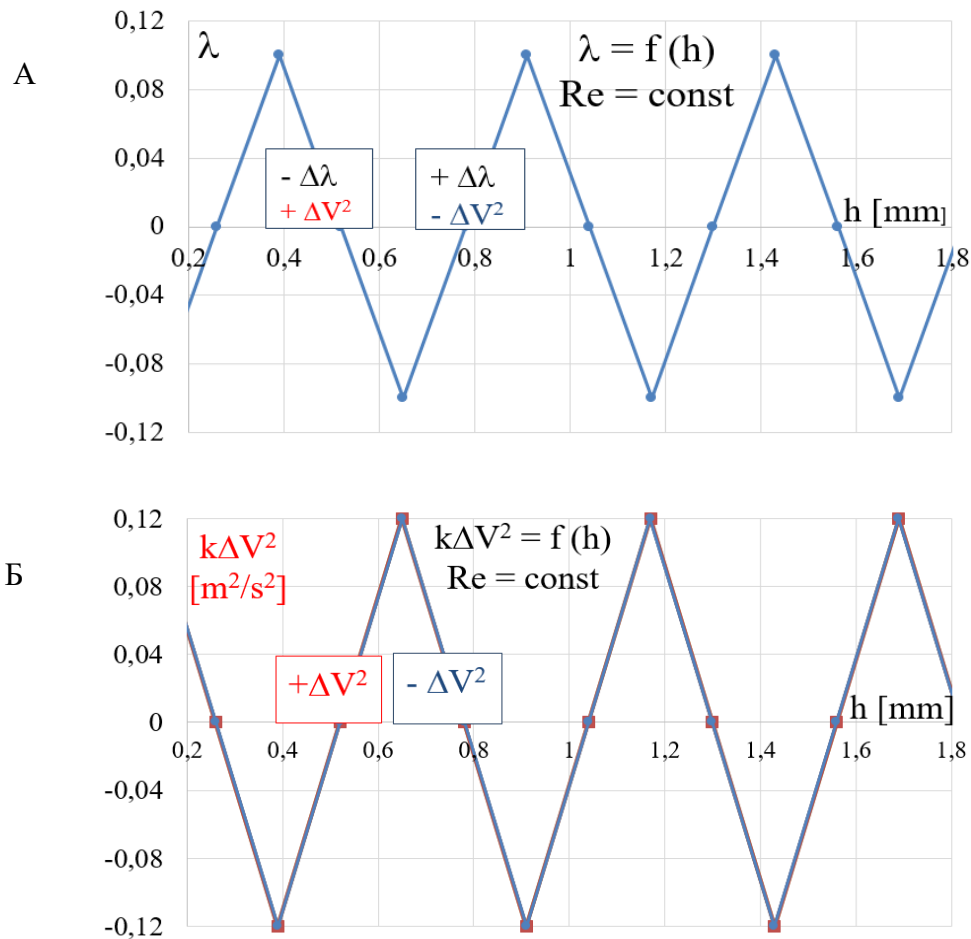


Рис. 4.6. Зміна коефіцієнта гідравлічного тертя та динамічної складової енергії потоку при лінійній зміні висоти каналів при $Re = 1700$: а – залежність $\lambda = f(h)$ при $Re = 1700$; б – залежність $k\Delta V^2 = f(h)$ при $Re = 1700$

Для отримання залежності тертя від розмірів каналу можна умовно провести вертикальну лінію для числа Рейнольдса $Re = 1700$, тоді для поперечного розміру $h = 0,9$ мм коефіцієнт гідравлічного тертя дорівнює $\lambda = 0,09$, а при $h = 1,3$ мм коефіцієнт тертя відрізняється в 3 рази та дорівнює $\lambda = 0,03$. Такий самий діапазон зміни коефіцієнта гідравлічного тертя зберігається, якщо вертикальну лінію провести числа Рейнольдса $Re = 3500$.

Тобто, при лінійній зміні розмірів проточної частини реальна швидкість змінюється з урахуванням хвильового характеру зміни динамічної складової енергії потоку $D = kV^2$.

4.2. Вплив поперечної структури потоків на коефіцієнт тепловіддачі

Завдання усунення проблеми невизначеності показників перенесення теплоти в каналах щілинних розмірів має особливу актуальність для поліпшення роботи теплообмінних апаратів котлів, систем кліматизації тощо. Головною метою досліджень у лабораторії ОДАХ у 2002 році був експеримент з визначення коефіцієнта тепловіддачі в щілинних каналах із дискретною зміною висоти в діапазоні $h = 0,4-2,5$ мм [100].

Тепловий потік Q у каналах визначався електричною потужністю $Q \Rightarrow N_{el} = U \cdot I$ [Вт] з одностороннім підведенням тепла в щілинних каналах. Величина питомого теплового потоку змінювалася в експериментах до величини 200Вт. Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі розраховувався за формулою (4.1):

$$\alpha = N_{el} / [S (t_{cm} - t_p)], \quad (4.1)$$

де N_{el} – потужність електор нагрівального елемента; S – площа області нагріву;

$t_{cm} - t_p$ – температура стінки та рідини, які вимірено в експерименті.

При дослідженні гідравлічних характеристик і теплообміну в плоских каналах число Рейнольдса змінювалося від 2000 до 28000. Питомі теплові потоки, створені поверхні робочої ділянки варіювалися від 10 до 100 кВт/м².

У ході проведення кожного з дослідів величина витрати вимірювалася об'ємним методом і змінювалася не більше, ніж на 1%, тепловий потік до 0,5%, а зміна температури протягом експерименту не перевищувала 2°C. Для усунення шкідливого впливу інерції установки вимірювання проводилися до тих пір, поки температури до і після робочої ділянки не встановлювалися на постійному рівні. При зміні температури більш ніж на 2°C установка розхолоджувалася.

Експерименти виконувались на спеціальному стенді, схема якого представлена на рис. 4.7.

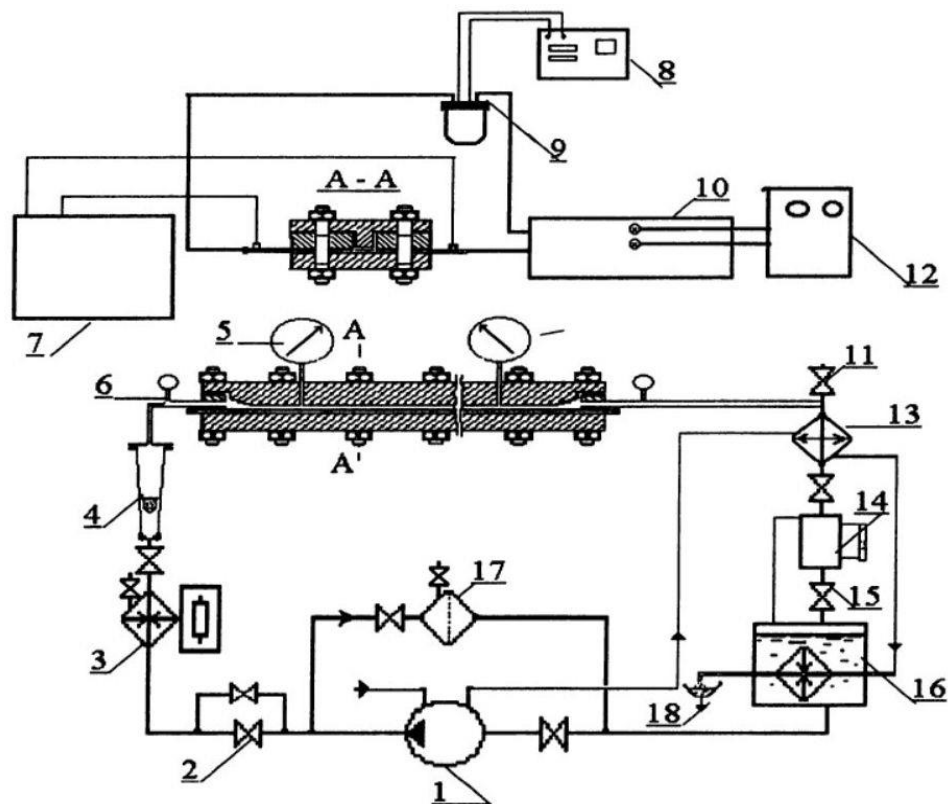


Рис. 4.7. Принципова пневмо - гідравлічна схема експериментального стенду:
 1 - відцентровий насос; 2 - регулюючий вентиль; 3 - електричний підігрівач; 4 - ротаметр; 5 - манометр зразковий; 6 - термопара; 7 - компаратор напруги; 8 - цифровий мілівольтметр; 9 - зразкова котушка опору; 10 - джерело стабілізованого харчування; 11 - вентиль - повітряний; 12 - автотрансформатор; 13 - теплообмінник; 14 - об'ємний витратомір; 15 - відсічний вентиль; 16 ресивер; 17 - фільтр; 18 - дренаж

В якості визначального розміру щілинного каналу приймався еквівалентний діаметр, розрахований за формулою $d_{екв} = 4S/R_{зм}$, де S – площа живого перерізу каналу; $R_{зм}$ – його змочений периметр. Характеристики представлені для дискретних величин висоти каналу $h = \delta$ [мм]. У представленому експерименті відносна похибка визначення питомого теплового потоку становила 0,58%, максимальна відносна похибка визначення температурного напору (при $\Delta T = 5$ °C) становить 9%, що у відносній похибки коефіцієнта тепловіддачі не перевищує 14%. Аналіз залежності $\alpha = f(P)$ у каналах з висотою $h = 0,4 - 1,6$ мм на рис. 4.9 і 4.10 показує, що з експериментальних даних середніх значень коефіцієнтів тепловіддачі можна зробити висновок про те, що темп збільшення коефіцієнта тепловіддачі в діапазоні $h = 0,4-0,65$ мм і $h = 0,9-1,17$ мм (зони позитивних динамічних компонент) більше, ніж у діапазоні $h = (0,65-0,9)$ мм та $h = (1,17-1,45)$ мм (зони негативних динамічних компонент). На рис. 4.9 представлені графіки за результатами обробки дослідних даних експериментів з щілинними каналами зі статті [100].

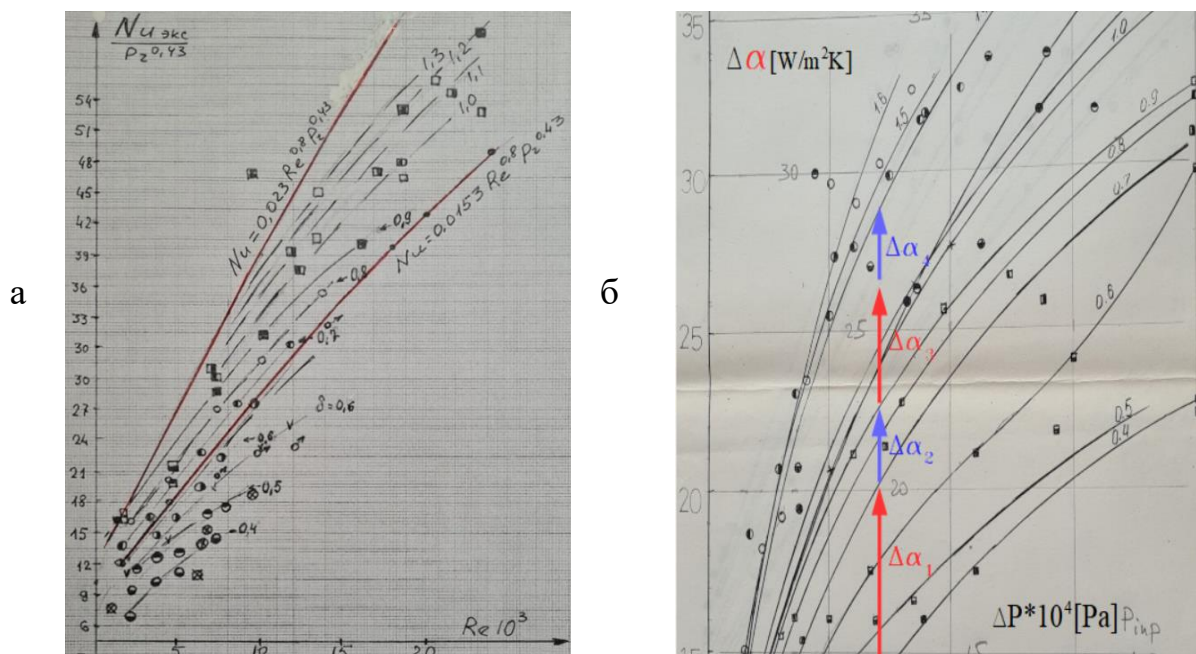


Рис. 4.8. Характеристики процесів перенесення тепла у щілинних каналах:

а – залежність $Nu = f(Re)$ у каналах з висотою $h = 0,4-1,3$ мм;

б – залежність $\alpha = f(P)$ у каналах з висотою $h = 0,4-1,6$ мм

За визначальну температуру приймалася середня по каналу температура рідини. Вплив змінності фізичних властивостей рідини на інтенсивність тепловіддачі враховувалося за допомогою поправки $(Pr_p/Pr_{cm})^{0,25}$ у межах всіх серій дослідів, проведених на щілинних каналах, її величина набула значення від 1,0 до 1,2 [102, 103]. Автори експерименту в ОДАХ зазначили, що характер зміни чисел Нуссельта від числа Рейнольдса (рис. 4.8 а) дозволяє зробити висновок про те, що в закономірностях теплообміну для каналів щілинних розмірів менше 0,8 мм спостерігається суттєве відхилення від відомої залежності М. А. Михеєва [104, 105].

Зіставлення результатів гідравлічного та теплового експерименту показує ознаки впливу структури потоків (хвильовий та дискретний характер розподілу динамічних компонентів енергії в потоці рідини) на гідравлічні та теплові параметри потоків (рис. 4.9).

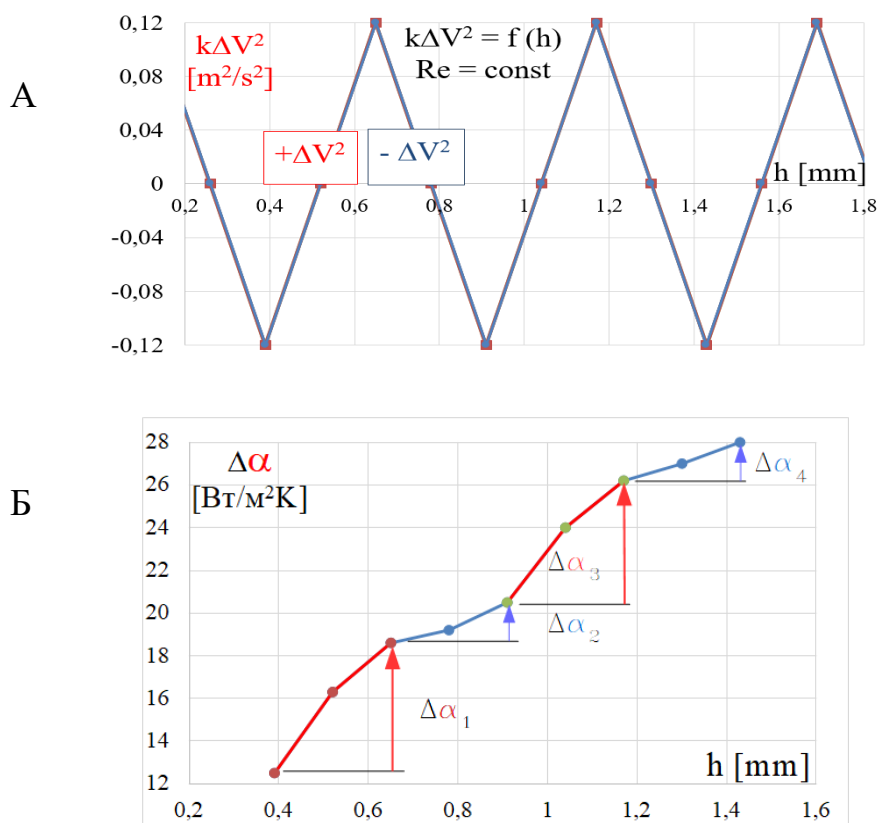


Рис. 4.9. Залежності зміни динамічної компоненти енергії руху потоку та коефіцієнтів тепловіддачі при зміні розмірів каналів: а – $k\Delta V^2 = f(h)$ при $Re = 1700 = \text{const}$; б – $\alpha = f(h)$ при $P = 12 \text{ кПа} = \text{const}$

Причому традиційно для розрахунків та подання характеристик використовують коефіцієнти опорів (коефіцієнт гідравлічного тертя – λ), а для теплових процесів використовують пряму пропорційність – коефіцієнти тепловіддачі α . Для газотрубних котлів отримані результати можна використовувати для розробки пристроїв інтенсифікації тепловіддачі на межі «газ – металева стінка» [106]. Результати показують діапазон поперечних розмірів каналів, де коефіцієнт тепловіддачі має високі значення, при цьому опори каналів матимуть мінімальні значення.

4.3. Епюри розподілу реальних швидкостей потоків

Результати виявлення та аналізу закономірностей самоорганізації структури потоків, отримані візуальними методами, можна використовувати визначення і подальшого формування розмірів каналів з позитивними чи дисипативними змінами параметрів енергетичних процесів. Тобто, в процесі проектування обладнання та систем життєзабезпечення житлових комплексів після визначення попередніх розмірів каналів, розрахованих за відомими формулами, можна виконати розрахунки, що уточнюють ці розміри для поліпшення співвідношення енергетичних параметрів процесів руху і перенесення тепла. Це дозволяє використовувати знання про розміри шарів структурної самоорганізації потоку. Поки що відомі розміри структур для щільних каналів, які можна використовувати при розмірах не більше $b = 5\text{мм}$. Для інших великих розмірів необхідні додаткові візуальні дослідження потоків. Додаткові розрахунки, що уточнюють вибір поперечних розмірів каналу b можуть формувати енергетичні параметри руху та перенесення тепла з коефіцієнтами, що забезпечують необхідні показники якості проєктованих систем або обладнання.

4.3.1 Кінематична модель потоків

Для розробки формул уточнюючих розрахунків розмірів поперечних перерізів каналів можна використовувати модель Рейнольдса

опосередкування швидкостей, в якій реальна швидкість у кожній точці потоку представляють у вигляді двох складових (4.2):

$$\vec{w}_i = \vec{v} + \vec{u}_i, \quad (4.2)$$

де \vec{w}_i – реальна швидкість у кожній точці потоку;

\vec{v} – середня швидкість потоку рідини або газів;

\vec{u}_i – пульсаційні компоненти швидкостей потоку.

Вже розроблено графічне уявлення двох компонентів реальної кінематичної картини перебігу рідини в каналі за координатами поперечних перерізів на основі векторної моделі Фейнмана [74]. На рис. 4.10 показаний зріз частини потоку в перерізах z , x де розмір h висоти каналу відповідає одному періоду хвильового характеру зміни пульсаційної складової швидкості \vec{u}_i з векторним поданням швидкостей, а також поєднання векторів швидкостей в точках 1 - 9.

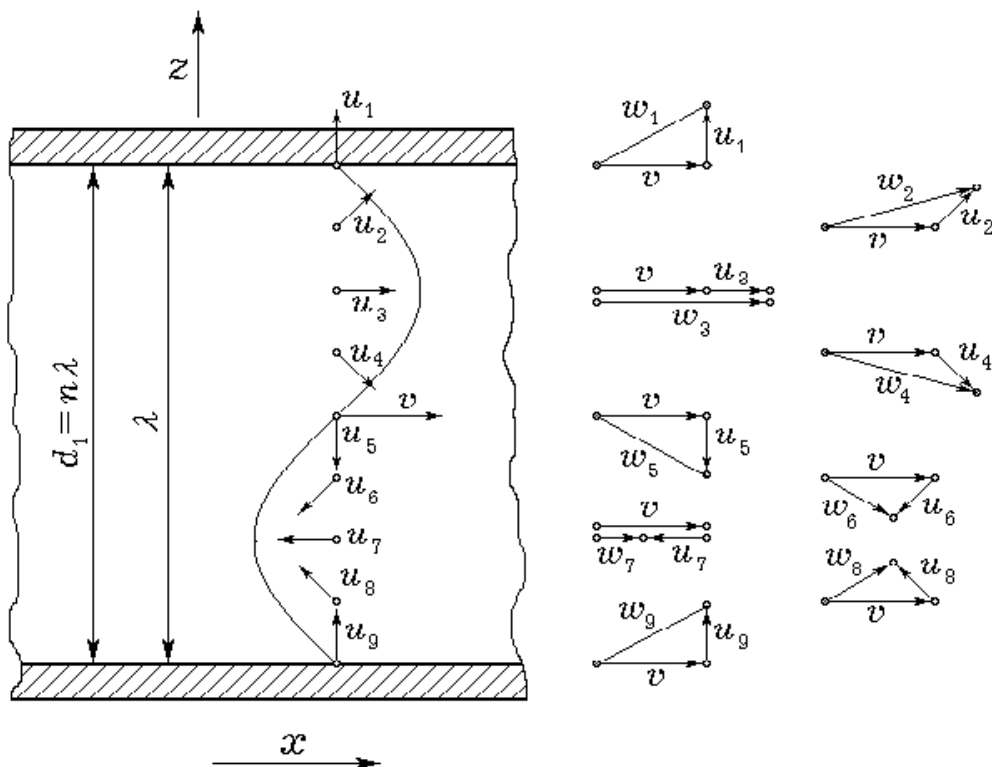


Рис. 4.10. Кінематична картина течії у поперечному перерізі потоку:
 а - поперечний переріз із векторним поданням компонент швидкостей;
 б - поєднання векторів опосередкованої та пульсаційних швидкостей

У цій моделі фрагмент поперечного перерізу представляє кінематичну картину суми двох компонентів швидкості без урахування взаємодії зі стінкою каналу [107]. Якщо в поперечному перерізі каналу по обраній координаті z розташоване кратне число довжин хвиль λ , то внесок пульсаційних компонент швидкості \bar{u}_i в загальній кінематичній картині дорівнює нулю і реальна швидкість дорівнюватиме середньому значенню.(4.3):

$$b = n\bar{\lambda}, \quad (4.3)$$

де n - кількість кількості хвиль, розташованих у перерізі каналу.

На основі моделей опосередкування параметрів потоків, досліджених у розділі 1 та розділі 2 опору - коефіцієнти гідравлічного тертя, розраховані за відомими формулами Пуазейля або Блазіуса, використовуються при проектуванні обладнання. Таку кінематичну ситуацію можна вважати "режимом середньої швидкості". Для наочності уявлення кінематичної картини на рис. 4.11 показані візуальна картина структури струменя, а також графік – епюра розподілу інтенсивності сірого у поперечному перерізі.

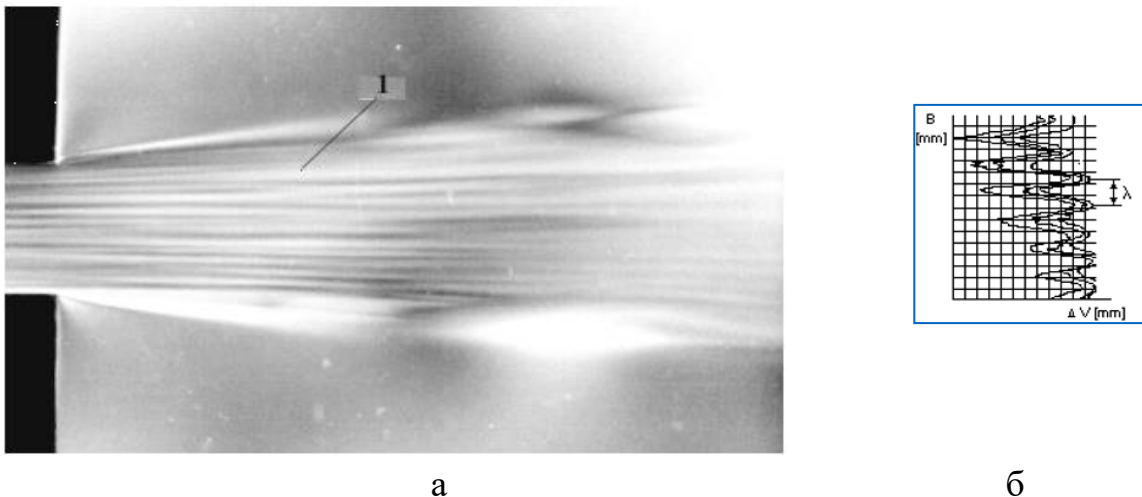


Рис. 4.11. Методика аналізу самоорганізації структури струменя:

а – візуальна картина структури струменя;

б – епюра розподілу інтенсивності сірого у поперечному перерізі

На основі епюри середніх величин швидкості можна додати пульсаційні компоненти швидкості з урахуванням результатів візуальної діагностики структури потоків. Можна вважати, що в світлих областях – шарах напрямом

пульсаційних компонентів швидкості збігаються з напрямком реальної швидкості руху. А в темних шарах, навпаки, спрямовані на зустріч потоку і відповідно зменшують величину реальної швидкості (рис. 4.12.б). Поєднання відомої епюри середніх значень швидкості з епюром пульсаційних швидкостей може формувати модель епюри реальних швидкостей у поперечному перерізі потоку (рис. 4.12.в).

Отримані показники розподілу інтенсивності освітленості у поперечному перерізі струменя можна використовувати для вдосконалення моделі зосередження швидкості (рис. 4.12).

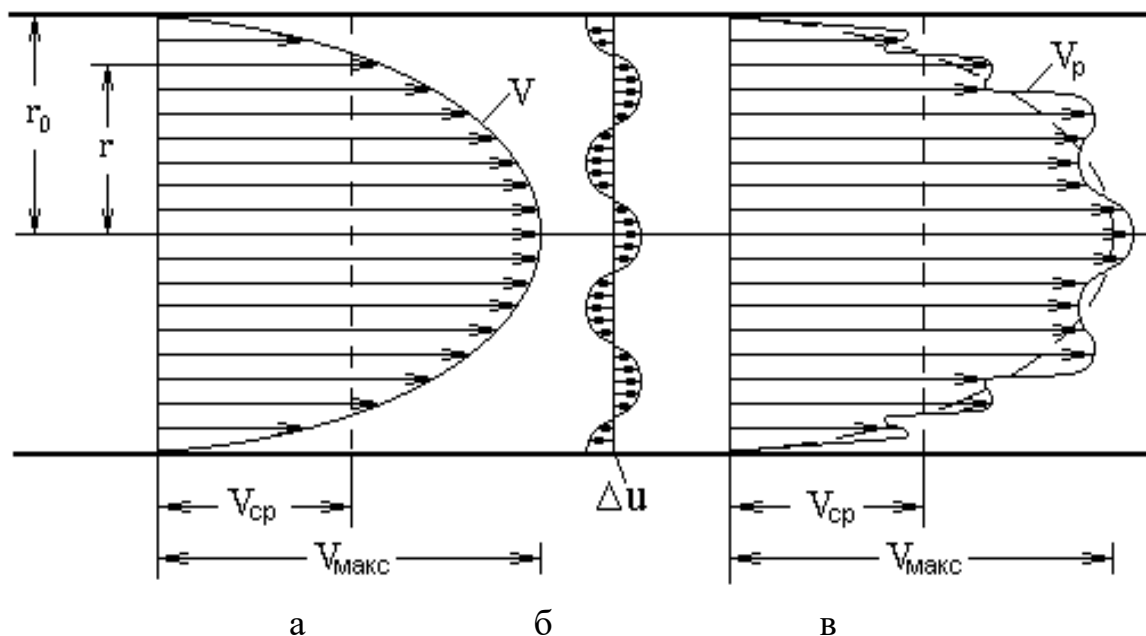


Рис. 4.12 Модель епюри векторного уявлення реальних значень швидкостей у поперечному перерізі ламінарного потоку:

- а – еюра середніх величин швидкості;
- б – еюра пульсаційних величин швидкості;
- в – еюра реальних величин швидкості з урахуванням середніх та пульсаційних складових

На рис. 4.13 показано зображення структури струменя, в якій початкова ділянка має ламінарний режим течії, а в середній частині можна аналізувати перехід структури турбулентний режим.

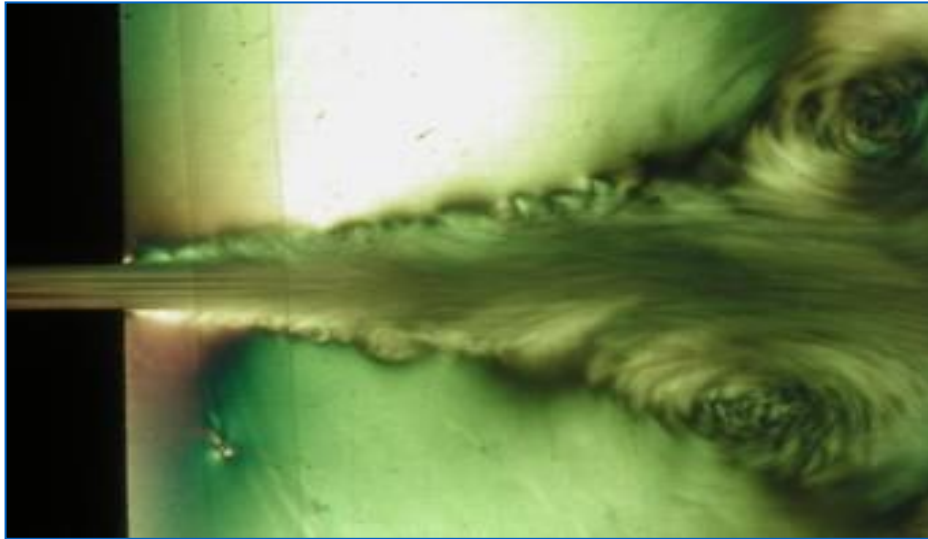


Рис. 4.13. Зображення структури струменя, де можна аналізувати процеси за зміною режиму течії

Результати досліджень на графіках рис 4.5 і рис. 4.10 ОДАХ [100] та рис. 4.6 ОДАБА [84, 108] показали, що вплив структури потоків на відхилення реальних параметрів потоків від середніх значень є однаковим як у ламінарному, так і турбулентному режимах. Спільні візуальні, гідравлічні та теплові дослідження показали комплекс експериментів, що дозволяють вирішити проблему невизначеності у розрахунках енергетичних параметрів руху потоків та перенесення теплоти.

4.3.2. Коригування структури потоків для формування необхідних проявів пульсаційних компонентів швидкості

При відхиленні геометричних розмірів поперечного перерізу від величини, кратної довжині хвилі λ , виникають позитивні чи деструктивні прояви пульсаційних компонентів швидкості. Позитивну різницю між лінійним розміром каналу b досліджуваного поперечного перерізу і величиною, кратної довжині хвилі $n \cdot \bar{\lambda}$, можна назвати " Δ - перетином" і можна визначити за формулою (4.4):

$$\Delta = b - n \cdot \bar{\lambda}. \quad (4.4)$$

Існує велика кількість технічних завдань, в яких необхідно отримати

найбільшу величину опору при русі рідин, тобто мати максимальний рівень дисипації енергії (розміри ізоляції, ущільнень. На рис. 4.14 показана кінематична ситуація в каналі, розмір b якого по координаті z відрізняється від кратної величини довжині хвилі три чверті повного періоду довжини хвилі, тобто “ Δ – перетин” дорівнює $\Delta = (3/4)\bar{\lambda}$.

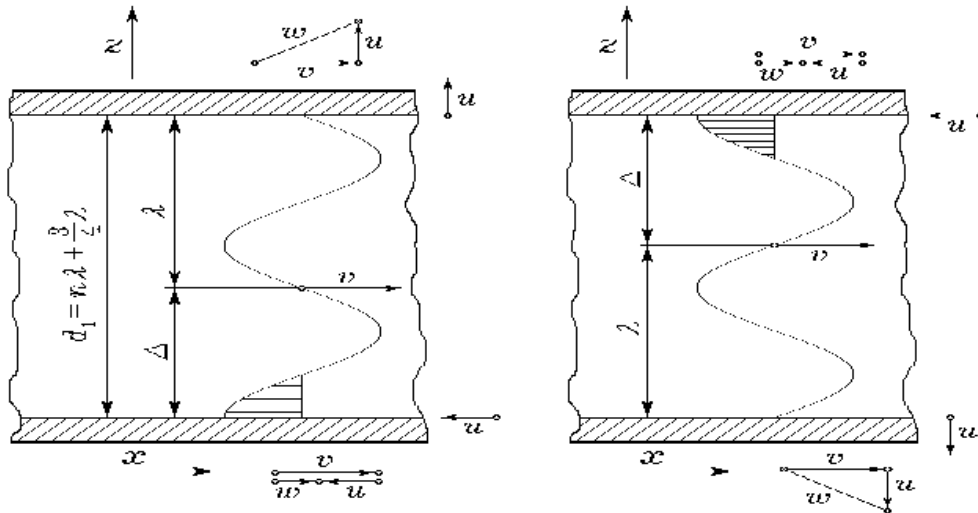


Рис. 4.14. Кінематична картина у каналі з максимальним опором:

- а – кінематична ситуація середньої швидкості у верхньої стінки та дисипативний прояв у нижньої стінки;
- б – кінематична ситуація з дисипативним проявом у верхній стінці та режимом середньої швидкості у нижній стінки

У точці дисипативних проявів у стінки на рис. 4.14 кут між пульсаційної компоненти швидкості та вектором посередньої швидкості становить 180° , тобто вектори цих швидкостей направлені в протилежні сторони, отже, реальна швидкість (витрата) матиме мінімальне значення, а опір максимальну величину. Це підтверджено результатами гідравлічних експериментів. На рис. 3.8, 3.9 було видно, що з розмірах каналу $h = 0.9$ (іншому випадку $h = 1.4$) величина опорів каналів буде на 10 – 15% більше, ніж розрахована за відомими формулами. Формула для уточнення поперечних розмірів, що забезпечують максимальне значення опору, матиме вигляд (4.5):

$$b = n\lambda + 0,75 \lambda . \quad (4.5)$$

Більш поширена ситуація, коли при заданому потенціалі (тиск P або температура t) необхідно забезпечити максимальні значення динамічної складової руху або перенесення теплоти. Для вирішення такого завдання на рис. 4.15 показана кінематична ситуація у каналі, лінійний розмір якого по координаті z відрізняється від величини кратної довжини хвилі $n \cdot \bar{\lambda}$ на чверть повного періоду довжини хвилі, тобто $\Delta = (1/4)\bar{\lambda}$.

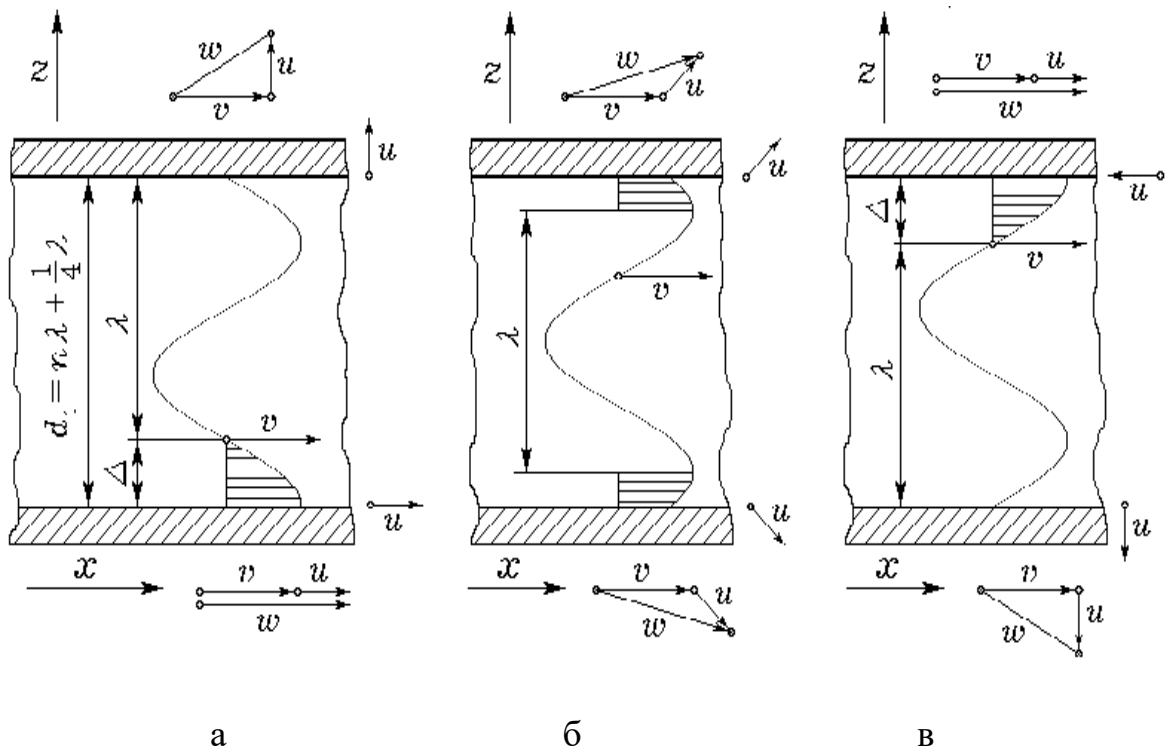


Рис. 4.15. Кінематична картина у поперечному перерізі каналу з максимальною швидкістю при заданій величині тиску:

а, б, в – етапи переходу « Δ -перетину» від однієї стінки к другій

На рис 4.15 а, б показані 3 ситуації, що характеризують перехід « Δ -перетину» від нижньої стінки до верхньої. Можна припустити, що такі переходи можна вважати джерелом пульсацій у стінок каналів, що формує пульсації у прикордонному шарі та всередині потоку. Формула для уточнення поперечних розмірів, що забезпечують максимальне значення опору, матиме вигляд (4.6):

$$b = n\lambda + 0,25 \lambda . \quad (4.6)$$

Аналіз результатів на графіках залежності $\lambda = f(Re; h)$ на рис показує, що використання позитивної складової компоненти швидкості відповідно до формули забезпечує максимальну швидкість i , відповідно, максимальну витрату при заданому тиску в каналі. Характер цієї залежності свідчить і мінімальному рівні пульсацій у потоці, оскільки немає напрями векторів пульсаційної швидкості збігаються, а також немає характерної зміни коефіцієнта опорів у зоні переходу від ламінарного потоку до турбулентного.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Отримані результати дозволяють при проєктуванні енергетичного обладнання вибирати поперечний розмір каналів ні кратний метричної системи, а за уточнюючими формулами, які враховують природні властивості самоорганізації структури потоків. Це дозволяє збільшити перенос теплоти без збільшення витрат на процеси руху газів.

2. Процес проєктування обладнання та систем життєзабезпечення житлових комплексів може складатися із двох етапів. Спочатку визначаються попередні розміри каналів, розрахованих за відомими формулами. Після цього можна здійснити уточнюючі розрахунки з використанням формул 4.2 – 4.6.

3. Два етапи розрахунків дають можливість усунути проблему невизначеності розрахунків енергетичних параметрів потоків за рахунок використання знань про розміри шарів структурної самоорганізації потоку. Проєктування бажано виконувати з використанням візуалізації структури потоків у проточних частинах обладнання.

РОЗДІЛ 5

КОРИГУВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ

Опалення житлового комплексу забезпечує, як правило, дві котельні з водотрубними котлами великої потужності. Останні десятиліття в комплексах віддавали перевагу водотрубним котлам великої потужності для спрощення обслуговування та забезпечення високої ефективності роботи. Але в разі аварій або руйнування потрібен довгий час на відновлення роботи. Для швидкого відновлення роботи систем теплопостачання більш вигідним та зручним виявилися газотрубні котли середньої потужності.

Одним з важливих умов сталого розвитку житлових комплексів є надійне, ефективне і економічне функціонування комунальної енергетики та в першу чергу враховуючи найважливішу потребу цивільного або промислового житла забезпечення комфортних умов життя у спекотний період це робота систем кліматизації, а у зимовий період поліпшення енергетичних показників роботи систем теплопостачання [109, 110]. Для досліджень головним елементом систем в якості прикладу обрано основне обладнання – котли, для яких розраховується показник ефективності або ККД і досі немає показника якості роботи системи теплопостачання. У системі бажано використовувати високоефективне обладнання з метою поліпшення енергетичних а також економічних показників [111 - 115].

Загальні або системні показники якості роботи допоміжного обладнання або систем у цілому розроблені до сїх пір недостатньо. Для подальшого вирішення цієї проблеми у теперішній час у другому розділі розроблено й впроваджено нові графоаналітичні моделі, впровадження яких допоможе наочно обґрунтовувати зміни показників якості роботи різних елементів процесів руху рідини або газів, а також процесів переносу теплоти.

Використання нових моделей можуть сприяти забезпеченню співставних представлень теплових та гідро і аеро процесів, що дозволить

більш наглядно аналізувати данні експлуатації енергетичних систем и забезпечувати поліпшення показників комунальних послуг, які залежать від вибору та оптимізації використання теплових та гідро- і аеродинамічних потенціалів [75].

5.1. Використання поздовжньої структури потоків на розробку геометрії турбулізаторів з інтенсифікації переносу теплоти

Важливе значення для подальшого поліпшення показників роботи енергетичного обладнання повинні мати нові знання організації структури потоків. У четвертому розділі виконано обґрунтування можливості використання поперечних структур потоків у досить малому діапазоні поперечних розмірів каналів $b \leq 5$ мм. Це обмежує можливості використання нових знань о структурної самоорганізації потоків. Особливе значення для удосконалення обладнання може мати використання повздовжніх структур потоків для розробки геометрії турбулізаторів з інтенсифікації переносу теплоти у газотрубних котлів, або обладнанні кліматизації житлових комплексів. Для виявлення повздовжньої структури потоків показано візуальну картину турбулентного режиму руху рідини, що витікає в затоплений простір (рис. 5.1). Інтерес представляє зона утворення локальних світлих дискретних областей – 6 у граничному шарі струменя, що характеризують збільшення динамічної складової енергії потоку, Дискретні структури – 6 виявити досить складно. При цьому вони мають надлишкову динамічну енергію, про що свідчать яскраво світлі області, спрямовані від прикордонного шару до струменю (рис. 5.1).

Аналіз структури свідчить про особливі властивості деформованих середовищ, які характеризують прагнення струменя відновити попередні розміри у стабільній зоні потоку в каналі. Дискретні структури закінчують своє стійке існування на межі затемненій поперечній зоні 8, яку можна вважати кордоном дискретної зони струменя.

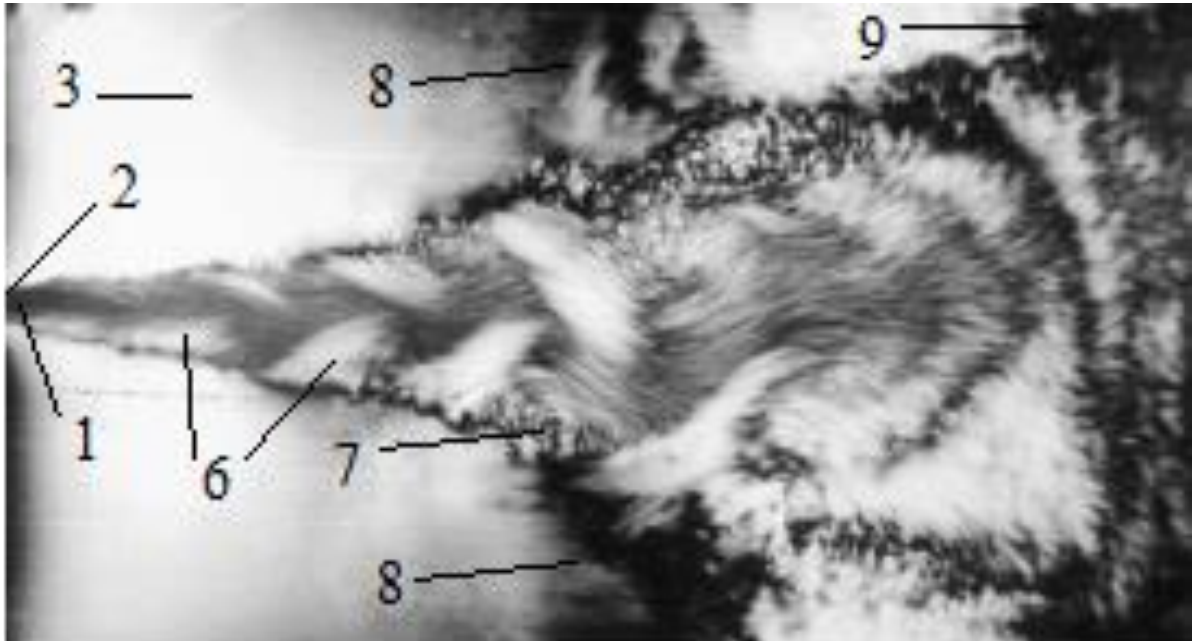
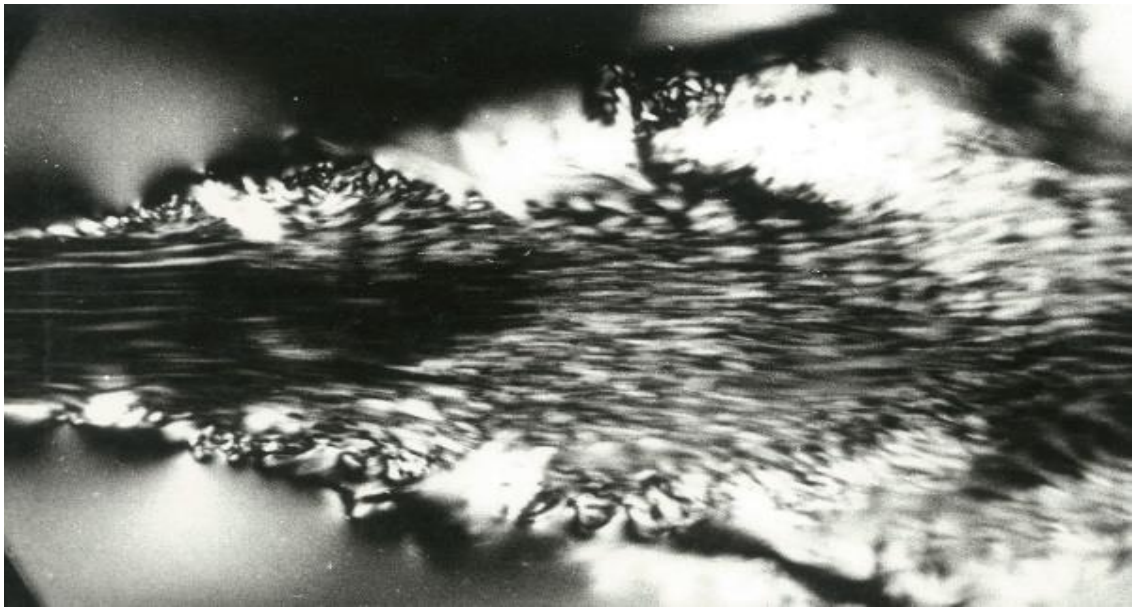


Рис. 5.1. Структура турбулентного струменя у затопленому просторі:
 1 – струмінь; 2 – канал; 3 – затоплений простір; 6 – дискретні структури;
 7 – вихори; 8 – границя зони стійкого існування дискретних структур

Сьогодні більше уваги приділяється вихорам - 7. Проте слід зазначити, відомим фактом можна вважати те, що наявність вихорів показує різке збільшення опорів у проточної частині. Дискретні області – 6 важко виявляти у потоках, та їх роль важко переоцінити. Розробку геометрії турбулізаторів для котлів потрібно зв'язувати не з вихорами а в першу чергу з особливістю подовжньої структури. Таке налаштування обладнання може забезпечити суттєво збільшення тепловіддачі на границі газ – метал, при цьому значення помірних гідравлічних опорів може бути досягнуто за рахунок візуальних досліджень та використання поперечних структур. На рис. 5.2 показано структуру турбулентного струменя, а також геометричні параметри турбулізатора котла *Колві*.

А



Б

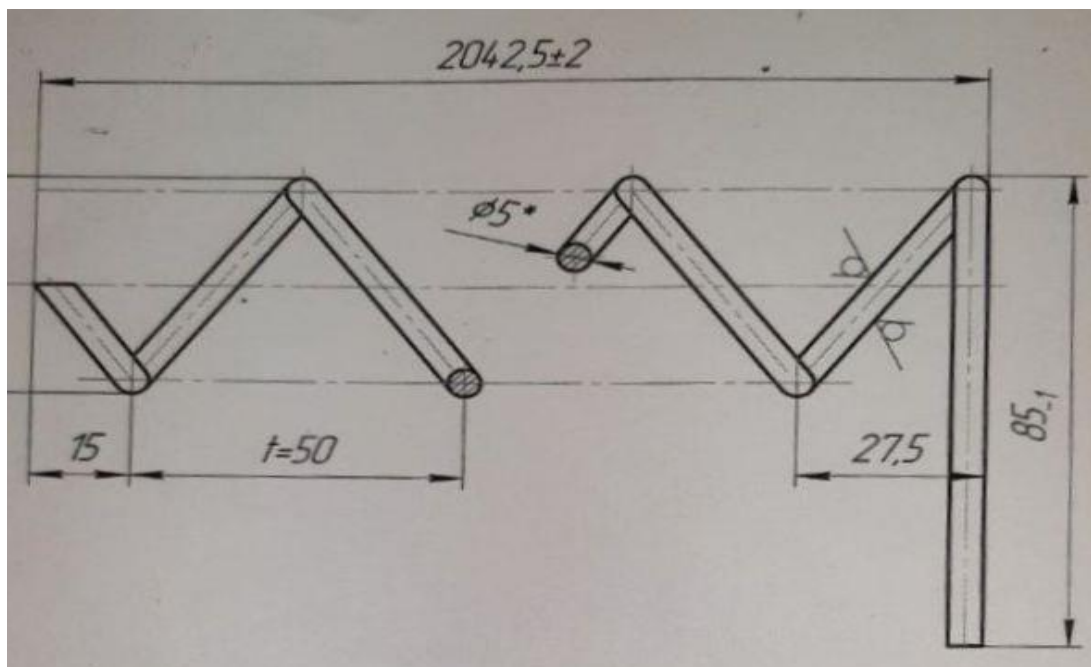


Рис. 5.2. Інформація для розробки геометрії турбулізатора котла:
 а – структура турбулентного струменя в затопленому просторі;
 б – геометрія турбулізатора котла *Колві*

Наукова гіпотеза розробки геометрії турбулізатора полягає в тому, що розміри осередків турбулізатора повинні збігатися з місцями виникнення та сталого розміщення дискретних структур. Кут нахилу має бути близько 60° , що відповідає куту розміщення поздовжніх структур в області прикордонного

шару струменя. Використання дискретних структур вже можна побачити при форсажі літаків і злеті ракет, що за опублікованими даними збільшує їх швидкісні властивості біль 30%. Проведені дослідження дали можливість виявити структури потоків та використати їх властивості при проєктуванні енергетичного обладнання житлових комплексів. Головне при цьому перейти від осереднених параметрів та кратності метричній системи розмірів каналів до використання виявлених поперечних і повздовжніх структур потоків з метою налаштування відповідних розмірів каналів. Такий процес проєктування можна сформулювати як коригування структури потоків за рахунок зміни геометрії проточних частин.

5.2. Реконструкція аеросистеми на основі візуалізації структури потоків

Випробування газотрубного котла *Колві*, в якому досліджувалися зміна енергетичних параметрів двох варіантів експлуатації: 1 варіант – без турбулізаторів у газових трубах та 2 варіант – із встановленням стрічки для інтенсифікації теплообміну, де використані розміри турбулізатора з урахуванням повздовжніх структур. Основним напрямком поліпшення якості роботи котла було використання вставки турбулізатора. Для співставлення буди проведені випробування котла без турбулізаторів 27.11. 2023р і після встановлення вставки – турбулізаторів у кожній трубі 01.12. 2023. Результати випробувань котла *Колві-200* отримано за допомогою прибору «testo 330-2 LL». Установка турбулізатора у трубі з димовими газами дозволила збільшити ефективність котла від $\eta_{к.1} = 0,84$, по що свідчить температура відхідних димових газів = 339 С°, до значення $\eta_{к.2} = 0,92$, коли температуру у вихідному колекторі димових газів було зменшено до = 172,8 С°. При цьому витрати енергії на роботу вентилятора не фіксувалися, тому що зміни були незначні, що представлено на рис 5.3.

27.11.2023

testo 330-2 LL
V2.23 02674637/

SERVEO

12.11.2023 16:54:

Топливо: Пр. Га
O2 норм. 3.0
CO2Max: 11.9

Дым. Газы

21.7 °C	Окруж. темп
<u>339.0 °C</u>	Темп. ДГ
9.01 %	CO2
1.32	Альфа
5.1 %	O2
20 ppm	CO
62 ppm	NO
26 ppm	CO неразб.
65 ppm	NOx
5.0 %	Коеф. NO2до
84.0 %	уКПД
<u>84.0 %</u>	рКПД
<u>16.0 %</u>	qAnet

1.12.23

max

testo 330-2 LL
V2.23 02674637/

SERVEO

01.12.2023 19:00:

Топливо: Пр. Га
O2 норм. 3.0
CO2Max: 11.9

Дым. Газы

24.6 °C	Окруж. темп
<u>172.8 °C</u>	Темп. ДГ
<u>5.58 %</u>	CO2
1.24	Альфа
4.1 %	O2
0 ppm	CO
58 ppm	NO
0 ppm	CO неразб.
61 ppm	NOx
5.0 %	Коеф. NO2до
92.9 %	уКПД
<u>92.9 %</u>	рКПД

Рис. 5.3. Підвищення ККД котла за рахунок збільшення переносу теплоти на ділянці газ – стінка з використанням вставки - турбулізатора

Таким чином вдалося виконати наукову гіпотезу роботи – зберегти балансів співвідношення руху газів у котлі при значному збільшенні переносу теплоти на межі димові газів металева стінка.

На підставі результатів удосконалення геометрії повороту потоку 180° (розділ 3), а також вибору розмірів турбулізатора димових газів (розділ 5) розроблено зміни у конструкції ГТК. Головною метою коригування аеродинаміки газових потоків було збереження аеро- та теплових балансів котла. Зміни було запропоновано тільки на двох ділянках тракту димових газів, що забезпечило суттєву зміну геометрії від жарової труби до колектору димових газів за котлом. На рис. 5.4 показані зміни «схеми аеросистеми газотрубного котла».

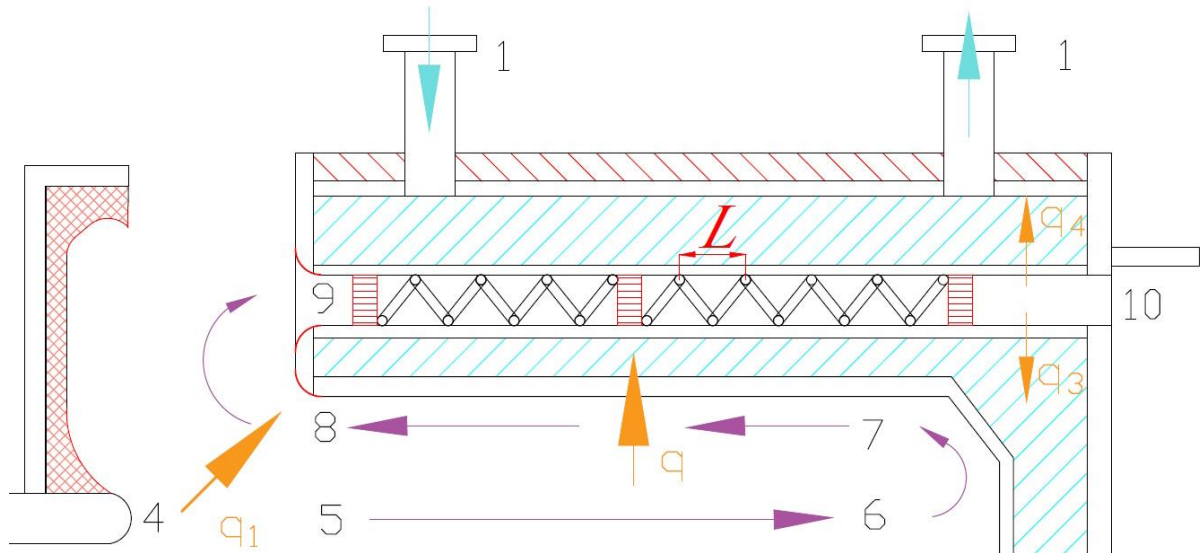


Рис. 5.4. Схема змін у аеросистемі котлів *Колві 200*:

4– 5 - зону горіння; 5 – 8 топковий простір; 8 – 9 поворот гузу; 9 – 10 тракт продуктів горіння в котлі

Зменшення опорів елементів аеросистеми котла дало змогу забезпечити теплові та масообміні баланси при існуючих габаритів газотрубних котлів і поліпшення параметрів роботи. Особливо це стосується ділянок з використанням вставок задля інтенсифікації переносу тепла у низько температурної зони. Ці зміни конструкції котлів доцільно виконувати на основі коригування проточних частин з метою поліпшення структури потоків димових газів і відповідно зниження аеродинамічних опорів окремих допоміжних елементів аеро системи котла. Удосконалення проточних частин передбачає використання додаткового етапу проектування - візуальну діагностику структури потоків, яка дозволяє формувати потік димових газів за рахунок коригування геометрії стінок в межах прикордонного шару потоку без відриву потоків від стінок.

5.3. Удосконалення системи тепlopостачання житлового району за рахунок розподільчої генерації

Головною проблемою систем тепlopостачання міст в період катаклізмів є довгий термін відновлення після істотних руйнувань. Наприклад, у м. Харків у 2023 році було пошкоджено 6 великих котлових агрегати системи тепlopостачання [116]. На відновлення обладнання крупної енергетики потрібен досить великий період робіт до кількох тижнів. Але для збереження системи потрібно відновити тепlopостачання не більше, ніж одна добу. Більший термін відсутності теплоносія у системі може привести до руйнувань через замерзання і тривалої відсутності тепlopостачання. Такі наслідки можуть виникати також через аварії або в період природних катаклізмів. Тому, руйнування інфраструктури житлових комплексів у зимовий період потребують оперативного відновлення енергетичних систем. Рішенням такої складної проблеми у Харкові вирішено використанням газотрубних котлів (ГТК). Монтаж ГТК тепловою потужністю 2 – 5МВт виявилось надійним варіантом швидкого відновлення теплової генерації як житлового, так і промислового комплексів.

Швидким та економічним варіантом виготовлення та встановлення обладнання для генерації тепла можна вважати газотрубні котли (рис. 5.5). Відмінності газотрубних котлів від водотрубних згідно з ДБН В.2.5-77:2014 у тому, що конструкція котлів сприяє швидкому виготовленню, що вказує на переваги газотрубних котлів перед водотрубними у таких складних ситуаціях. Використання простих видів сталі, що знижує собівартість виготовлення у поєднанні зі швидким приєднанням до систем тепlopостачання та простотою управління та обслуговування вказує на доцільність створювати паралельно з крупними котлоагрегатами розподільчу систему резервування малих котлів зі змогою швидкого вводу в роботу для забезпечення спроможності роботи у складних умовах різного роду катаклізмів.



Рис. 5.5. Карта розміщень системи теплопостачання у м. Одеса

Для поліпшення показників роботи систем теплопостачання, особливо кінцевих ділянок, є розробки, які допоможуть суттєво збільшити сумарну теплову потужність комунального обладнання зі збільшенням ефективності, екологічності, а також економічних показників [117 - 119].

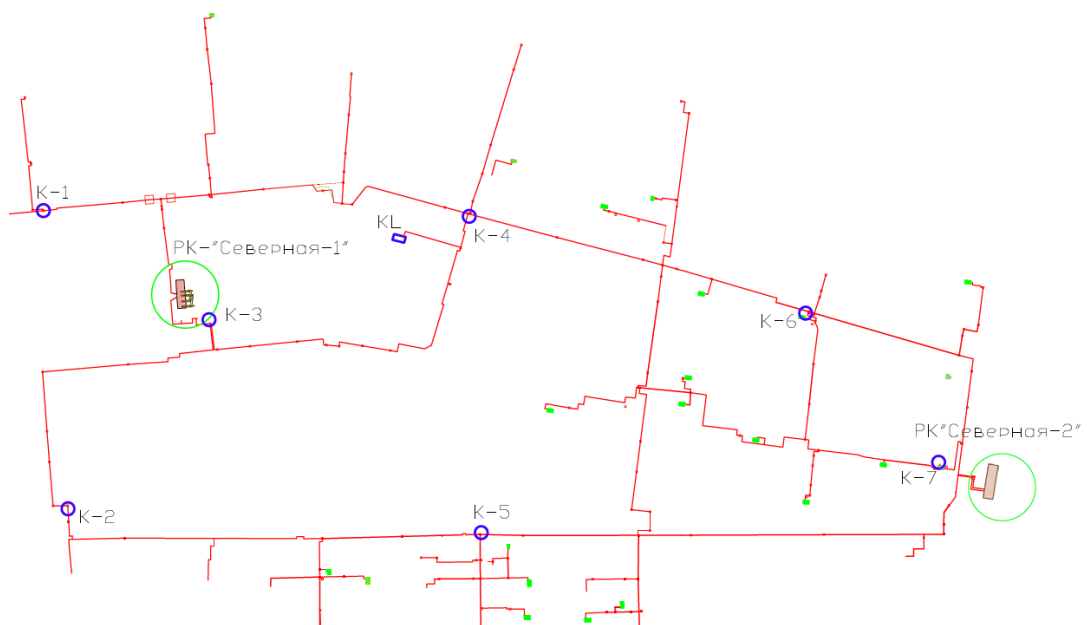


Рис.5.6. Схема розміщень системи теплопостачання у м. Одеса:
К – 1 – 7 Додаткові котли розподільчої системи теплопостачання.

KL – котельня з газотрубними котлами *Lamborghini*

Наявність котлів малої потужності у системі дає змогу працювати опалюванню житлових комплексів весною та восени при помірних температурах, коли крупні котлоагрегати не можуть працювати з технічних та режимних обмежень.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Створення розподіленої генерації електрики та тепла пов'язана з потребою масового відновлення систем забезпечення житлових комплексів теплом в період аварій або катаклізмів. Це робить актуальним удосконалення обладнання простими методами для забезпечення енергетичних показників співставних з ефективністю крупних систем. Для вирішення такої задачі доцільно виконувати проектування інфраструктури житлових комплексів з використовувати додаткових можливостей візуальної діагностиків структури потоків для уточнення розмірів проточних частин обладнання.

2. Аналіз досліджень зі збільшення коефіцієнтів тепловіддачі на межі «газ – металева стінка» показує можливість збільшення перенесення теплоти до 6 разів, проте більшість відомих пропозиції призводять до значного збільшення аероопорів і відповідно суттєвому зростанню витрат енергії на транспорт. Візуалізація потоків з виявленням самоорганізації структури потоків дає корисну інформацію для удосконалення геометрії каналів обладнання. Отримані результати демонструють переваги візуальної інформації про самоорганізацію структури потоків рідин та газів при розробці або вдосконаленні геометрії каналів, яка формує структуру потоків з метою покращення параметрів роботи систем опалення, охолодження, кліматизації.

3. Малі котли використовують прості види сталі, що знижує собівартість виготовлення у поєднанні зі швидким приєднанням до систем тепlopостачання та простотою управління та обслуговування вказує на доцільність створювати паралельно з крупними котлоагрегатами розподільчу систему резервування малих котлів зі змогою швидкого вводу в роботу для забезпечення спроможності роботи у складних умовах катаклізмів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить раніше не захищені наукові положення та одержані автором нові науково-обґрунтовані результати, які полягають в розробці моделей та методів представлення параметрів роботи аеро та теплових процесів для поліпшення параметрів енергетичного обладнання житлових комплексів. Для забезпечення високих показників ефективності використано метод візуалізації потоків рідини та газів для пошуку залежностей геометричних параметрів на зміну енергетичних показників.

1. Покращення показників енергетичних систем житлових комплексів досягнуто за рахунок розробки моделей та методів для наочного аналізу зміни динамічних процесів у рамках одного виду енергії: руху у аеросистемі або теплових процесів, що дозволило прогнозувати потрібні зміни геометричних параметрів каналів.

2. Подальший розвиток візуальних досліджень потоків з виявленням самоорганізації структури потоків дозволив отримати нову корисну інформацію щодо організації гідравлічних та теплових експериментів. Виявлено вплив структурної організації потоків у проточних частинах обладнання на основні енергетичні параметри та коефіцієнти пропорційності у вигляді опорів або динамізму. Отримані результати дозволяють усунути проблему невизначеності при розрахунках енергетичних параметрів переносу теплоти, а також руху рідини або газів. Результати демонструють переваги візуальної інформації при розробці або вдосконаленні геометрії каналів з метою покращення параметрів роботи систем опалення, кліматизації тощо для поліпшення енергетичних показників систем житлових комплексів.

3. Аналіз особливості впливу геометричних параметрів згідно структури потоків дозволив виявити вплив геометричних конструктивних особливостей елементів газотрубних котлів на ефективність його роботи та оптимізувати аеро- та теплових процесів у елементах котлів.

4. Для виявлення особливостей впливу геометричних параметрів згідно структури потоків розроблені графоаналітичні аеромодели процесів руху рідини або газів (опорів або динамізму) у окремих елементах аеросистем котлів.

5. Для виявлення особливостей впливу геометричних параметрів згідно структури потоків розроблені графоаналітичні термомодели процесів переносу теплоти (опорів або динамізму) у окремих елементах аеросистем котлів з показниками якості процесів співставних з термомоделлю.

6. Теоретичне обґрунтовано можливості підвищення продуктивності та ефективності газотрубних котлів за рахунок збільшення якості динамічних процесів руху газів, а також переносу теплоти у окремих елементах котлів. Удосконалення геометрії проточних частин газотрубного котла забезпечує суттєве підвищення потужності з одночасним збільшенням ефективності. Також забезпечується якість теплових і аеропроектів, що можна характеризувати як підвищення динаміки процесів – тобто збільшити динамічну складову швидкості руху робочого середовища при постійному початковому тиску, а також збільшити коефіцієнт тепловіддачі при постійній початковій температурі процесів на досліджуваній ділянці котла. Системний аналіз зміни параметрів роботи тракту дозволяє зробити коректне обґрунтування поліпшення енергетичних показників роботи теплової і аеросистем на окремих ділянках котла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проект плану відновлення України: матеріали робочої групи «Будівництво, містобудування, модернізація міст та регіонів України». *Відновлення України*: веб-сайт. URL: <https://recovery.gov.ua/> (дата звернення 15 січня 2023 року)
2. Комунальна теплоенергетика в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення. *Національна академія наук України*: веб-сайт. URL: https://www.nas.gov.ua/siaz/Ways_of_development_of_Ukrainian_science/article/15046.3.021.pdf (дата звернення 20 лютого 2023 року)
3. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf> (дата звернення 23 лютого 2023 року)
4. Підготовка до проходження опалювального періоду в умовах воєнного стану: матеріали семінару USAID, 12 серпня 2022 р. <https://trkmart.tv/ukrayina-hotuyet-sya-do-prokhodzhennya-opalyuval-noho-periodu-v-umovakh-voennoho-stanu/> (дата звернення 27 березня 2023 року)
5. Розпорядження кабінету міністрів України «Деякі питання стратегічного розвитку енергетичної ефективності будівель» від 29 грудня 2023 р. № 1228-р <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1228-2023-%D1%80#Text> (дата звернення 20 січня 2024 року)
6. Geyets V.M., Kyrylenko O.V., Vasok V.I., Baseyev Ye.T. Energy Strategy: Projections. *Наука та інновації*. 2020. Т. 16, № 1. С. 3—15.
7. Поверхня нагріву котла. Веб-сайт: *Вікіпедія. Вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Поверхня_нагріву_котла (дата звернення 25.03.23)
8. ДБН В.2.5-77:2014 КОТЕЛЬНІ. BOILER INSTALLATIONS від 01.01.2015.

9. Интенсификация теплообмена: Успехи теплопередачи. Т.2 / Ю.В. Вилемас, Г.И. Воронин, Б.В. Дзюбенко и др. / Под. ред. проф. А. А. Жукаускаса и проф. Э. К. Калинина. Вильнюс: Мокслас, 1988. 185с.
10. Nikulin A., Moita A.S., Moreira A.L.N., Murshed S.M.S., Huminic A., Grosu Y., Faik A., Nieto-Maestre J., Khliyeva O. Effect of Al_2O_3 nanoparticles on laminar, transient and turbulent flow of isopropyl alcohol. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. № 130. С. 1032-1044.
11. T. Ji, A.M. Jacobi, Y.L. He, W.Q. Tao. Summary and evaluation on single-phase heat transfer enhancement techniques of liquid laminar and turbulent pipe flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. № 88. С. 735–754.
12. Бонар Л.А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності: автореф. дис к.т.н.: 05.14.06. Вінницький національний технічний університет. Київ, 2010. 21с.
13. Zimparov V.D., Penchev P.J., Meyer J.P. Performance evaluation of tube-in-tube heat exchangers with heat transfer enhancement in the annulus. *Thermal Science*. V. 10. 2006. №1. P. 45-56.
14. R.M. Manglik, A.E. Bergles. Heat transfer and pressure drop correlations for twisted-tape inserts in isothermal tubes: part I—laminar flows. *Journal of Heat Transfer-transactions of The Asme*. 1993. № 115. С. 881–889.
15. R.M. Manglik, A.E. Bergles. Heat transfer and pressure drop correlations for twisted-tape inserts in isothermal tubes: Part II—Transition and turbulent flows. *Journal of Heat Transfer-transactions of The Asme*. 1993. № 115 (4). С. 890–896.
16. S.W. Chang, T.L. Yang, J.S. Liou. Heat transfer and pressure drop in tube with broken twisted tape insert. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2007. № 32 (2). С. 489–501.
17. S.W. Chang, Y.J. Jan, J.S. Liou. Turbulent heat transfer and pressure drop in tube fitted with serrated twisted tape. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007. № 46 (5). С. 506–518.

18. M. Bhuiya, M. Chowdhury, M. Saha, M. Islam. Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2013. № 46. С. 49–57.
19. Harleß, E. Franz, M. Breuer, Experimental investigation of heat transfer and friction characteristic of fully developed gas flow in single-start and threestart corrugated tubes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2016. № 103. С. 538–547.
20. Солодка А.В., Бошкова І.Л., Волгушева Н. В. Дослідження теплообміну між наскрізним потоком газу та щільним шаром гранульованого матеріалу. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2018. Том 25, № 2. С.74 – 80.
21. Boshkova I., Altman E., Mukminov I. Efficiency of use of the submersible heat exchanger in the sulphuric acid chemical reactor with the motionless layer of the catalyst. *Modern technology, materials and design in construction*. 2019. Vol. 25, no. 2. P. 80–85.
22. Lamosa R. A., Motovoy I., Khliyev N., Nikulin A., Khliyeva O., Moita A. S., Krupanek J., Grosu Ya., Zhelezny V., Moreira A. L., Palomo del Barrio E. Tetralin+C60 solutions for thermal management of flat-plate PV/T collector. *Energy Conversion and Management*. 2021. Vol.248. 114799
23. Khliyeva O., Ryabikin S., Lukianov N., Zhelezny V. Experimental study of heat exchange and hydrodynamics at the laminar flow of nanocoolant based on propylene glycol and Al₂O₃ nanoparticles. *Eastern european journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 1/8 (85). P. 4-12.
24. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
25. Сігал О. І. Стан та проблеми комунальної теплоенергетики України. *Проблеми експлуатації об'єктів енергетики: збірник трудов*. Інститут промислової екології. К. : НАН України, 2020. С. 7 – 12

26. Дрейцер Г.А. Современные проблемы интенсификации теплообмена в каналах. *Инженерно-физический журнал*. 2001. Т.74. №4. с.33-40.
27. Барон В.Г. Кожухотрубные теплообменные аппараты конца XX века. *Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии*. 2000. № 2. с. 34-36.
28. Барон В.Г. Тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные. Общий анализ ситуации. *Энергосбережение*. 2002. №7. С. 20-22.
29. Smithberg E., Landis F., Friction and forced convection heat-transfer characteristics in tubes with twisted tape swirl generators. *ASME J. Heat Transfer*. 1964. №86 (1). P. 39–48.
30. Ryu D., Choi D., Patel V. Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks. Part I: Resistance. *Int. J. Heat Fluid Flow*. 2007. №28 (5). P.1098–1111.
31. Ryu D., Choi D., Patel V., Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks. Part II: Heat transfer. *Int. J. Heat Fluid Flow*. 2007. №28 (5). P.1112–1124.
32. Liu C.H., Chung T.N. Forced convective heat transfer over ribs at various Separation. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2012. №55 (19). P.5111–5119.
33. Thianpong C., Eiamsa-Ard P., Wongcharee K., Eiamsa-Ard S., Compound heat transfer enhancement of a dimpled tube with a twisted tape swirl generator. *Int. C. Heat Mass Transfer*. 2009. №36 (7). P.698–704.
34. Ji W.T., Jacobi A.M., He Y.L., Tao W.Q. Summary and evaluation on single-phase heat transfer enhancement techniques of liquid laminar and turbulent pipe flow. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2015. №88. P. 735–754.
35. Fan J.F., Ding W.K., Zhang J.F., He Y.L., Tao W.Q. A performance evaluation plot of enhanced heat transfer techniques oriented for energy-saving. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2009. №52 (1). P.33–44.
36. Vogel J., Eaton J., Combined heat transfer and fluid dynamic measurements downstream of a backward-facing step. *ASME J. Heat Transfer*. 1985. №107. P.922–929.

37. Bhuiya M.M.K., Azad A.K., Chowdhury M.S.U., Saha M. Heat transfer augmentation in a circular tube with perforated double counter twisted tape inserts. *Int. C. Heat Mass Transfer*. 2016. №74. P.18–26.
38. Sheikholeslami M., Ganji D. Heat transfer improvement in a double pipe heat exchanger by means of perforated tabulators. *Energy Convers. Manage.* 2016. №127. P.112–123.
39. Sheikholeslami M., Ganji D. Heat transfer enhancement in an air to water heat exchanger with discontinuous helical tabulators; experimental and numerical studies. *Energy*. 2016. №116. P. 341–352.
40. Chang S.W., Yang T.L., Liou J.S. Heat transfer and pressure drop in tube with broken twisted tape insert. *Exp. Thermal Fluid Sci.* 2007. №32 (2). P.489–501.
41. Eiamsaard S., Promvong P. Experimental investigation of heat transfer and friction characteristics in a circular tube fitted with V-nozzle turbulators. *Int. C. Heat Mass Transfer*. 2006. №33 (5). P.591–600.
42. P. Promvong, S. Eiamsa-ard, Heat transfer behaviors in a tube with combined conical-ring and twisted-tape insert, *Int. Heat Mass Transfer* 34 (2007) 849–859.
43. Kongkaitpaiboon V., Nanan K., Eiamsa-ard S. Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-rings, *Int. C. Heat Mass Transfer*. 2010. №37 (5). P.560–567.
44. Draft Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine. [Проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Довгострокової стратегії термомодернізації будівель на період до 2050 року та Концепції Загальнодержавної економічної цільової програми підтримки термомодернізації будівель на 2022—2030 роки».]
45. Фаренюк Г.Г., Філоненко О.І., Тимофєєв М.В. Енергоефективність громадських будівель з врахуванням ергономіки теплового середовища. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2017. Вип. 135. С. 119 – 124.

46. Філоненко О.І., Юрін О. І., Семко О.В., Магас Н.М. Лінійні теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2022. 175 с.
47. Коган И.Ш. Системы физических величин и системы их единиц – независимые друг от друга понятия. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/aris/8792.html> (дата звернення 20 січня 2022 р)
48. Ефимов А. В., Зевин С. Л., Аль-Тувайни Адель. Метод построения диагностических моделей оборудования энергоустановок. *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2002. Вып.13. С. 153 – 157.
49. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
50. Філоненко О.І. Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель в умовах змінних теплових впливів: Монографія. Полтава.2021. 303 с.
51. Filonenko O.I., Leshchenko M.V., Rozdabara O.M., Duka O.M., Pashchenko V.V, Filonenko D.A. Improving waterproofing properties In the wall basement area by injection method. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2019. 2 (53), С. 122 – 127.
52. Filonenko O., Semko O., Hasenko A. Civil building frame-struts steel carcass optimization by efforts regulation. *Academic journal Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2020.№ 1 (54). С. 47 – 54.
53. Filonenko O., Avramenko Y., Kidenko V. «Green roofs» - historical experience and modern requirements. *Academic journal Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2020. 2(55). P. 109-114.
54. Filonenko O., Semko O., Hasenko L., Mahas N., Rudenko V. Temperature-humidity regime in the operation of the roofs of historic buildings. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2021. №2. P. 47-52
55. Колесников А.В., Семенова С.В., Вировий В.М., Керш В.Я. Аналіз теплових ефектів при багатоосередкованому структуроутворенні. *Вісник ОДАБА*. 2021. Вип. 85. С.89-99.

56. Rao Y., Wan C., Xu Y. An experimental study of pressure loss and heat transfer in the pin fin-dimple channels with various dimple depths. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2012. №55 (23). P.6723–6733.
57. Nikuradse J. *Laws of Flow in Rough Pipes*. National Advisory Commission for Aeronautics. Washington, DC, USA, 1950. 62 p.
58. Davidson P.A., Kaneda Y., Moffatt K., Sreenivasan K.R. *A Voyage Through Turbulence*. Cambridge University Press, 2011. 434 p.
59. Möller, Torsten, Hamann, Bernd, Russell, Robert. Mathematical foundations of scientific visualization, computer graphics, and massive data exploration. *Papers based on the presentations at the workshop*. Banff, Canada, May 22–27, 2004. 10.1007/b106657.
60. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. *Основи творення машин*. Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.
61. *Album of liquid and gas flows* / ed. M. Van Dyke Department of Mechanical Engineering Stanford University. URL: <https://handouts/Album-Fluid-Motion-Van-Dyke.pdf> (дата звернення 25 січня 2024 р)
62. Maisotsenko V. S., Arsiri V. A. PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same. Publ. 22.09.1998.
63. Arsiri V., Kravchenko O., Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics. *International Journal Mechanics and Mechanical Engineering*. 2018. Vol.22., №2. P.397-404.
64. Потетенко О. В., Дранковський В. Е., Крупа Є. С. Чисельне дослідження просторового потоку в проточній частині капсульного гідроагрегату з допомогою програмного комплексу FlowVision. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. 2013. № 14 (988). P. 72–78.
65. Rezvaya K., Krupa E., Drankovskiy V., Potetenko O., Tynyanova I. The numerical reseach of the flow in the inlet of the high-head hydraulic turbine. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solution in modern technologies*. 2017. №7 (1229). P. 97–102.

66. Pankaj G., Rajeshwer S. Numerical Study of Cavitation in Francis Turbine of a Small Hydro Power Plant. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2016. № 9 (1). P. 357–365.
67. Аpcipій, O. O. Developing of hydro-aerodynamic systems' elements based on intellectual visualization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. №8(63). P. 4–8.
68. Kohonen T. The self-organizing map. *Neural Networks: Theoretical foundations and analysis*. 1990. *Proceedings of the IEEE*. Vol.78, 9. P. 1464-1480.
69. Yin, Hujun. The Self-Organizing Maps: Background, Theories, Extensions and Applications. *Computational Intelligence: A Compendium*. 2008. P.715-762
70. Friedhelm Schwenker, Hans A. Kestler, Günther Palm Three learning phases for radial-basis-function networks. *Neural Networks*. 2001. Vol.14, Issues 4–5. P. 439-458.
71. Arsiri E.A., Antoshchuk C.G., Arsiri V.A., Kravchenko V.I. Intellectualnyi analiz pri kompleksnom modelirovanii dlya povysheniya nadejnosti raboty energeticheskogo oborudovaniya. *Radioelektronni i komp'yuterni systemy. Kharkivskyi aviaciyni instytut*. 2012. №6(58). P.89–95.
72. Maniakaeva O.S., Arsiri E.A., Vasilevskaya A.P. Development of the decision support subsystem in the systems of neural network pattern recognition by statistical information. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. №6(4(78)). P. 4–12.
73. Arsiriy E., Arsiry V. The physical method of visual diagnostics of flow structure. XII Intern. Sc. Conf. Current Issues of Civil and Environmental Eng., Rzeszow–Lviv–Kosice, September 17–19, 2009. Rzeszow, Poland. V. 54, № 266. P. 5 – 8.
74. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 7. Физика сплошных сред. М: «Мир», 1977. 286 с.
75. Arsirii V., Kravchenko O., Savchuk B., Arsirii O. The influence of the structure of laminar flows on the characteristics of equipment. *26th Scientific Conference on Power Engineering and Power Machines (PEPM'2021). E3S Web Conf*. Vol. 327. 2021. 05003.

76. Abdulin M., Siryi O., Zhuchenko A., Abdulin A. Improvement of reliability of fire engineering equipment based on a jet-niche technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V2. № 8(92). С.12-19.
77. Arsiri V., Kravchenko O. Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics. *International Journal Mechanics and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 22, № 2. P. 405-414.
78. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного: Введение. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 352 с.
79. Пригожин И. Философия неустойчивости. *Вопросы философии*. 1991. Вып. 6. С. 45-57.
80. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1998. 520
81. Вировий В.Н. Структура-основа будови та прояви властивостей будівельних матеріалів та конструкцій. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. №57. С.42-52.
82. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции Структура, самоорганизация, свойства. Одесса: ТЭС, 2010. 163 с.
83. Fie S.B., Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S. Procesy samoorganizacii slruktury t,o;npoyiowych maliriaiou budowlanych . Lublin: PolilcchniKa Lublenska, 2013. 143 p.
84. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівель та споруд*. 2008. Вип.41. С. 133-139.
85. ГКД 34.20.541-95 Положення про узгодження обмежень потужності і заходів щодо підвищення ефективності використання встановленої потужності.
86. Improving Fan System Performance a sourcebook for industry / U.S. Department of Energy. sourcebook for industry. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/29166.pdf> (дата звернення 12 травня 2023р)

87. Арсирий В. А., Кравченко О.В. Крошка А. В., Рябоконт П. М. Пьезо модель расчета и представления энергетических характеристик аэродинамических систем. *International journal Sustainable development*. 2020. Vol. 2. P.52–58.
88. Арсірій В.А., Крошка О.В. Термо- і аеромоделі процесів газотрубних котлів. *Наука та будівництво*. 2023. Т.38, №4 . С.49-56.
89. Співак О.Ю. Теплообмін. Част І. Вінниця *ВНТУ*, 2021. 113 с.
90. Омельченко О.В. Теплообмін : навч. посіб. Кривий Ріг: ДОННУЕТ, 2021. 100 с.
91. Ботук Б.О., Федорів Н. Ф. Каналізаційні мережі: навчальний посібник для студентів вузів. Видання 2. 1977. 272 с
92. Арсірій В. А., Крошка О. В. Метод удосконалення проточних частин елементів енергетичних систем житлових комплексів. *Механіка та математичні методи*. 2024. Т.6, №1. С.57-73.
93. Arsirii V. A., Arsirii O. O., Kravchenko O. V., Ryabokon P. M., Kroshka O. V. Structural and parametric models of hydro-aerodynamic systems for increasing the efficiency of energy infrastructure facilities. *Applied Aspects of Information Technology. Nauka i Tekhnika*. 2022; Vol. 5, №.4. С. 331–347.
94. Арсирий В. Крошка А. Рябоконт П. Кравченко О. Визуализация структуры потоков для исследования гидродинамических параметров жидкостей и газов. *International journal Sustainable development*. 2022. Vol. 2. p.66–73.
95. Krachunov, Hr. Kompleksno proektirane na tehicheski sistemi. Tehicheski universitet, Varna, 2010. 210p.
96. Sherman M.H., Wray C.P. Parametric System Curves: Correlations Between Fan Pressure Rise and Flow for Large Commercial Buildings. Lawrence Berkeley National Laboratory Report. 2010. LBNL-3542E. 22p.
97. Stein J., Hydeman M.M. Development and Testing of the Characteristic Curve Fan Model. *ASHRAE Transactions*. 2004. Vol. 110, Part 1. P. 347-356.

98. Арсірій В.А. Крошка О.В. Термо- і аеромоделі енергетичного обладнання житлових комплексів. *Сучасне будівництво та архітектура*. 2024. №7. С 118 -127.
99. Крошка О.В., Кіщенко А., Буцацький К. Дослідження впливу структури потоків на характеристики теплотехнічного обладнання. *Фізичні основи сучасних технологій в будівельній індустрії: тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених*. м.Одеса, 5 квітня 2024р. Одеса: ОДАБА. 2024. Р. 112-116.
100. Кожелупенко Ю.Д., Коба А.Л. Экспериментальные исследования теплоотдачи и гидравлического сопротивления при однофазном течении воды в щелевых каналах. *Холодильная техника и технология*. 2002. № 4. С. 40–47.
101. Arsiri V., Kravchenko O., Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics. *International Journal Mechanics and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 22. No. 2. P. 405-414.
102. Al-Dawery, S. K., Alrahawi, A. M., & Al-Zobai, K. M. Dynamic modeling and control of plate heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2012. 55(23-24). P.6873–6880.
103. Burgess N., Ligrani P. Effects of dimple depth on channel Nusselt numbers and friction factors. *ASME J. Heat Transfer*. 2005. №127 (8). P.839–847.
104. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М. :Энергия 1977. 344с.
105. Галин Н. М., Кирилов Н. М. Тепломассообмен (в ядерной энергетике) М. : Энергоатомиздат, 1987. 376 с.
106. Воїнов О. П., Елькін Ю. Г. Про зниження шкідливого впливу котельних установок на природне середовище. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування.2023. №1-2. С.66-71.
107. Воїнов О. П., Елькін Ю. Г. Boiler plants and the environment protection from industry harmful effects. *Вісник Одеської державної академії*

- будівництва та архітектури*. 2021. №85. С.128-136
108. Арсирій В.А. Совершенствование оборудования тепловых и ядерных энергоустановок на основе диагностики потоков: дис. д.т.н.: 05.14.14, Одесса 2004 г.
109. Арсирій В.А., Голубова Д.О. Крошка О.В. Оптимізація регіональних енергетичних систем – навчаємо здобувачів бути корисними. *Управління якістю підготовки фахівців*: матеріали ХХІХ наукової-методичної конференції (2 частина), Одеса, 18-19 квітня 2024р. Одеса: ОДАБА. С. 4-5.
110. Арсирій В. А., Крошка О. В., Савчук Б.А. Сінергетичний підхід формування властивостей деформованих середовищ за рахунок структуроутворення. *Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій*: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, Одеса, 23-24 квітня 2024 р. Одеса: ОДАБА. С.68-69
111. Сігал О. І. Стан та проблеми комунальної теплоенергетики України. *Проблеми експлуатації об'єктів енергетики*. К. : ИПЦ АЛКОН НАН України, 2020.
112. Сігал О. І., Падерно Д. Ю. Концептуальні напрямки розвитку системи централізованого тепlopостачання міста Києва. *Проблеми експлуатації об'єктів енергетики*: збірник трудов. К. : ИПЦ АЛКОН НАН України, 2020.
113. Trzeciak W., Zozulinski S. DA-253 One-Stage Radiaj Blowers – Design and Work Characteristics. *Pabl Lodz Polytechnick*. 1995. P. 341 – 348.
114. Воїнов О. П., Елькін Ю. Г. Про зниження шкідливого впливу котельних установок на природне середовище. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2023. №1-2. С.66-71
115. Петраш, В., Хоменко, О., Гераскіна, Е. Ефективність перетворення енергії від питомої витрати повітря у системі охолодження печі для тепlopостачання. *Холодильна техніка та технологія*. 2023. 59. №3. С.205-212.

116. Петраш В.Д., Барышев В. П., Шевченко Л. Ф., Гераскина Э. А. Исследование энерготехнологических параметров в процессах теплонасосной утилизации теплоты отработанных газов вращающихся печей. *Problemele Energeticii Regionale*. 2021. Vol.2 №50. P.76-89
117. Petrash V.D., Baryshev V.P., Shevchenko L.F., Geraskina E.A., Perspective Ways of Energy-Efficient Modernization of Heat Supply Systems Based on Heat Pump Technologies. *Problems of the Regional Energetics*. 2022. №4. P. 47–60.
118. Elkin Yu.G., Воінов О.П. About the significance of energy saving program. Ecological aspect. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 76. С.119-125
119. Boshkova I., Titlov O., Volgusheva N., Georgiesh C., Sahala T. Procedure for calculating the thermoacoustic pressure fluctuations at boiling subcooled liquid. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. V.6, № 8. P. 47–54

ДОДАТКИ

Додаток А

**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ****Статті у наукових фахових виданнях України**

1. Арсірій В.А., Крошка О.В. Термо- і аеромоделі процесів газотрубних котлів. *Наука та будівництво*. 2023. Т.38, №4. С.49-56.
<https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-7>
2. Арсірій В.А. Крошка О.В. Термо- і аеромоделі енергетичного обладнання житлових комплексів. *Сучасне будівництво та архітектура*. 2024. №7. С. 118-127. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-7-118-127>
3. Арсірій В. А., Крошка О. В. Метод удосконалення проточних частин елементів енергетичних систем житлових комплексів. *Механіка та математичні методи*. 2024. Т.6, №1. С.57-73.
<https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-57-73>
4. Arsirii V. A., Arsirii O. O., Kravchenko O. V., Ryabokon P. M., Kroshka O. V. Structural and parametric models of hydro-aerodynamic systems for increasing the efficiency of energy infrastructure facilities. *Applied Aspects of Information Technology. Nauka i Tekhnika*. 2022. Vol. 5, №.4. С. 331–347.
<https://doi.org/10.15276/aait.05.2022.22>

Наукові праці, що опубліковані в закордонних періодичних виданнях

5. Арсірій В. А., Кравченко О.В. Крошка А. В., Рябоконт П. М. Пьезо модель расчета и представления энергетических характеристик аэродинамических систем. *International journal Sustainable development*. 2020. Vol. 2. P.52–58.
6. Арсірій В., Крошка А., Рябоконт П., Кравченко О. Визуализация структуры потоков для исследования гидродинамических параметров жидкостей и газов. *International journal Sustainable development*. 2022. Vol.2. P.66–73.

Продовження додатку А**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

7. Крошка О.В., Вишнеvsька О.В., Кібіш А., Фютак О.О. Міський комплекс генерації електроенергії та тепла. *Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології* : матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 13-14 грудня 2023 Одеса: ОДАБА. С.79-80.
8. Крошка О.В., Кіщенко А., Бучацкий К. Дослідження впливу структури потоків на характеристики теплотехнічного обладнання. *Фізичні основи сучасних технологій в будівельній індустрії*: тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених. м.Одеса, 5 квітня 2024р. Одеса: ОДАБА. 2024. Р. 112-116.
9. Арсірій В. А., Крошка О. В., Савчук Б.А. Сінергетичний підхід формування властивостей деформованих середовищ за рахунок структуроутворення. *Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій*: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, Одеса, 23-24 квітня 2024 р. Одеса: ОДАБА. С.68-69.
10. Арсірій В.А., Голубова Д.О. Крошка О.В. Оптимізація регіональних енергетичних систем – навчаємо здобувачів бути корисними. *Управління якістю підготовки фахівців*: матеріали ХХІХ наукової-методичної конференції (2 частина), Одеса, 18-19 квітня 2024р. Одеса: ОДАБА. С. 4-5.

Продовження додатку А**Відомості про апробацію результатів дисертації**

- V Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енерго-ресурсозбереження та екології», м. Одеса, 13-14 грудня 2023 р. Одеса: ОДАБА. Одеса: ОДАБА;
- VI Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні основи сучасних технологій в будівельній індустрії». ОДАБА, Одеса, 5 квітня 2024р.

- міжнародній науково-технічній конференції «Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій». ОДАБА, 23 квітня 2024 р.
- ХХІХ науково-методичній конференції «Управління якістю підготовки фахівців». ОДАБА, Одеса, 18-19 квітня 2024р.

Додаток Б

Акти впровадження результатів дослідження

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«УКРАЇНСЬКА ЕНЕРГОПРОМИСЛОВА ГРУПА»

08140. Київська обл., Бучанський р-н., с. Білогородка, вул. Щаслива, 2, офіс 6.
IBAN UA97305299000026007020103604, в АТ «Комерційний банк «Приватбанк»,
МФО 305299. ЄДРПОУ 40001481, ІПН 400014810133.
тел. (044) 392 01 08. e-mail: energopromgrup@gmail.com

Вих.№ 070324-2 від 07 березня 2024 року

ВІДГУК

про впровадження результатів наукових досліджень

Крошки Олександра Вікторовича

Спільні дослідження ТОВ «Українська енергопромислова група» (національного виробника котельного обладнання торгівельної марки «КОЛВІ») та Одеської державної академії будівництва і архітектури ОДАБА (кафедра Теплогазопостачання та вентиляції) з метою підвищення потужності та ефективності газотрубних котлів для швидкого виробництва та встановлення в міських житлових комплексах, будівлях та спорудах житлового, комерційного та промислового призначення. Випробування газотрубних котлів на різних видах палива до та після модернізації (використання різних типів турбулізаторів потоку продуктів горіння палива), що підвищило ККД котлів на 10-15%, тим самим забезпечивши покращення загальних енергетичних показників роботи котлів в системах теплопостачання.

Результати наукових результатів спільних досліджень дозволяють зменшувати коефіцієнтів опорів каналів енергетичного обладнання, а графо-аналітичні моделі наявно представляють зміни енергетичних параметрів енергетичного обладнання різного роду, що сприяє прийняттю рішень з метою вдосконалення та поліпшення показників роботи систем теплопостачання.

Директор



Максим ЧІКІНЕСВ

Подовження додатку Б



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

вул. Дідріхсона, 4. м. Одеса, 65052. тел./факс: (048) 723-69-04, тел. (048) 723-43-53.
e-mail: list@odaba.edu.ua, веб-сайт: www.odaba.edu.ua, код ЄДРПОУ 02071033

22.07.2024 № 08-28 532

На № _____

від _____

Г

Г

ДОВІДКА

про використання результатів наукових досліджень

Довідка засвідчує, що результати досліджень аспіранта Крошки Олександра Вікторовича (науковий керівник проф. Арсірій В.А.), наведені у його дисертаційної роботі на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 192 – за темою «**Методи поліпшення показників обладнання житлових комплексів**» впроваджені в навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Результати досліджень використовуються у методичних матеріалах освітніх компонент «Тепло і масообмін», «Теплогенеруючі установки», «Гідро і газо динаміка» при виконанні дипломних робіт магістрів освітньо-професійної програми «Теплогазопостачання і вентиляція» спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Проректор з НПР. д.е.н. проф.

Ірина АЖАМАН