

УДК 519.2

МЕТОД УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ

Арсирій В. А.¹, Крошка О. В.¹

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

Анотація. Показано, що показників бажаної ефективності на енергетичних об'єктах на можливо досягти за рахунок зниження опорів в елементах гідро аеродинамічних систем, які забезпечують процеси підйому, стиснення, розширення і транспортування рідин та газів і тому є основними споживачами електричної енергії на так звані власні потреби. Тому отримав подальший розвиток метод удосконалення проточної частини елементів гідро та аеродинамічних систем, який полягає в отриманні кількісної та якісної оцінок стану газових потоків в цих елементах, що дозволяє синтезувати проточні частини елементів гідро аеродинамічних систем зі зниженим опором. Розроблено загальну схему методу удосконалення проточної частини елементів гідро аеродинамічних систем. Реалізація методу потребує виконання трьох етапів: отримання кількісної оцінки стану газових потоків в проточній частині елемента, який удосконалюється; отримання якісної оцінки стану газових потоків в проточній частині елемента, який удосконалюється та синтез удосконаленої проточної частини елемента гідро та аеродинамічних систем. Показано практичну можливість зниження в 2,6 рази (з 0,040 до 0,015) значенням гідро аеродинамічного опору за рахунок самоорганізації структури потоків рідини або газів у проточній частині елемента ГАС «повороті потоку на 180°».

Ключові слова: житлові комплекси, аеро та гідро системи, опір, фізичне моделювання, візуалізація, структура потоків, самоорганізація.

IMPROVEMENT METHOD OF FLOW PARTS OF ENERGY SYSTEM ELEMENTS OF RESIDENTIAL COMPLEXES

V. Arsirii¹, O. Kroshka¹

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

Abstract: It is shown that the desired efficiency indicators at energy facilities can be achieved by reducing the resistance in the elements of hydro-aerodynamic systems, which provide the processes of lifting, compression, expansion and transportation of liquids and gases and are therefore the main consumers of electrical energy for the so-called own needs. Therefore, the method of improving the flow part of elements of hydro and aerodynamic systems, which consists in obtaining a quantitative and qualitative assessment of the state of gas flows in these elements, which allows synthesizing the flow parts of elements of hydro aerodynamic systems with reduced resistance, received further development. A general scheme of the method of improving the flow part of elements of hydro-aerodynamic systems has been developed. Implementation of the method requires three stages: obtaining a quantitative assessment of the state of gas flows in the flow part of the element being improved; obtaining a qualitative assessment of the state of gas flows in the flow part of the element that is being improved and the synthesis of the improved flow part of the element of hydro and aerodynamic systems. The practical possibility of a 2.6-fold decrease (from 0.040 to 0.015) in the



value of hydro resistance due to the self-organization of the structure of liquid or gas flows in the flow part of the HAS element turn the flow by 180 is shown.

Keywords: residential complexes, aero and hydro systems, resistance, physical modelling, visualization, flow structure, self-organization.

1 ВСТУП

В період післявоєнного відновлення об'єктів енергетичної інфраструктури України необхідно враховувати сучасні світові тенденції до ефективного споживання енергії у системах теплової та електричної генерації тепло-, газо- і водопостачання, вентиляції, кондиціонування, тощо. Проведений аналіз довів, що показників бажаної енергоефективності можливо досягти за рахунок зниження опорів в елементах гідроаеродинамічних систем (ГАС), які забезпечують процеси підйому, стиснення, розширення і транспортування рідин та газів і тому є основними споживачами електричної енергії на так звані власні потреби [1,2]. Тому удосконалення проточних частин елементів ГАС з метою зниження їх гідроаеродинамічних опорів є актуальною задачею, вирішення якої відповідає сучасній тенденції на енергозбереження.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проведені дослідження та результати отримані в попередніх роботах авторів показують, що вирішення задачі зниження опорів в елементах ГАС можливо за допомогою методів наукової візуалізації з використанням засобів фізичного та чисельного моделювання [3]. Моделювання – це дослідження об'єкта шляхом створення його моделі (квазіоб'єкта фізичного або математичного прототипу) і оперування нею з метою отримання корисної інформації про реально функціонуючий об'єкт. Іноді термін «моделювання» використовують у вузькому сенсі стосовно створення моделі, а оперування моделлю називають аналізом або верифікацією [4].

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 чисельних 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 [3]. При реалізації основної наукової ролі засобів візуалізації можна виділити фізичний і чисельне моделювання.

Фізичне моделювання (ФМ). При ФМ (експерименті) у багатьох випадках саме оптична картинка є основним первинним результатом досліджень. В області гідроаеродинаміки 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. Основні положення, результати та постулати механіки рідини і газу були багато в чому отримані таким експериментальним шляхом.

Фізична візуалізація в експериментах була основним джерелом інформації про явища і процеси до появи математичного моделювання. З появою і розвитком чисельного експерименту, який став більш дешевшим і маневреним інструментом

пізнання фізичної картини світу, фізичний експеримент залишився основним засобом контролю і верифікації численних досліджень [5-7]

При чисельному моделюванні (ЧМ) використовуються аналітичні моделі для розрахунку турбулентних течій. А формування рішень можливо на основі візуалізації процесів переміщення робочого тіла. У підсистему інженерного аналізу CAE входять.

Чисельне моделювання (ЧМ). З появою комп'ютерів виникла можливість проводити обчислювальні експерименти, засновані на чисельному рішенні рівнянь, які використовуються в математичній моделі фізичного явища або процесу, який досліджується. Сучасний етап еволюції обчислювальної механіки рідини і газу забезпечується програмними комплексами обчислювальної гідродинаміки і тепломасообміну, міцності, електродинаміки, такими як CFX, FLUENT, FlowVision, SolidWorks, FOAM, OpenFOAM ін. [8-12] 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 стерео представлення 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 чисельні рішення в першу чергу залежало від можливостей обчислювальних ресурсів, і лише в другу - від рівня складності вирішуваних задач математичного моделювання і чисельних методів, що при цьому використовуються.

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

1. ФМ успішно застосовується при проектуванні 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 проектування. Однак при їх практичному використанні виникають труднощі:

- так для діагностики складних процесів масопереносу (течії з сильною закруткою, горінням, течії з вільною поверхнею) і при проектування геометрії елемента складної форми тривалість комп'ютерного експерименту збільшується на кілька порядків щодо проектування 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 даних

візуальних даних [13,14]. До методів інтелектуального аналізу даних візуальних даних 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 [15].

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є подальший розвиток методу удосконалення проточної частини елементів гідро та аеродинамічних систем (ГАС), який полягає в отриманні кількісної та якісної оцінок стану газових потоків (ГП) в цих елементах, що дозволяє синтезувати проточні частини елементів ГАС зі зниженим опором

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язані задачі:

1. Розроблено загальну схему методу удосконалення проточної частини елементів ГАС;
2. Розроблено засоби отримання кількісної оцінки стану ГП в проточній частині елемента, який удосконалюється
3. Розроблено засоби отримання якісної оцінки стану ГП в проточній частині елемента, який удосконалюється.
4. Розроблено методіку створення удосконаленої проточної частини елемента ГАС.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Загальна схема методу удосконалення проточної частини елементів ГАС.

На рисунку 1 показано загальну схему синтезу удосконаленої проточної частини елемента ГАС за допомогою розробленого методу фізичної моделі Як бачимо, метод удосконалення проточної частини елементів ГАС потребує виконання трьох етапів – отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП в фізичній моделі проточної частини елемента, який удосконалюється та синтезу удосконаленої проточної частини елемента з їх врахуванням. Наведемо кратку характеристику дій за етапами методу.

Етап 1. Отримання *кількісної оцінки стану ГП* в проточній частині елемента ГАС, який удосконалюється. Для отримання кількісної оцінки на основі креслення проточної частини елемента (*element's flow path efp*) з урахуванням коефіцієнта масштабування *scale* виготовляється фізична модель проточної частини (*Physical model of the element's flow path PMe_{fp}*) тобто $efp \cong PMe_{fp}$. На експериментальному стенді в умовах подібності за числом Рейнольдса $10^4 \leq Re \leq 10^6$ турбулентних ГП проводиться симуляція функціонування *PMe_{fp}* як елемента ГАС. Для заданих витрат робочого тіла Q_{GAS}^* вимірюються втрати тиску P_{GAS} і обчислюється значення гідроаеродинамічного опору $R_{PMe_{fp}} = P_{GAS}/Q_{GAS}^{*2}$, яке потім порівнюється з нормативним опором R_{efp} аналізованого елемента ГАС. Якщо значення опору $R_{PMe_{fp}}$ є більшими за нормативне R_{efp} переходимо до другого етапу $R_{efp} < R_{PMe_{fp}}(R_{IPMe_{fp}})$

Етап 2. Отримання *якісної оцінки стану ГП* в проточній системі елемента ГАС, який удосконалюється. Для визначення причин високих нормативних значень опорів $R_{PMe_{fp}}$ за допомогою методу візуалізації дискретних структур потоку (МВДСП) [6], який 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 *PMe_{fp}* аналізованого елемента ГАС. Штучні поверхні фотореєструються, утворюючи множину значень інтенсивностей точок зображення – *візуальні дані ГП ($Data_{VE}$)*

Отримані таким чином візуальні дані ГП (див. рис. 3) разом з параметрами їх фотореєстрації записуються в базу даних ГП в аналізованих елементах ГАС. Для отримання *інтелектуальних даних* $Data_{IE}$ у $PMefp$ аналізованого елемента ГАС використовують попередньо навчену модель нейронної мережі Кохонена. Результатом її роботи є визначення номера K класу структурного примитива (елементарної частини $Data_{VE}$), який відображається псевдокольором Bk при формуванні $Data_{IE}$. Таким чином, $Data_{IE}$ є формалізованим описом стану ГП щодо візуалізації причин підвищених значень гідроаеродинамічних опорів в фізичній моделі проточної частини $PMefp$ аналізованого елемента ГАС. Ці дані зберігаються у також базі даних ГП.

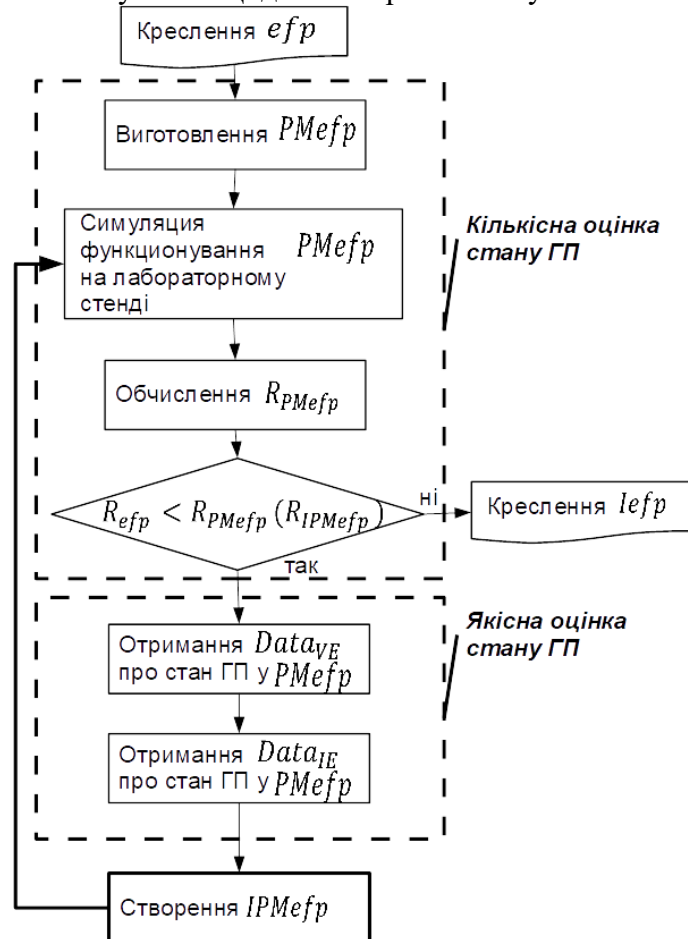


Рис. 1. Загальна схема методу удосконалення проточної частини елементів ГАС

Етап 3. Створення удосконаленої проточної частини елемента ГАС. З врахуванням отриманих $Data_{IE}$ у вигляді сегментованих зв'язаних областей, які утворюються оптично активними структурними примітивами «дисипативного» і «однорідного» класів з використанням попередньо навчених моделей багат шарового персерптрону та радіально-базисної нейронної мережі, які виконують функцію адаптивної апроксимації. В результаті заміщення оптично активних структурних примітивів дисипативного і однорідного класів оптично неактивними структурним примітивом класу «стінка» створюється удосконалена фізична модель проточної частини (Improved Physical model of the element's flow path $IPMefp$). Стан ГП у розробленій таким чином $IPMefp$ перевіряється на лабораторному стенді, тобто повертаємося до виконання дій за етапом 1. Якщо значення опору R_{IPMefp} є меншими або дорівнює нормативному R_{efp} тоді створюється креслення удосконаленої проточної частини елемента ГАС $lefp$.

2. Засоби отримання кількісної оцінки стану ГП в проточній частині елемента, який удосконалюється.

Засобами фізичного моделювання стану ГП в проточній частині елемента ГАС, який удосконалюється, є спеціально створені фізично подібні: за масштабом фізична модель проточної частини елемента $PMefp$; за умовами функціонування фізична модель ГАС, яку реалізовано у вигляді лабораторного стенду моделювання стану ГП. Лабораторний стенд (див. рис. 2) складається з: пневматичної напірно-розподільної частини, яка виконує функцію нагнітача ГАС і забезпечує ГП із заданими по числу Рейнольдса параметрами; моделюючого пристрою в якому розташовано $PMefp$; системи управління, яка складається із підсистем моніторингу технологічних параметрів, освітлення та фото-відео реєстрації.

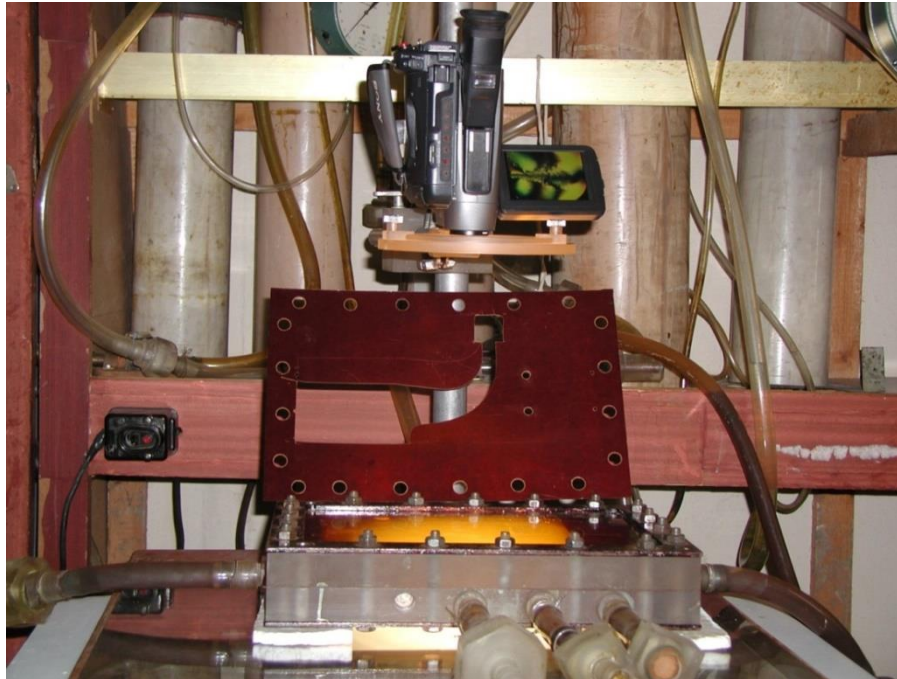


Рис. 2. Вигляд лабораторного стенду моделювання стану ГП фізичній моделі проточної частини елемента ГАС

Моделюючий пристрій (див. рис. 2) складається із двох плит з оптично неактивного скла між якими жорстко закріплюється лист гетинаксу з вирізаним (штампованим) каналом, який є $PMefp$, товщина плит обирається за умови забезпечення герметичності і сталості витрат робочого тіла (оптично-активної рідини) в $PMefp$ при заданих значеннях тиску.

Підсистема моніторингу технологічних параметрів стану ГП в ГАС, що моделюється за допомогою лабораторного стенду, реалізована у вигляді окремих модулів, які дозволяють отримати, передати та зберегти у цифровому вигляді значення часу, тиску P_{GAS} та витрат робочого тіла Q_{GAS}^* , що надходять від вимірювального обладнання напірно-розподільчої частині. Це, в свою чергу дозволяє розрахувати кількісну характеристику стану ГП в $PMefp$ у вигляді реального значення гідроаеродинамічного опору R_{PMefp} . Порівняння отриманої реальної оцінки R_{PMefp} з нормативною R_{efp} із бази елементів ГАС, яку сформовано на протязі багаторічних досліджень дозволяє зробити висновок про необхідність отримання якісної оцінки задля проведення подальших досліджень.

Підсистема освітлення лабораторного стенду (див. рис. 2) включає регульоване джерело освітлення та набір поляроїдів (поляризатор і аналізатор у вигляді прозорі

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 (див. рис. 2) включає професійну фотокамеру 4 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 та встановлено на сервер управління (комп'ютер), апаратне забезпечення підключено за допомогою зовнішніх інтерфейсів і працює під управлінням відповідних драйверів.

3. Засоби отримання якісної оцінки стану ГП в проточній частині елемента, який удосконалюється.

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) [6], 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 модельючому пристрої. Для отримання оптично активної рідини в рідину додається 0,06% п'ятиоксиду 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 (рис. 3 та 4,а) :

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

де $Data_{VE}$ - візуальні дані ГП; B_{ij} – значення інтенсивності точки (піксела) зображення із координатами i та j .

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

$$Meta_E = \langle Re, E, L, Dw, Dh, R_s, R_c \rangle, \quad (2)$$

де: Re – число Рейнольдса ($10^4 \leq Re \leq 10^6$) задає параметри ГП, що моделюється з урахуванням подібності його реальному процесу; E – витримка в діапазоні ($1/30 \div 1/2000$ сек); L – потужність освітлення в діапазоні ($25 \div 1000$ 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 елементах $PMefp$

Візуальні дані ГП $Data_{VE}$ представляють собою множину так званих візуальних структурних примітивів (СП) $Data_{VP}$ тобто елементарних, непохідних фрагментів даних ГП $Data_{VE}$, в якому забезпечується псевдостационарність ГП, що узгоджена з режимом отримання візуальних даних, який задається в мета-заголовку $Meta_{VE}$ (2). Тоді візуальні СП це множина значень в залежності від R_c (2) інтенсивності або кольоровості точок зображення:

$$Data_{VP} = \{B_{ij}\}, i = \overline{1, d_w}, j = \overline{1, d_h}, \quad (3)$$

де: d_w та d_h – горизонтальний та вертикальний розмір ГСП у пікселях, які визначаються експериментально та залежать від режиму отримання візуальних даних, який задано в (2).

Відображення візуальні СП $Data_{VP}$ в вихідний простір класів прототипів K процедури кластеризації візуальних даних $Data_{VP}$ заснований на застосуванні самоорганізованих карт Кохонена (self-organizing map – SOM) [16,17]. 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. Таким чином формується простір класів, який дозволяє визначити схожі морфологічні типи візуальні СП $Data_{VP}$, які формують наступні класи (рис 3):

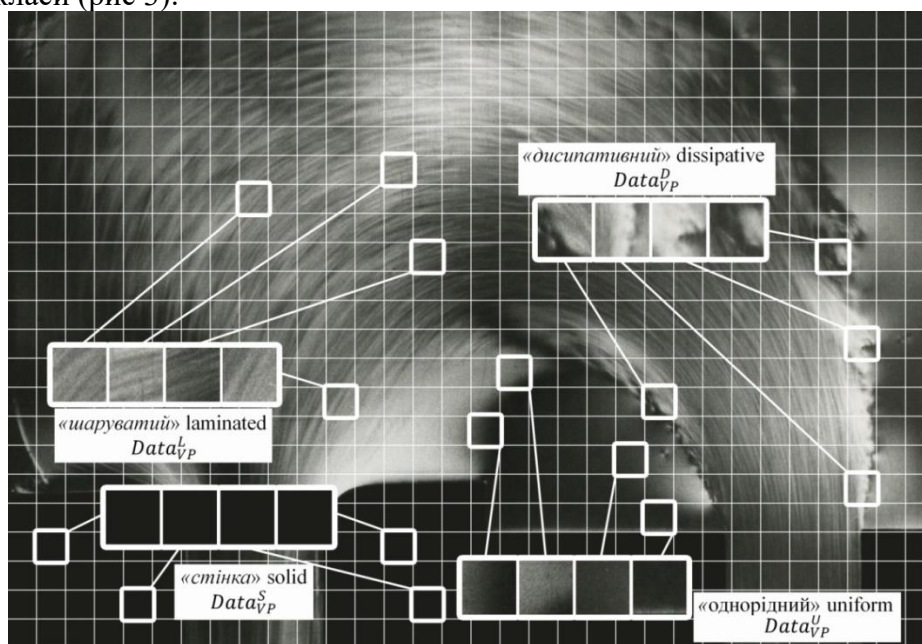


Рис. 3. Приклад візуальних даних про стан ГП в фізичній моделі проточної частини елемента «поворот потоку на 180°» із визначеними класами СП

- СП «стінка» (solid) (клас 4 – S) – тільні СП $Data_{VP}^S$, що відображають на зображенні ГП зону оптично неактивного каліброваного матеріалу (гетинаксу) фізичної моделі $PMefp$, яка є «нерухомою» та статистично однорідною;
- СП «потік» (flow) – поточкові СП, що відображають зону оптично активної рідини в фізичній моделі $PMefp$, яка характеризує зміну величини пульсаційної складової швидкості в поле потоку V свою чергу, поточкові ГСП розподілено на однорідні, дисипативні, шаруваті типи.
- СП «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.
- СП «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.
- СП «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, тільки СП $Data_{VP}^S$ та потокові СП, які в свою чергу розподілено на однорідні $Data_{VP}^U$, дисипативні $Data_{VP}^D$, шаруваті $Data_{VP}^L$ типи СП.

Інтелектуальні СП визначимо як:

$$Data_{IP} = \{Bk_{ij}\}, i = \overline{1, d_w}, j = \overline{1, d_h} \quad (4)$$

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

Для отримання $Data_{IP}$ створено одномірну топологію SOM, де рецепторний шар складається із 64 нейронів, а обчислювальний із 4 нейронів, які відповідають значенню чотирьох псевдокоleurів. Процедура відображення $Data_{VP}$ в вихідний простір реалізована наступним чином. На вхід рецепторного шару SOM послідовно подаються підобласті $Data_{VP_i}$ у вигляді вектору-рядку розміром 64, які формуються із зображень еталонних представників СП кожного із морфологічних типів ($Data_{VP_i}^S, Data_{VP_i}^U, Data_{VP_i}^D, Data_{VP_i}^L$). Результатом самоорганізації SOM відображення даних $Data_{VP_i}$ з 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 СП (див. рис 4,б та 4,в)

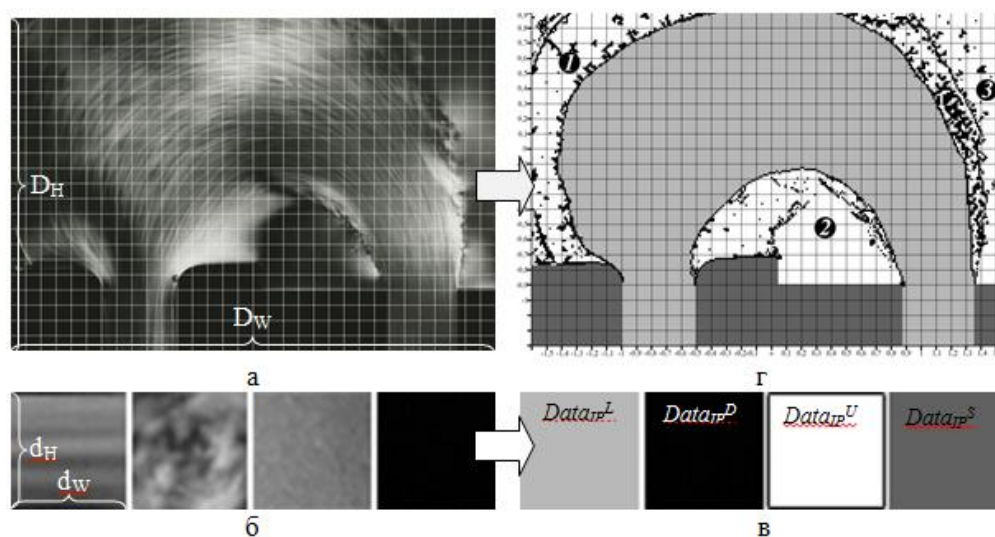


Рис. 4. Результати роботи SOM в режимі сегментації візуальних даних в фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180°» (а – візуальні дані ГП, б, в – візуальні та інтелектуальні СП, г – інтелектуальні дані ГП

Процедура отримання інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$ в $PMefp$ реалізована 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 СП $Data_{VP}$ за допомогою перетворення $f: \langle d_w, d_h, \{B_{ij}\} \rangle \rightarrow \langle 1, M_{VP}, \{B_{ij}\} \rangle$. У якості функції f використовувались стандартні операції построчно-постовпцевої 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:

$$i(w_j) = \arg \min_i \|v_j - w_j\|, \quad i = \overline{1, L_{SOM}}, \quad j = \overline{1, M_{VP}}. \quad (5)$$

При цьому номер нейрона-переможця відповідає номеру класу K інтелектуального СП $Data_{IP}$ у відповідності до якого виконується псевдокольорова розмітка сегментованого зображення. Отримане таким чином, псевдокольорове сегментоване зображення, яке представляє собою інтелектуальні ГП $Data_{IE}$, у вигляді об'єднаних $Data_{IE}$. (див. рис 4,г)

Практичне використання SOM в режимі сегментації візуальних даних в фізичній моделі $PMefp$ елемента «поворот потоку на 180°» (рис. 4) дозволяє виділити три зв'язаних області які утворено об'єднанням СП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів (рис. 4, в) в інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$ (рис. 4, г). На рисунку 4, г ці області позначено номерами 1,2 та 3.

4. Методика створення удосконаленої проточної частини елемента ГАС.

Для створення удосконаленої проточної частини елемента ГАС $Iefp$ (див. рис. 1) необхідно синтезувати його удосконалену фізичну модель $IPMefp$. Вхідними даними для створення $IPMefp$ є зображення інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$, на якому засобами попередніх етапів виділені зв'язані області 1, 2 та 3 (рис.4, г), що утворюються оптично активними СП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів. Фізична модель $IPMefp$ розробляється як результат заміщення трьох областей вставками складної форми, які утворені оптично неактивними СП $Data_{IP}^S$ класу стінка. (рис. 5 та 6)

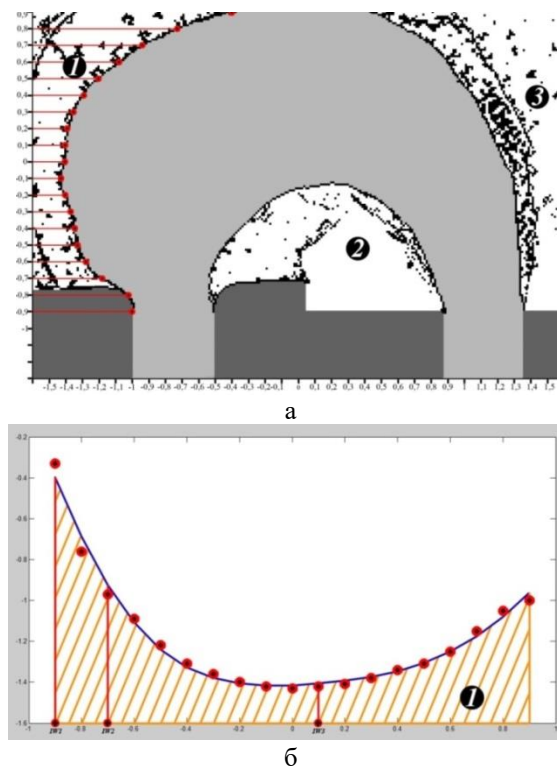


Рис. 5. Формування вхідних та даних для RBF_1 (а – масиви вхідних X і цільових T векторів; б – відображення цільових та вихідних даних та аргументів

Для отримання форми оптично неактивної вставки запропоновано використати радіальну базисну нейронну мережу (Radial Basis Function Network – RBF) тому, що вони демонструють хороші властивості, щодо апроксимації складних нелінійних функцій [18]. Мережа RBF містить шар прихованих нейронів з радіально симетричною активаційною функцією, кожен з яких призначений для зберігання окремого еталонного вектора у вигляді ваг прихованих нейронів і вихідний лінійний шар.

Апроксимація за допомогою мережі RBF називається локальною. Усе перетворення в цілому це сума локальних перетворень на основі базисних функцій (гауссоїд).

Навчання прихованого шару передбачає попереднє проведення кластеризації для знаходження еталонних векторів і рівня перекриття Вхідними аргументами для навчання RBF₁ є масиви вхідних X і цільових T векторів (рис. 5, а, б), що отримані відповідно до координат лінії яка розділює зв'язані області СП $Data_{IP}^D$ і $Data_{IP}^U$ класів та класу $Data_{VP_i}^L$. Масиви вхідних та цільових даних формуються з врахуванням координатної сітки яку спеціально нанесено на зображення. У відповідності із режимом навчання RBF₁ вхідними даними є також значення середньоквадратичної помилки мережі і рівня перекриття радіальних базисних функцій, які визначаються експериментально.

По аналогії із створенням оптично неактивної вставки для області 1 (рис. 5, а, б) з використанням RBF₂ та RBF₃ отримано форми оптично неактивних вставок для областей 2 та 3 (рис. 6, а) На рисунку 6, б показано синтезу удосконаленої фізичної моделі $IPMe_{fp}$ «поворот потоку на 180°» шляхом заміщення зв'язаних оптично активних невпорядкованих областей СП дисипативного $Data_{IP}^D$ і однорідного $Data_{IP}^U$ класів в інтелектуальних даних ГП $Data_{IE}$ зв'язаними областями, створеними оптично неактивними СП $Data_{IP}^S$ класу стінка. При цьому області заміщення позначено номерами 1, 2 та 3.

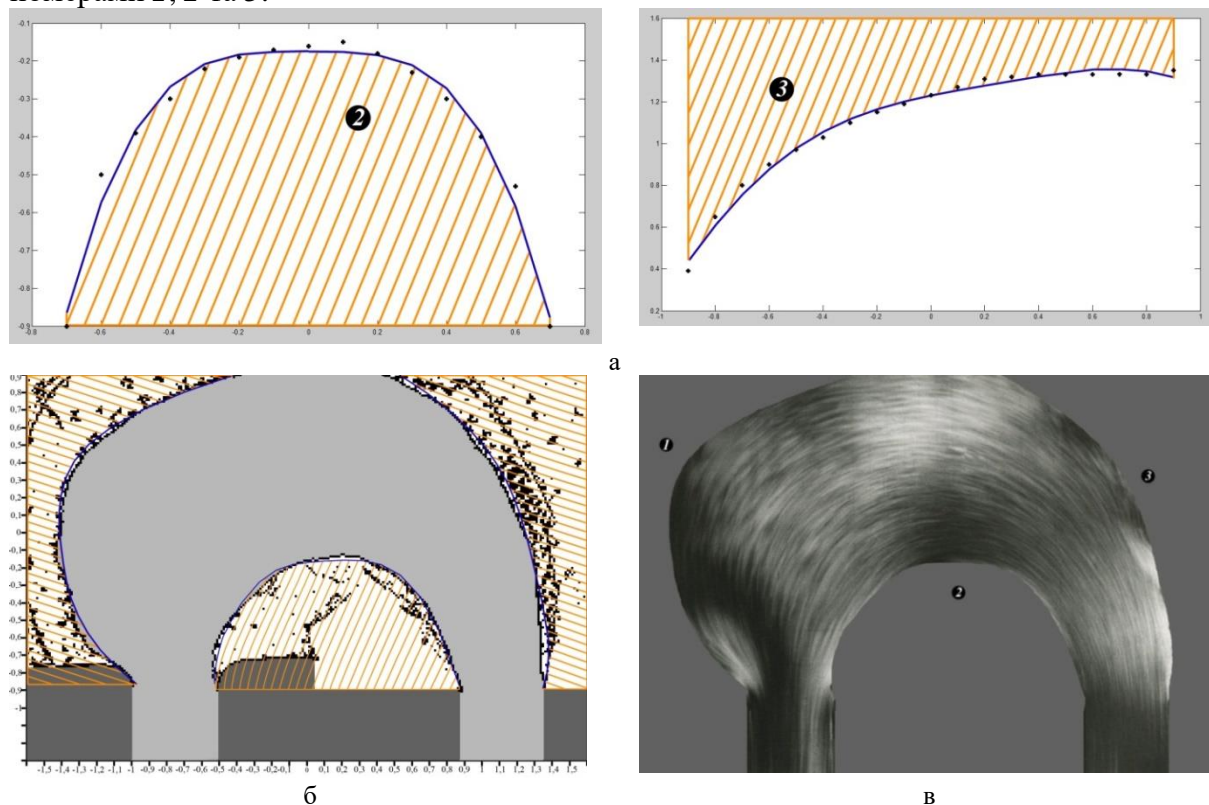


Рис. 6. Формування вхідних та даних RBF₂ та RBF₃ (а – масиви вхідних X і цільових T векторів; б – відображення цільових та вихідних даних та аргументів

Отримання кількісної оцінки стану ГП в синтезованій таким чином фізичної моделі $IPMe_{fp}$ на експериментальному стенді (див. рис. 1) у вигляді значення параметра гідро аеродинамічного опору $R_{IPMe_{fp}}$ і порівняння його з нормативним значенням R_{efp} показало, що практичну можливість зниження в 2,6 рази (з 0,040 до 0,015) значенням гідро аеродинамічного опору. Як бачимо із структурної схеми запропонованого методу в разі такого суттєвого зменшення значення опору $R_{IPMe_{fp}}$ на основі отриманої

IPMefp створюється креслення удосконаленої проточної частини елемента ГАС *Iefp*. для елемента «поворот потоку на 180°»

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Показано, що показників бажаної ефективності на енергетичних об'єктах на можливо досягти за рахунок зниження опорів в елементах гідро аеродинамічних систем, які забезпечують процеси підйому, стиснення, розширення і транспортування рідин та газів і тому є основними споживачами електричної енергії на так звані власні потреби. Що свою чергу потребує досліджень наукової візуалізації з використанням засобів фізичного та чисельного моделювання. Результатом таких досліджень є подальший розвиток методу удосконалення проточної частини елементів гідро та аеродинамічних систем, який полягає в отриманні кількісної та якісної оцінок стану газових потоків в цих елементах, що дозволяє синтезувати проточні частини елементів гідро аеродинамічних систем зі зниженим опором.

В роботі розроблено загальну схему методу удосконалення проточної частини елементів гідро аеродинамічних систем.

Показано, що реалізація методу потребує виконання трьох етапів а саме:

1. отримання кількісної оцінки стану газових потоків в проточній частині елемента, який удосконалюється за рахунок використання засобів фізичного моделювання;

2. отримання якісної оцінки стану газових потоків в проточній частині елемента, який удосконалюється за рахунок використання методу візуалізації їх структури з подальшим інтелектуальним аналізом отриманих візуальних зображень;

3. синтез удосконаленої проточної частини елемента гідро та аеродинамічних систем за рахунок використання нейронних мереж для побудови форми оптично неактивних вставок для заміщення виділених оптично активних областей отриманих як результат якісної оцінки візуальних зображень.

Симуляція створеної фізичної моделі удосконаленої проточної частини елемента гідро та аеродинамічних систем на подібному за числом Рейнольдса експериментальному стенді показала, що врахування стану газових потоків у вигляді інтелектуальних даних обробки візуальних поверхонь, які однозначно характеризують поле градієнтів швидкостей (тисків) потоку у моделі, дозволяє синтезувати проектні рішення по зниженню опорів в 2,6 рази (з 0,040 до 0,015) при удосконаленні проточної частини елемента «поворот потоку на 180°»

6 ВИСНОВКИ

В результаті аналізу проблем енергозбереження в гідро аеродинамічних системах, які проектуються встановлено, що існуючі методи не повною мірою враховують стан реальних газових потоків при прийнятті проектних рішень, щодо побудови проточних частин елементів таких систем. Це призводить до додаткових (біля 40 %) втрат енергії на підйом, стиснення або транспортування робочих тіл.

В свою чергу експериментальні дослідження запропонованого методу удосконалення проточної частини елемента гідро та аеродинамічних систем показали, що врахування оцінок стану гідро газових потоків (потоків робочих тіл) дозволяє розробити проектні рішення по зниженню опорів в 1,5 – 5 разів залежно від типу елемента, який проектується. [19,20]

В альтернативних роботах авторів показано, що практичне використання запропонованого методу для удосконалення проточної частини термостатичного клапану фірми Herz Armaturen, дозволило знизити його гідравлічний опір в 1,5 рази.

Використання розроблених енергозберігаючих проектних рішень щодо елементів в системах теплопостачання та аеродинамічних системах, що проектується дозволило знизити енергоємність гідро аеродинамічних процесів в них відповідно на 25-30 % та 14 %. Запропоновані рішення також були використанні для проектування системи тепло- та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5, енергоємність гідродинамічного процесу якої на 15 % нижче від подібних існуючих.

Наведені позитивні приклади використання запропонованого методу удосконалення проточної частини елемента гідро та аеродинамічних систем свідчать про його науково-практичну користь.

7 ПОДЯКИ

Автори статті висловлюють подяку кафедрі аеродинаміки, електроенергетики та енергетики Технологічного інституту аеронавтики, Сан-Жозе-дус-Кампус, Сан-Франциско, Бразилія, за підтримку цього дослідження.

8 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори статті не мають відповідних фінансових чи нефінансових інтересів, про які можна було б повідомити.

Література

1. А. Е. . Denysova, V. R. . Nikulshin, V. V. . Wysochin, O. S. Zhaivoron, і Y. V. . Solomentseva, «Моделювання ефективності енергетичних систем з резервуванням потужності за рахунок відновлювальних джерел енергії», ВСІТ, вип. 4, вип. 4, с. 318-328, Бер 2021
2. I.I. Andrianova I. I., Arsiryi, V.A. Economic analysis of Energy- and Resource-saving innovations for thermal power 12 (2010) 33-44 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84927767143&partnerID=MN8TOARS>
3. Möller, Torsten & Hamann, Bernd & Russell, Robert. (2009). 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
4. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН / [За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. — Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
5. Album of liquid and gas flows / [ed. M. Van Dyke] Department of Mechanical Engineering Stanford University <https://courses.washington.edu/me431/handouts/Album-Fluid-Motion-Van-Dyke.pdf>
6. PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same // Maisotsenko V. S., Arsiri V. A.. Publ. 22.09.1998.
7. V. Arsiri, O. Kravchenko, Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics, International Journal Mechanics and Mechanical Engineering, vol. 22. num. 2, (2018) 397-404. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85056601617&partnerID=MN8TOARS>
8. 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. Kharkiv: NTU "KhPI". 2013. No. 14 (988). P. 72–78.
9. Rezvaya K., Krupa E., Drankovskiy V., Potetenko O., Tynyanova I. The numerical research 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. Kharkiv: NTU "KhPI". 2017. No. 7 (1229). P. 97–102. doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.13

10. Pankaj G., Rajeshwer S. Numerical Study of Cavitation in Francis Turbine of a Small Hydro Power Plant. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2016. No. 9 (1). P. 357–365. doi: 10.18869/acadpub.jafm.68.224.24080
11. Rusanov A., Rusanov R., Lampart P., Designing and updating the flow part of axial and radial-axial turbines through mathematical modeling. *Open Engineering*. 2015. Vol. 5. P. 399–410. 16.
12. Duan X. H., Kong F. Y., Liu Y. Y., Zhao R. J., Hu Q. L. The numerical simulation based on CFD of hydraulic turbine pump. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 129. 2016
13. Аpcіпій, О. О. (2013). Developing of hydro-aerodynamic systems' elements based on intellectual visualization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8(63), 4–8. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.14826>
14. E.A. Arsiri, C.G. Antoshchuk, V.A. Arsiri, V.I. Kravchenko, Intellectualnyi analiz pri kompleksnom modelirovanii dlya povysheniya nadejnosti raboty energeticheskogo oborudovaniya, Radioelektronni i komp'yuterni systemy. *Kharkivskiy aviaciyniy instytut*, 6(58), (2012) 89 – 95. <http://nti.khai.edu:57772/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2012/REKS612/Arsiriy.pdf>
15. O.S. Maniakaeva, E.A. Arsiri, A.P. Vasilevskaya, Development of the decision support subsystem in the systems of neural network pattern recognition by statistical information. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4(78), (2015) 4–12. doi:10.15587/1729-4061.2015.56429
16. T. Kohonen. *The self-organizing map / Neural Networks: Theoretical foundations and analysis/* Edited by Clifford G. Y. Lau. New York. IEEE Press. – 1992
17. Yin, Hujun. (2008). *The Self-Organizing Maps: Background, Theories, Extensions and Applications*. 10.1007/978-3-540-78293-3_17
18. Friedhelm Schwenker, Hans A. Kestler, Günther Palm, Three learning phases for radial-basis-function networks, *Neural Networks*, Volume 14, Issues 4–5, 2001, Pages 439-458, ISSN 0893-6080, [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(01\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(01)00027-2)
19. Vasyl Arsirii The influence of the structure of laminar flows on the characteristics of equipment // Vasyl Arsirii, Oleg Kravchenko, Bohdan Savchuk and Olena Arsirii / 26th Scientific Conference on Power Engineering and Power Machines (PEPM'2021)/ 22. 11. 2021 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132705003>
20. Arsiri E. The physical method of visual diagnostics of flow structure / E. Arsiri, V. Arsiri // XII Intern. Sc. Conf. Current Issues of Civil and Environmental Eng., Rzeszow–Lviv–Kosice. September 17–19, 2009. – Rzeszow, Poland. – Vol. 54, № 266. – P. 5 – 8.

References

1. Е. . Denysova, V. R. . Nikulshin, V. V. . Wysochin, O. S. Zhaivoron, i Y. V. . Solomentseva, «Модельовання ефективності енергетичних систем з резервуванням потужності за рахунок відновлювальних джерел енергії», *ВСІТ*, вип. 4, вип. 4, с. 318-328, Бер 2021
2. I.I. Andrianova I. I., Arsiri, V.A. Economic analysis of Energy- and Resource-saving innovations for thermal power 12 (2010) 33-44 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84927767143&partner ID=MN8TOARS>
3. Möller, Torsten & Hamann, Bernd & Russell, Robert. (2009). *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
4. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. *ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН* / [За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. — Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
5. *Album of liquid and gas flows* / [ed. M. Van Dyke] Department of Mechanical Engineering Stanford University <https://courses.washington.edu/me431/handouts/Album-Fluid-Motion-Van-Dyke.pdf>
6. PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same // Maisotsenko V. S., Arsiri V. A.. Publ. 22.09.1998

7. V. Arsiri, O. Kravchenko, Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics, *International Journal Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 22. num. 2, (2018) 397-404. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85056601617&partnerID=MN8TOARS>
8. 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*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2013. No. 14 (988). P. 72–78.
9. Rezvaya K., Krupa E., Drankovskiy V., Potetenko O., Tynyaynova 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*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2017. No. 7 (1229). P. 97–102. doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.13
10. Pankaj G., Rajeshwer S. Numerical Study of Cavitation in Francis Turbine of a Small Hydro Power Plant. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2016. No. 9 (1). P. 357–365. doi: 10.18869/acadpub.jafm.68.224.24080
11. Rusanov A., Rusanov R., Lampart P., Designing and updating the flow part of axial and radial-axial turbines through mathematical modeling. *Open Engineering*. 2015. Vol. 5. P. 399–410. 16.
12. Duan X. H., Kong F. Y., Liu Y. Y., Zhao R. J., Hu Q. L. The numerical simulation based on CFD of hydraulic turbine pump. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 129. 2016
13. Arcipiiy, O. O. (2013). Developing of hydro-aerodynamic systems' elements based on intellectual visualization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8(63), 4–8. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.14826>
14. E.A. Arsiri, C.G. Antoshchuk, V.A. Arsiri, V.I. Kravchenko, Intellectualnyi analiz pri kompleksnom modelirovanii dlya povysheniya nadejnosti raboty energeticheskogo oborudovaniya, *Radioelektronni i komp'yuterni systemy*. Kharkivskiy aviaciyniy instytut, 6(58), (2012) 89 – 95. <http://nti.khai.edu:57772/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2012/REKS612/Arsiriy.pdf>
15. O.S. Maniakaeva, E.A. Arsiri, A.P. Vasilevskaya, Development of the decision support subsystem in the systems of neural network pattern recognition by statistical information. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4(78), (2015) 4–12. doi:10.15587/1729-4061.2015.56429
16. T. Kohonen. *The self-organizing map / Neural Networks: Theoretical foundations and analysis/* Edited by Clifford G. Y. Lau. New York. IEEE Press. – 1992
17. Yin, Hujun. (2008). *The Self-Organizing Maps: Background, Theories, Extensions and Applications*. 10.1007/978-3-540-78293-3_17
18. Friedhelm Schwenker, Hans A. Kestler, Günther Palm, Three learning phases for radial-basis-function networks, *Neural Networks, Volume 14, Issues 4–5, 2001, Pages 439-458, ISSN 0893-6080*, [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(01\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(01)00027-2).
19. Vasyl Arsirii The influence of the structure of laminar flows on the characteristics of equipment // Vasyl Arsirii, Oleg Kravchenko, Bohdan Savchuk and Olena Arsirii / 26th Scientific Conference on Power Engineering and Power Machines (PEPM'2021)/ 22. 11. 2021 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132705003>
20. Arsirii E. The physical method of visual diagnostics of flow structure / E. Arsirii, V. Arsiry // XII Intern. Sc. Conf. Current Issues of Civil and Environmental Eng., Rzeszow–Lviv–Kosice. September 17–19, 2009. – Rzeszow, Poland. – Vol. 54, № 266. – P. 5 – 8.

Арсірій Василь Анатолійович

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
д.т.н., професор
вул. Дідріхсона, 4 Одеса, Україна, 65029
vasily.arsiry@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3617-8487



Крошка Олександр Вікторович

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
аспірант
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029
Kolvi@epg.kolvi.com
ORCID: 0000-0003-0975-3079

Для посилань:

Арсирій В. А., Крошка О. В. Метод удосконалення проточних частин елементів енергетичних систем житлових комплексів. Механіка та математичні методи, 2024. Т. VI. №. 1. с. 57–73.

For references:

V. Arsiirii, O. Kroshka. (2024). Improvement metod of flow parts of energy system elements of residential complexes. Mechanics and Mathematical Methods. VI (1). 57–73.